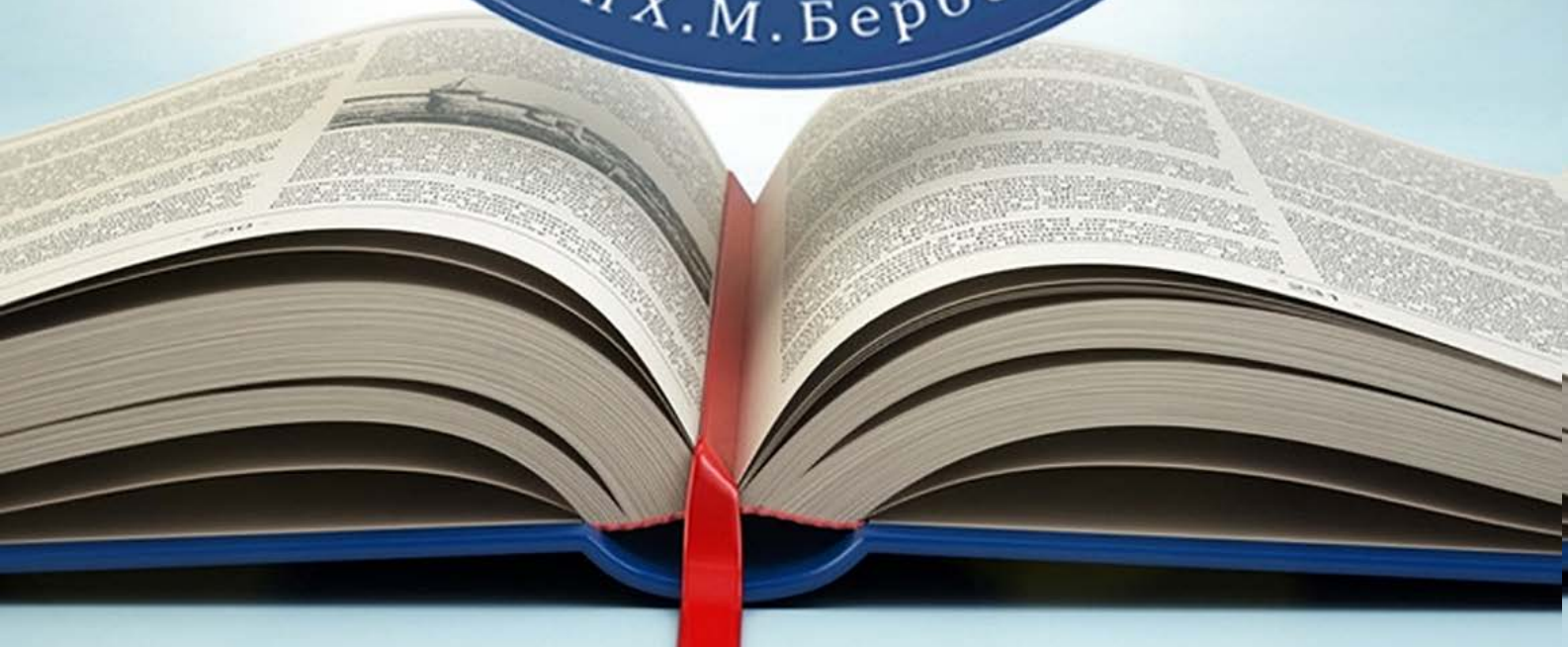


АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ
СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ



СОВРЕМЕННАЯ
ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНАЯ
КАРТИНА МИРА

ISSN 1810-5452

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
КАБАРДИНО-БАЛКАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. Х.М. БЕРБЕКОВА

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Учредитель

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования «Кабардино-Балкарский
государственный университет им. Х.М. Бербекова»
36000, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173*

*Журнал зарегистрирован
в Министерстве РФ по делам печати, телерадиовещания
и средств массовых коммуникаций в 2003 г.
(свидетельство ПИ № 77-16938 от 28 ноября 2003 г.)*

Адрес редакции: 360004, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173
Телефон: (866-2)-423777 Факс: (095)-9563504 E-mail: avse@kbsu.ru

Редакционная коллегия:

Главный редактор: Хапачев Ю.П. – доктор физ.-мат. наук, профессор, КБГУ, г. Нальчик

Зам. главного редактора: Дышеков А.А. – доктор физ.-мат. наук, профессор, КБГУ, г. Нальчик

- Аристов В.В. – чл.-корр. РАН, Институт проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов, г. Москва
- Бахмин В.И. – председатель правления компании АНО «Центр инновационных общественных инициатив», г. Москва
- Григорьев М.С. – доктор химических наук, Институт физической химии РАН, г. Москва
- Ивахненко Е.Н. – доктор философских наук, профессор, ректор РГГУ, г. Москва
- Ильяшенко Ю.С. – доктор физ.-мат. наук, профессор, МИРАН, г. Москва, ректор Независимого московского университета
- Карамурзов Б.С. – доктор технических наук, профессор, президент КБГУ, г. Нальчик
- Кетенчиев Х.А. – доктор биологических наук, профессор, КБГУ, г. Нальчик
- Кочесоков Р.Х. – доктор философских наук, профессор, КБГУ, г. Нальчик
- Крайзман В.Л. – доктор физ.-мат. наук, профессор, Мэрилендский университет, Национальный институт стандартов и технологий. США
- Лисичкин Г.В. – доктор химических наук, профессор, МГУ, г. Москва
- Лю Цзо И – доктор технических наук, профессор, Технологический университет, г. Гуанджоу, Китай
- Молодкин В.Б. – чл.-корр. НАН Украины, профессор, Институт металлофизики НАН Украины, г. Киев
- Оранова Т.И. – доктор химических наук, профессор, КБГУ, г. Нальчик
- Ошхунов М.М. – доктор технических наук, профессор, КБГУ, г. Нальчик
- Савин Г.И. – академик РАН, профессор, Отдел информатики и вычислительной техники РАН, г. Москва
- Скворцов Н.Г. – доктор социологических наук, профессор, С.-Пб. госуниверситет, г. Санкт-Петербург
- Ткачук В.А. – академик РАН, академик АМН, профессор, МГУ, г. Москва
- Тлибеков А.Х. – доктор технических наук, профессор, КБГУ, г. Нальчик
- Филатов В.П. – доктор философских наук, профессор, Российский государственный гуманитарный университет, г. Москва
- Шустова Т.И. – доктор биологических наук, профессор, С.-Пб. НИИ уха, горла, носа и речи, г. Санкт-Петербург
- Шхануков М.Х. – доктор физ.-мат. наук, профессор, КБГУ, г. Нальчик

Ю.П. Хапачев – доктор физ.-мат. наук, профессор

А.А. Дышеков – доктор физ.-мат. наук, профессор

Т.И. Оранова – доктор хим. наук, профессор

Т.И. Шустова - доктор биол. наук, профессор

СОВРЕМЕННАЯ ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНАЯ КАРТИНА МИРА

Курс лекций

Предисловие

Нам не дано предугадать,
Как наше слово отзовется ...

Ф.И. Тютчев

Достижения естественных наук за последние десятилетия настолько грандиозны, что сама попытка осознать их сегодня превратилась в трудную познавательную проблему. Возрастающая дифференциация – очевидный факт современной науки, который поставил на повестку дня проблему поиска и разработки общих фундаментальных принципов научного знания. Разрешение такой проблемы – задача отнюдь не тривиальная, а насущная. Поиски единого фундамента естествознания давно перестали быть уделом одних только философов. Сегодня к ее разрешению приобщены ученые из самых различных областей знания: физики, химии, биологии, математики и др.

Отсюда возникает стремление авторов данного курса привести студента к соответствующей сегодняшнему дню широте взглядов на проблемы естествознания. К сожалению, заданные стандарты в отечественном образовании мало способствуют выдвижению студенчества на обозначенные рубежи осмысления достижений науки.

Таким образом, проблема поиска обобщающих идей напрямую связана с подготовкой специалистов высокой квалификации. Да и вряд ли кто-нибудь сомневается в необходимости приобщения студента к обозначенному потоку научного сознания.

Как-то Майкл Фарадей, который первым организовал публичные научные чтения для мало-подготовленных слушателей, пришел к выводу, что по-настоящему поучительная лекция никогда не может быть популярной, а по-настоящему популярная лекция никогда не достигнет настоящей поучительности. Мы попробуем опровергнуть эту точку зрения великого ученого.

Отдельные идеи курса взяты нами из трудов И.Р. Пригожина, О.П. Спиридонова, В.И. Арнольда, П. Дэвиса, А.Н. Маркова, Б.М. Медникова, В.М. Волькенштейна, М. Эйгена, Л.Л. Морозова, Л.Н. Гумилева и П.А. Флоренского. Фрагменты из этих работ мы привели в книге лишь незначительно *mutatis mutandis*, не меняющие их смысла.

Помня о знаменитой теореме Геделя о неполноте аксиоматического описания и, более того, понимая, что, согласно ее утверждению, нет такой конечной системы аксиом, в рамках которой все проблемы были бы решены, тем не менее, мы сознательно, там, где это возможно, аксиоматизировали изложение материала. Именно такой подход, по мнению авторов, наиболее близок по духу означенной в заглавии курса теме. Кроме того, это позволило сказать *multa paucis*.

Авторы отдадут себе отчет в том, что такой разнообразный материал требует особого общего введения, этаким «отрывком, взгляд и нечто... – обо всем», и, что не менее важно, особого концептуального подхода.

Та или иная концепция становится понятной человеку или даже очевидной как бы а priori, если отношение характеризующих ее параметров K_i к величинам L_i , соответствующим жизненно-му опыту, становится порядка или меньше единицы ($K_i/L_i < 1$). В ряде случаев это соотношение можно удовлетворить постоянным повторением, приводящим к привычке. «Непонятное становится понятным, когда оно становится привычным». Не следует, однако, при этом забывать, что хоть и «повторение – мать учения», но враг творчества, ибо, как изначально сказал Овидий: «Повторение – мать учения и прибежище ослов (утешенье дураков)».

Включение местами в курс своеобразной «художественной части» представлялось нам важным по ряду причин, одна из которых связана с понятием «закона природы». Дело в том, что мы настолько свыклись с безусловным существованием законов природы, что как-то уже и забыли о том, что сама эта идея является продуктом только европейской цивилизации. В картинах мира некоторых других цивилизаций концепция законов природы просто отсутствует, и, следовательно, само это понятие требует обоснования, которое регулярно пытается дать философия и которая присутствует, как нам представляется, в искусстве. Знать, уважать и ценить философию и искусство необходимо. Еще в XVIII веке глава прусского департамента образования барон фон Цедлиц (ему И. Кант посвятил свою «Критику чистого разума») внушал студентам: «После окончания курса наук вам придется быть врачом, судьей, адвокатом и т.д. лишь несколько часов в сутки, а быть человеком – целый день».

И последнее. Зачем нужна популяризаторская деятельность.

«Многих тревожит растущий отрыв фундаментальной науки от массового сознания. В естественных науках (ЕН), и особенно, в биологии, – самой быстроразвивающейся науке, этот отрыв особенно хорошо заметен. Это один из парадоксов современного общества. С одной стороны, за последние полвека биология достигла неслыханных успехов. С другой – чем глубже проникают ученые в тайны жизни, тем сильнее искажаются их открытия в СМИ и, как следствие, в общественном сознании. Это опасная тенденция, которая может в итоге привести к тому, что общество окончательно перестанет понимать, чем занимаются ученые и зачем они нужны.

Отсутствие у многих людей элементарной научной грамотности вовсе не так безобидно. Ведь в современном демократическом обществе право голоса имеет каждый, вне зависимости от уровня образования.

Разумеется, у людей есть потребность в понимании происходящего вокруг них, и от ученых ждут ответов на ключевые вопросы об устройстве мироздания – но ответов простых, понятных и окончательных, не требующих чрезмерных интеллектуальных усилий и к тому же соответствующих общественным ожиданиям. Беда в том, что мир (как выясняется именно благодаря достижениям науки) устроен гораздо сложнее, чем нам хотелось бы. Поэтому для того, чтобы современная научная картина мира проникла в массовое сознание, нужны целенаправленные усилия. Информационный вакуум неизбежно заполняется псевдонаучными измышлениями, мифами и верованиями. Проблема усугубляется полным отсутствием материальной заинтересованности многих СМИ в достоверности сообщаемых ими сведений. В ситуации, когда статьи или телепередачи служат лишь броскими «прокладками» между блоками рекламы, любые шарлатанские бредни оказываются гораздо более ходовым и выгодным товаром, чем серьезная наука.

Похоже, наука сама своими достижениями роет себе могилу: ведь чем успешнее деятельность ученых, тем сложнее научная картина мира и тем ниже конкурентоспособность науки на «свободном рынке информационных услуг». В конце концов, ученые могут просто вымереть, как динозавры, – и хорошо еще, если своей смертью, а не на кострах инквизиции. Что будет дальше, какая судьба ждет вооруженное ядерным оружием человечество, впавшее в мистицизм и Средневековье, – об этом читатель может сам пофантазировать на досуге.

Поэтому популяризаторская деятельность для ученых в современном мире (и в России особенно) – это никакая не благотворительность, а общественный долг и необходимое средство самосохранения.

В конце концов, благодаря научному прогрессу большая часть народонаселения в развитых странах имеет полную возможность комфортно жить, вообще ничего не зная и не понимая в науке. Но ведь есть еще и политическая сторона вопроса. В современном демократическом обществе именно от этих невежественных налогоплательщиков зависит в конечном счете государственная политика в таких наукоемких областях, как изменения климата, генетически модифицированные организмы, стволовые клетки, клонирование, вакцинация и т. д.

Очень хорошо об этом сказал недавно выдающийся филолог А.А. Зализняк на церемонии вручения ему литературной премии имени Солженицына. Он обратил внимание на то, что в наши дни, к сожалению, вышли из моды две старые, банальные идеи: 1) истина существует, и целью науки является ее поиск; 2) в любом обсуждаемом вопросе профессионал в нормальном случае более прав, чем дилетант. Им сегодня противостоят новые, гораздо более модные положения: 1) истины нет, есть множество мнений; 2) ничье мнение не весит больше, чем мнение кого-то иного. «Девочка-пятиклассница имеет мнение, что Дарвин не прав, и хороший тон состоит в том, чтобы подавать этот факт как серьезный вызов биологической науке» (А. Марков).

Данный курс видеолекций в целом следует книгам: [1] Хапачев Ю.П., Дышеков А.А., Оранова Т.И., Шустова Т.И. и Ивахненко Е.Н. Концепции современного естествознания. – 3-е изд. / под ред. Ю.П. Хапачева. – Нальчик: Каб.-Балк. ун-т, 1997. – 272 с.и [24] Хапачев Ю.П., Дышеков А.А. и Оранова Т.И. «Современная естественнонаучная картина мира»: курс лекций. – Нальчик. КБГУ, 2013.

Благодарности. Авторы благодарны доктору химических наук, профессору Т.И. Орановой (Нальчик) и доктору биологических наук, профессору Т.И.Шустовой (Санкт-Петербург) как за совместные работы, так и за возможность использования их результатов в данном курсе.

Мы благодарны также доктору технических наук, профессору Б.С. Карамурзову и кандидату технических наук А.С. Ташилову за стимулирование данного курса.

Журнал состоит из пяти частей, каждая из которых заполняет определенный отрезок научной картины мира. В части 1 настоящего издания освещаются проблемы естественнонаучной и гуманитарной культур, различное понимание красоты в них; в части 2 – химические системы и их свойства.

В 2018 г. планируется издание следующих частей, посвященных: 3 – живым системам, 4 – этногенезу. В части 5 будут рассматриваться законы природы как объект современной науки и эстетическая категория.

*Памяти
Великого Ученого и Учителя
Андрея Николаевича Колмогорова
(25.04.1903–20.10.1987)
посвящается этот курс*

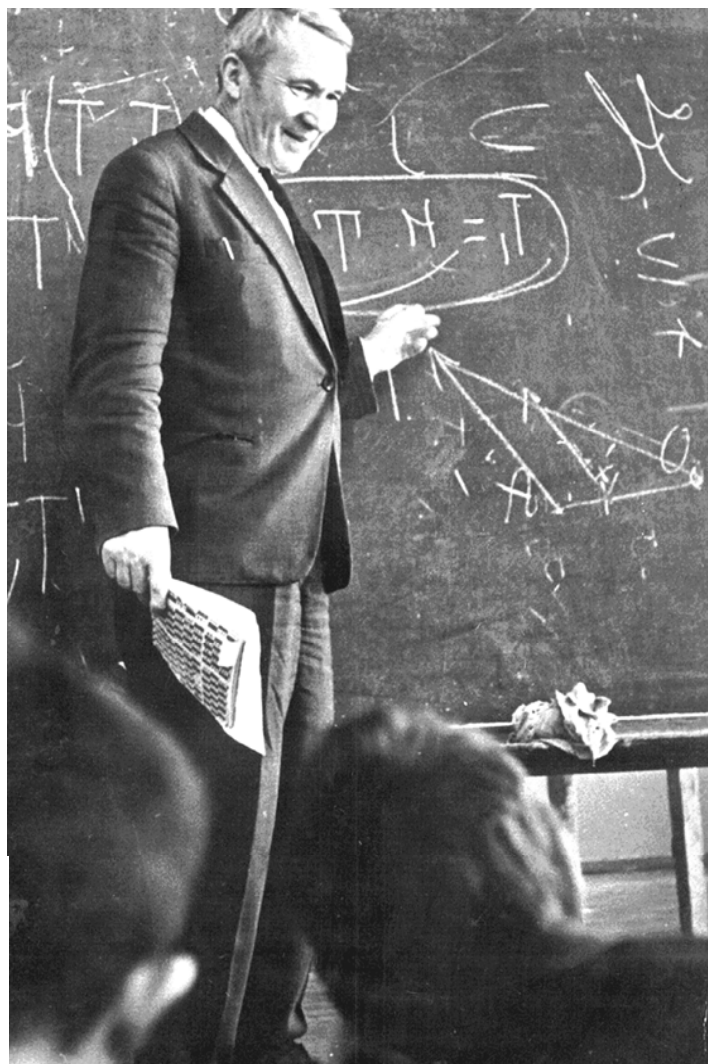
Введение

О, сколько нам открытий чудных
Готовит просвещенья дух
И опыт, сын ошибок трудных,
И гений, парадоксов друг,
И случай, Бог изобретатель.

А.С. Пушкин

Гиганты, благодаря которым мы видим научную картину Мира «с высоты птичьего полета». «Колмогоров – Пуанкаре – Гаусс – Эйлер – Ньютон: всего пять таких жизней отделяют нас от истоков нашей науки».

Академик В.И. Арнольд



*Андрей Николаевич Колмогоров
(25.04.1903–20.10.1987)*



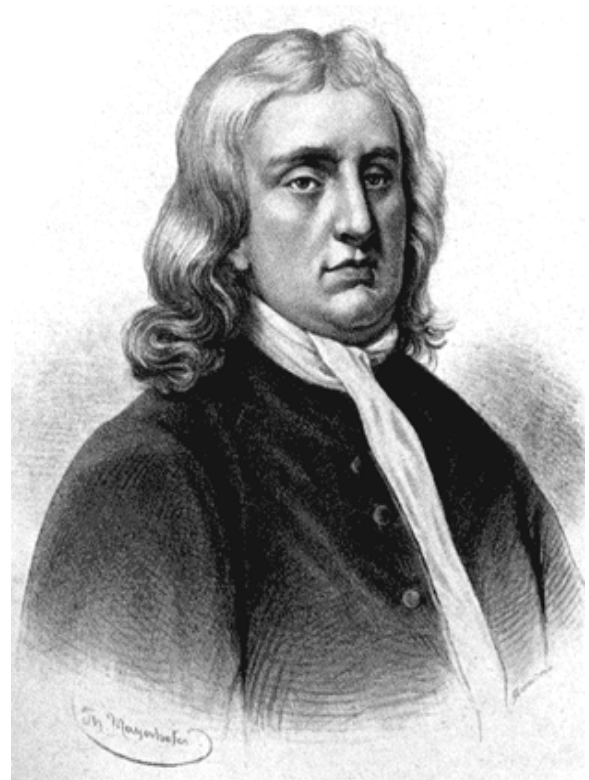
Жюль Анри Пуанкаре
(29.04.1854 – 17.07.1912)



Карл Фридрих Гаусс
(30.04.1777 – 23.02.1855)



Леонард Эйлер
(15.04.1707 – 7 (18).09.1783)



Исаак Ньютон
(25.12.1642 – 20.03.1727)

Жизнь коротка, путь искусства = науки долог,
удобный случай скоропреходящ, опыт обманчив,
суждение трудно.

Гиппократ

Естественнонаучная и гуманитарная культуры. Красота

Что есть культура? Ветви культуры: естественнонаучная, гуманитарная, религия.

Понятие и примеры красоты в различных областях культуры.

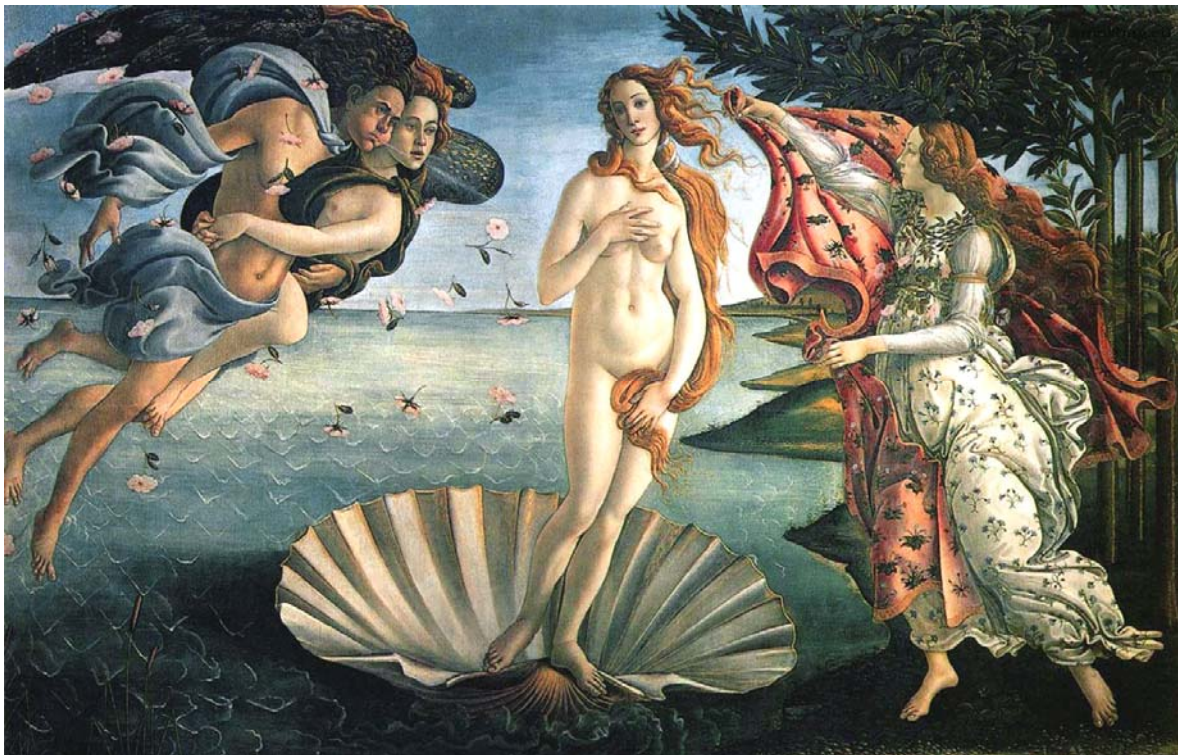
Ученые спорят, похожа ли математическая красота на художественную, и можно ли найти отдел человеческого мозга, отвечающий за ее восприятие?

Красота в гуманитарной культуре

Искусство Италии XV века. Ренессанс

Знаменитая картина художника Сандро Боттичелли «Рождение Венеры». Размер работы 172,5 × 278,5 см, холст, темпера. Картина написана по заказу Лоренцо ди Пьерфранческо Медичи, для которого исполнялась и «Весна». Картина была предназначена для украшения все той же виллы Каstellо. По-видимому, они мыслились как парные композиции, и между ними существовала определенная связь.

Живопись – Боттичелли «Рождение Венеры».



*Рождение Венеры. Боттичелли Сандро. 1482–1483 гг.
(Галерея Уффици, Флоренция)*

Картина изображает рождение небесной Венеры из пены моря, или таинство явления в мир Красоты. Под дуновением Зефира, проносающегося над морским пространством в объятиях своей возлюбленной Ауры, богиня приплывает на раковине к берегу. Ее встречает Ора, готовая накинуть на нагое тело Венеры плащ, расшитый цветами. Если «Весна» ассоцииру-

ется с праздником в царстве богини любви, то эта композиция представляет теофанию, или богоявление. Так мыслилось неоплатониками загадочное возникновение Красоты. Он дал остро личное истолкование строк древнегреческих поэтов и Полициано, которые легли в основу программы картины. Так, текст из «Стансов на турнир» Полициано: «На раковине резвые Зефиры пригнали к берегу неземную деву: она кружит, и радуется небо, – претворяется в изображение раннего утреннего часа с блеклыми красками неба и моря; под дождем из роз в этот пустынный и прекрасный мир вступает хрупкая богиня.

Боттичелли выразительно передал стихию ветров, веющих над водами. Клубящиеся одеяния, линии, которыми написаны волосы и крылья – все это исполнено динамического порыва, олицетворяющего один из основных элементов вселенной. Ветры – Зефир и Аура – зримо колышут водный простор. В отличие от ветров, чья стихия – воздух, пространство Оры – земля. В белом платье, расшитом васильками, украшенная гирляндами из миртов и роз, она, стоя на берегу, готова окутать Венеру плащом, красный цвет которого символизирует любовь. Два боковых крыла композиции – пролетающие ветры и Ора, чей объем зримо увеличивают платье, колеблемое ветром, дерево и плащ Венеры, – это нечто вроде завесы, которая, распахнувшись, представила миру таинство явления Красоты. В картине «Рождение Венеры» удивительно точно найдена каждая деталь, а композиция в целом оставляет впечатление совершенной гармонии. Натянутыми, порывистыми и мелодичными линиями, выводящими сложную арабеску, художник очерчивает фигуры и более обобщенными контурами обозначает окружающую среду. Видна лишь узкая полоска берега, а остальное место занимают светлое сияющее изнутри небо и море. Венера – едва ли ни самый пленительный образ у Боттичелли. Художник дает собственное истолкование классического идеала красоты, внося в чувственный образ черты спиритуализации.

Следуя древнеримским поэтам, Боттичелли изображает волосы, разделенные на пряди и колеблемые морским ветром. Это зрелище очаровывает. Стыдливым жестом Венера прикрывает тело, такая иконография идет от античного типа *Venera pudica* («стыдливая»). Чувственный облик прекрасной богини любви и красоты художник наделил чистотой и почти сакральной возвышенностью. Дождь роз, мерно ниспадающих в море, передан ясным языком линий и цвета. Боттичелли не ищет научно выверенной точности их очертаний и форм. Восхищение красотой цветка диктует ему простые и изящные контуры бутонов и раскрытых роз, повернутых в разных ракурсах. Их нежная окраска, хрупкость строения и ритм этого тихого дождя из цветов подчеркивает эмоциональную тональность композиции.

Симонетта Веспуччи. Симонетта Веспуччи (итал. *Simonetta Vespucci*, лат. *Vespuccia*, *Vesputia*, урожд. Каттанео, итал. *Cattaneo*, 28 января (?) 1453, Портовенере или Генуя – 26 апреля 1476, Флоренция) – возлюбленная Джулиано Медичи, младшего брата флорентийского правителя Лоренцо Медичи. Считалась первой красавицей флорентийского Ренессанса, за свою красоту получила прозвище Несравненной (Бесподобной; фр. *La Sans Pareille*) и Прекрасной Симонетты (итал. *La Bella Simonetta*). Служила моделью картины Боттичелли «Рождение Венеры», и нескольких других его работ; изображена в виде Клеопатры со змеей на шее на полотне Пьеро ди Козимо и на его же полотне «Смерть Прокриды».

Мировой шедевр, картина «Весна» была создана художником Сандро Боттичелли в конце 70-х годов. Размер картины 203 × 314 см, дерево, темпера. Картина «Весна» была написана Боттичелли для виллы Кастелло под Флоренцией, принадлежащей Лоренцо ди Пьерфранческо Медичи. Годом ее исполнения обычно считают 1478-й год – работа была выполнена вскоре после того, как виллу приобрели для пятнадцатилетнего Лоренцо. Этот родственник Великолепного получал тогда тщательное образование, дружеское участие в его воспитании принимал и глава Платоновской академии Фичино. Картина, предназначенная для личных покоев будущего ренессансного знатока, призвана была усладить зрение и одновременно воздействовать на душу ее созерцателя. Боттичелли на картине изобразил Зефира, преследующего нимфу Хлорис, из их союза возникает Флора; затем видим Венеру, танец Граций и, наконец, Меркурия, который, устремив взгляд ввысь, снимает кадуцеем пелену облаков, препятствующую созерцанию. Каково же содержание картины? Исследователи

предложили несколько толкований. Тема композиции – весна с сопутствующими ей античными божествами. Центром построения является Венера – не воплощение низменной страсти, а благородная богиня цветения и всяческого благоволения на земле; это неоплатонический образ. Развертывая данный контекст, ученые утверждали, что картина отражает идею о порождении красоты светом божественной любви и о созерцании этой красоты, ведущем от земного к сверхземному. «Весну» связывали также с морализирующим гороскопом, составленным Фичино для Лоренцо ди Пьерфранческо: ему рекомендовалось избрать в качестве путеводителя в самосовершенствовании планету Venus-Humanitas (человечность), наделенную всеми нравственными достоинствами и указывающую путь к высшим сферам. Заметим, что все эти грани содержания не отрицают, а скорее дополняют друг друга. Но не будем преувеличивать значимость содержательной канвы, ибо писал картину художник, все преображавший своей одушевленной фантазией.



*Весна. Боттичелли Сандро. 1477–1478 гг.
(Галерея Уффици, Флоренция)*

Венера, центральная фигура композиции, стоит под сенью деревьев в этом зачарованном пространстве весеннего леса. Ее платье из тончайшей ткани с золотыми нитями украшений и роскошный плащ алого цвета, символизирующего любовь, свидетельствуют о том, что перед нами богиня любви и красоты. Но в ее хрупком облике проступают и иные черты. Склоненная голова покрыта газовым покрывалом, в какие Сандро Боттичелли любил одевать своих Мадонн. Лицо Венеры с вопрошающе поднятыми бровями выражает грусть и скромность, значение ее жеста неясно – приветствие ли это, робкая защита или благодное приятие? Языческое и христианское сплетаются в одухотворенный образ. В других фигурах композиции также улавливаются ассоциации с религиозными мотивами. Так, образы Зефира и нимфы Хлорис перекликаются со средневековым изображением дьявола, не пускающего душу в Рай.

Грации, спутницы и служанки Венеры, – достоинства, порождаемые Красотой, их имена – Целомудрие, Любовь, Наслаждение. Изображение Боттичелли прекрасной триады – само воплощение танца. Стройные фигуры с удлиненными, плавно изгибающимися формами сплелись в ритмической последовательности кругового движения. Художник на редкость

изобретателен в трактовке причесок, передавая волосы одновременно как природную стихию и как декоративный материал. Волосы Граций собраны в пряди, то мелко вьющиеся, то ниспадающие волной, то рассыпающиеся по плечам, словно золотистые струи. Легкие изгибы и повороты фигур, диалог взглядов, изящное соединение рук и постановка ступней – все это передает поступательный ритм танца. Отношения его участниц отражают классическую формулу и вместе с тем неоплатоническое понимание Эроса: Любовь ведет Целомудрие к Наслаждению и скрепляет их руки. В изображении Боттичелли оживает представление о мифологическом великолепии, но образы его окрашены подлинной чистотой. Взор Меркурия мечтательно устремлен в небо. Он пытается разорвать плотность облаков, мешающих лицезрению. Боттичелли придает Меркурию характерный для вкуса Флоренции тех лет тип художавой юношеской фигуры, как в «Давиде» Верроккьо, но очертания ее приобретают мелодичность, а лицо – одухотворенность.

Искусство Италии XVI века

Высокое Возрождение

Картина Рафаэля Санти «Сикстинская Мадонна» первоначально создавалась великим живописцем как алтарный образ для церкви Сан Систо (св. Сикста) в Пьяченце. Размер картины 270 × 201 см, холст, масло. На картине художником изображены дева Мария с младенцем Христом, папа Сикст II и святая Варвара. Картина «Сикстинская Мадонна» принадлежит к числу наиболее прославленных произведений мирового искусства. В ренессансной живописи это, быть может, самое глубокое и самое прекрасное воплощение темы материнства. Для Рафаэля Санти оно явилось также своеобразным итогом и синтезом многолетних исканий в наиболее близкой ему теме. Рафаэль мудро использовал здесь возможности монументальной алтарной композиции, вид на которую открывается в далекой перспективе церковного интерьера сразу, с момента вступления посетителя в храм. Издали мотив раскрывающегося занавеса, за которым, словно видение, предстает ступающая по облакам Мадонна с младенцем на руках, должен производить впечатление захватывающей силы. Жесты святых Сикста и Варвары, направленный вверх взгляд ангелов, общая ритмика фигур – все служит тому, чтобы приковать внимание зрителя к самой Мадонне.

По сравнению с образами других ренессансных живописцев и с прежними работами Рафаэля картина «Сикстинская Мадонна» обнаруживает важное новое качество – повышенный духовный контакт со зрителем. В предшествующих его «Мадоннах» образы отличались своеобразной внутренней замкнутостью – взгляд их никогда не был обращен на что-либо, находящееся вне картины; они были либо заняты ребенком, либо погружены в себя. Лишь в картине Рафаэля «Мадонна в кресле» персонажи смотрят на зрителя, и во взгляде их есть глубокая серьезность, но в более определенной степени их переживания художником не раскрываются. Во взгляде же Сикстинской Мадонны есть нечто такое, что словно позволяет нам заглянуть ей в душу. Это словно провидение трагической участи ее сына и одновременно готовность принести его в жертву. Драматизм образа матери оттеняется в его единстве с образом младенца Христа, которого художник наделил недетской серьезностью и прозорливостью.

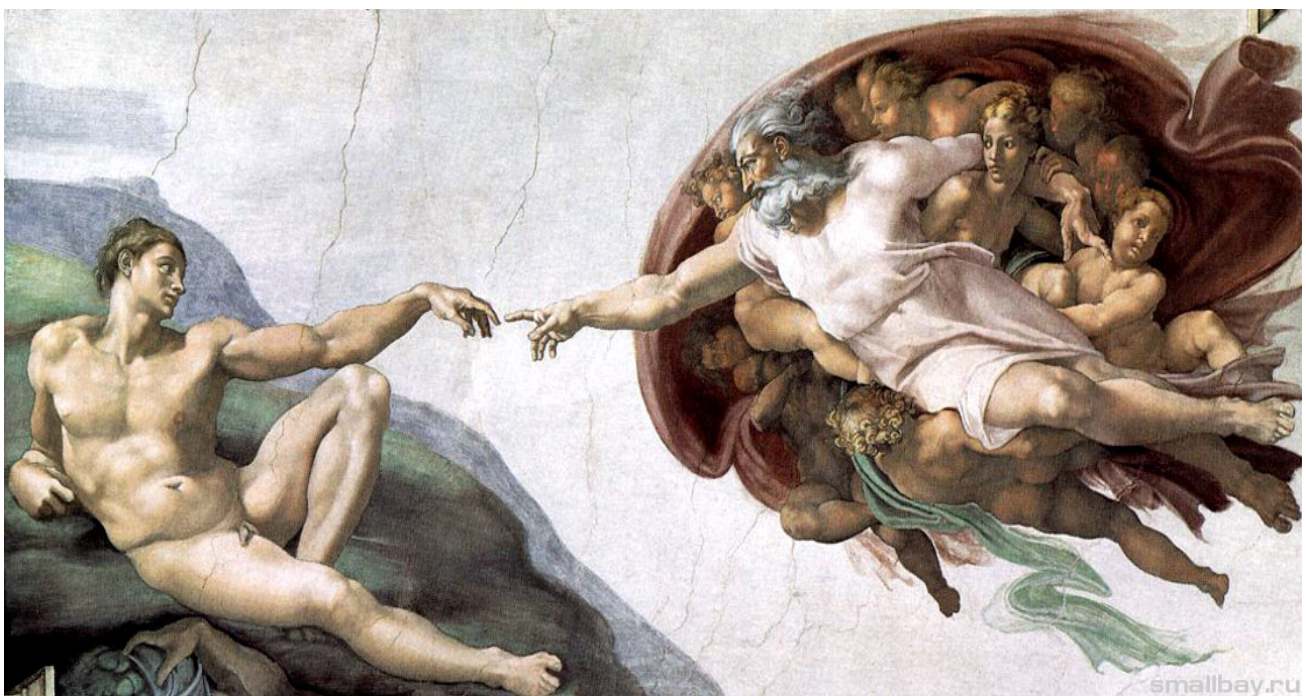
Картина «Сикстинская Мадонна» дает наглядный пример присущей рафаэлевским образам своеобразной «многозначности» самых простых движений и жестов. Так, сама Мадонна представляется нам одновременно идущей вперед и стоящей на месте; фигура ее кажется легко парящей в облаках и в то же время обладающей реальной весомостью человеческого тела. В движении ее рук, несущих младенца, угадывается инстинктивный порыв матери, прижимающей к себе ребенка, и вместе с тем – ощущение того, что сын ее не принадлежит только ей, что она несет его в жертву людям. Высокая образная содержательность подобных мотивов отличает Рафаэля от многих его современников и художников других эпох, считавших себя его последователями, у которых часто за идеальным обликом их персонажей не скрывалось ничего, кроме внешнего эффекта.



*Сикстинская Мадонна. Рафаэль Санти. 1514–1515 гг.
(Картинная галерея, Дрезден)*

Как создавался образ Мадонны? Имелся ли для него реальный прототип? В этом отношении с дрезденской картиной связан ряд старинных легенд. Исследователи находят в чертах лица Мадонны сходство с моделью одного из женских портретов Рафаэля – так называемой «Дамы в покрывале» («La Donna Velata», 1516, галерея Питти). Но в решении этого вопроса в первую очередь следует учитывать известное высказывание самого Рафаэля из письма к его другу Бальдассаре Кастильоне о том, что в создании образа совершенной женской красоты он руководствуется определенной идеей, которая возникает на основании множества впечатлений от виденных художником в жизни красавиц. Иными словами, в основе творческого метода живописца Рафаэля Санти оказывается отбор и синтез наблюдений реальной действительности.

«Сотворение Адама», Микеланджело Буонарроти, фреска фрагмент росписи Сикстинской капеллы. Во фреске «Сотворение Адама» пробуждение человека к жизни истолковано Микеланджело как высвобождение дремлющих в нем сил в результате волевого импульса творца. Протягивая руку, Саваоф касается руки Адама, и это прикосновение вселяет в Адама жизнь, энергию, волю.



*Фрагмент фрески в Сикстинской капелле «Сотворение Адама».
Микеланджело Буонарроти. 1508–1512 гг. (Сикстинская капелла, Ватикан)*

Скульптура Микеланджело Буонарроти «Пьета» или «Оплакивание Христа». Высота скульптуры 174 см, мрамор. Крупнейшей работой, выдвинувшей молодого скульптора в число первых мастеров Италии, была мраморная группа «Пьета». Выполненная на рубеже XV и XVI столетий «Пьета» открывает в творчестве Микеланджело период, отмеченный непоколебимой верой в торжество гуманистических идеалов Ренессанса, цельностью героических образов, классической ясностью монументального художественного языка. Для творческих исканий молодого мастера показателен уже сам выбор значительной и ответственной темы – скорби богоматери, оплакивающей умершего сына. Тема эта истолкована с глубиной, недоступной мастерам XV века. Всегда тяготевший к образам патетического характера, Микеланджело в этой группе дал пример углубленно психологического раскрытия драматической коллизии. Смело нарушив традицию, он изобразил богоматерь юной, тем самым оттенив ее особую духовную чистоту. Высокая одухотворенность образа Марии, благородная сдержанность ее чувства лишают трагическую тему оттенка безысходности, сообщая скорби молодой матери просветленный характер.



*Пьета. Микеланджело Буонарроти. 1498–1501 гг.
(Базилика собора святого Петра, Ватикан)*

«Тайная вечеря» Леонардо да Винчи. Как можно воспринять неожиданную новость о том, что в вашем тесном кругу единомышленников находится будущий предатель? Броситься тут же обсуждать неслыханную дерзость? Попытаться оправдаться самому, уверяя Спасителя в искренности своих чувств и чистоте веры? Воспринять изречение Христа: «Один из вас предаст меня», как приговор, грозящий разрушить всё, что ты любишь и ценишь и, подталкивающий к конкретным действиям?



*Тайная вечеря. Леонардо да Винчи. 1498 г.
(Монастырь Санта Мария делла Грацие, Милан)*

Андрей Рублев «Троица». Прямая и обратная перспективы в живописи, как различное понимание пространства.

«Троица» имеет всего две возможные даты создания. Обычно в наиболее академических изданиях обе даты и приводятся через слово «или»: 1411 год или 1425–1427 гг.



*Троица. Андрей Рублев. 1411 г. или 1425–1427 гг.
(Государственная Третьяковская галерея)*



*Спас. Андрей Рублёв. 1410-е гг.
Из Звенигородского полуфигурного деисусного чина
(Государственная Третьяковская галерея)*

О живописи

«Ведь живопись имеет задачу не дублировать действительность, а дать наиболее глубокое постижение ее архитектуры, ее материала, ее смысла; и постижение этого смысла, этого материала действительности, архитектуры ее – созерцающему глазу художника дается в живом соприкосновении с реальностью, вживанием и вчувствованием в реальность, чистая же живопись есть, или, по крайней мере, хочет быть, прежде всего правдою жизни, жизнь не подменяющею, но лишь символически знаменующею в ее глубочайшей реальности, а чистая живопись есть открытое настежь окно в реальность» (Павел Флоренский «Обратная перспектива»).

В 1919 г. П.А. Флоренский пишет статью «Обратная перспектива», посвящённую осмыслению феномена данного приёма организации пространства на плоскости как «творческого импульса» при рассмотрении иконописного канона в ретроспективном историческом сопоставлении с образцами мирового искусства, наделёнными свойствами таковой; в числе прочих факторов, прежде всего, указывает на закономерность периодического возврата к применению художником обратной перспективы и отказа от неё сообразно духу времени, историческим обстоятельствам и его мировоззрению и «жизнечувствию».



*Павел Флоренский и Сергей Булгаков.
Михаил Нестеров. 1917 г.*

Музыка

Аудиофрагменты **И.С. Бах** «Токката и fuga ре-минор», исполняет Г. Гродберг, **В.А. Моцарт** «40 симфония, соль-минор». Дирижер Невиль Маринер, оркестр Академии св. Мартина в Полях. **С.В. Рахманинов**. Прелюдия до-диез минор, исполняет автор.

И.С. Козловский. Романс «Я встретил Вас». Ф.И. Тютчев. Оригинальное название стихотворения – «К.Б.» Обращено к баронессе А.М. Крюденер (1808–1888), с которой Тютчев познакомился в 1822 году в Баварии, в Мюнхене, и которой был увлечен. Романс сохранился в памяти певца Ивана Козловского (р. 1900), который записал его на слух и исполнял в советское время, а автор мелодии долгое время считался утраченным. Однако он установлен – это В.С. Шереметев; в 1898 его мелодия обработана А.А. Спиро. Именно эту обработку услышал и запомнил Козловский.

Вальс «На сопках Маньчжурии»

Первоначальное название – «Мокшанский полк на сопках Маньчжурии». Посвящается бойцам 214-го Мокшанского пехотного батальона, погибшим в феврале 1905 года в боях с японцами под г. Мукденом. Наибольшую известность приобрел стихотворный текст Степана Скитальца, автора песни «Колокольчики-бубенчики звенят...» на музыку Я. Пригожего. Скиталец (Степан Гаврилович Петров) (1869–1941).

В основе вальса реальные события: гибель солдат Мокшанского полка – в сухопутном сражении «Варяг» – первый из крейсеров дальневосточной эскадры, принявший неравный бой в Порт-Артуре с 14 японскими кораблями. С его гибели началась трагическая для русского флота война. Кровавопролитный бой на сопках Маньчжурии Мокшанского полка – всего лишь эпизод этой войны. Но именно ему суждено было стать не менее значимым, чем морское сражение. В полку числилось 6 штаб-офицеров, 43 обер-офицера, 404 унтер-офицера, 3548 рядовых, 11 конных ординарцев и 61 музыкант. Этим музыкантам и предстояло сыграть решающую роль. Одиннадцать суток полк не выходил из боя. На двенадцатые кольцо окружения сомкнулась. Но в самый критический момент, когда иссякли и силы, и боеприпасы, грянул полковой оркестр. Военные марши следовали один за другим. Японцы дрогнули. Русское «Ура!» прозвучало в финале. За этот бой семь оркестрантов были награждены солдатским Георгиевским крестом, а капельмейстер – офицерским боевым орденом Станислава 3-й степени с мечами. Вскоре имя этого капельмейстера, Ильи Алексеевича Шатрова, узнала вся Россия.

Погудин Олег. Романс «Белеет парус одинокий». М.Ю. Лермонтов, музыка А.Г. Варламова.

Кавалергарда, век не долог... – ст. **Б. Окуджавы**, муз. **И. Шварца**, исп. В. Качан из кинофильма «Звезда пленительного счастья».

Литература

И.В. Гете в переводе М.Ю. Лермонтова «Горные вершины» (аудио)

Горные вершины
Спят во тьме ночной;
Тихие долины
Полны свежей мглой;
Не пылит дорога,
Не дрожат листы...
Подожди немного,
Отдохнешь и ты.

Примечания

Печатается по «Стихотворениям» 1840 г., стр. 119–120 (с датой – «1840»). Впервые – «Отеч. записки», 1840, т. XI, № 7, стр. 1. Автограф не найден. Это вольный перевод Гётевского «Ueber allen Gipfeln ist Ruh». А.Н. Струговщиков вспоминает: «В конце ноября 1840 г., когда он, В.А. Соллогуб, заканчивал свою «Аптекарьшу», я встретился у него с Лермонтовым и на вопрос его: не перевел ли я «Молитву путника» Гёте? я отвечал, что с первой половиной сладил, а со второй – недостает мне ее певучести и неуловимого ритма. «А я, напротив, мог только вторую половину перевести», сказал Лермонтов и тут же, по просьбе моей, набросал мне на клочке бумаги свои «Горные вершины» («Русская старина» 1874 г., № 4, стр. 712). Говоря о первой и второй половине, Струговщиков имеет в виду, очевидно, два стихотворения Гёте: «Wandrer's Nachtlied» («Der du von dem Himmel bist») и «Ein Gleiches» («Ueber allen Gipfeln»). Дата Струговщикова, очевидно, неверна: стихотворение Лермонтова было напечатано в июле 1840 г. Приводим немецкий текст:

Ueber allen Gipfeln
Ist Ruh,
In allen Wipfeln
Spürest du
Kaum einen Hauch;
Die Vögelein schweigen im Walde.
Warte nur, balde
Ruhest du auch.

А.С. Пушкин

«Два чувства дивно близки нам. . . .»
Два чувства дивно близки нам,
В них обретает сердце пищу:
Любовь к родному пепелищу,
Любовь к отеческим гробам.
(На них основано от века,
По воле Бога самого,
Самостоянье человека,
Залог величия его.)

Животворящая святыня!
Земля была (б) без них мертва.
Как пустыня
И как алтарь без божества.

Если жизнь тебя обманет,

Не печалься, не сердись!
В день уныния смирись:
День веселья, верь, настанет.
Сердце в будущем живёт;
Настоящее уныло:
Всё мгновенно, всё пройдет;
Что пройдет, то будет мило.

Свободы сеятель пустынный...

Изыде сеятель сеяти семена своя

Свободы сеятель пустынный,
Я вышел рано, до звезды;
Рукою чистой и безвинной
В порабощенные бразды
Бросал живительное семя –
Но потерял я только время,
Благие мысли и труды...

Паситесь, мирные народы!
Вас не разбудит чести клич.
К чему стадам дары свободы?
Их должно резать или стричь.
Наследство их из рода в роды
Ярмо с гремушками да бич.

Exegi monumentum

Я памятник себе воздвиг нерукотворный,
К нему не зарастет народная тропа,
Вознесся выше он главою непокорной
Александрійского столпа.
Нет, весь я не умру – душа в заветной лире
Мой прах переживет и тленья убежит –
И славен буду я, доколь в подлунном мире
Жив будет хоть один пиит.
Слух обо мне пройдет по всей Руси великой,
И назовет меня всяк сущий в ней язык,
И гордый внук славян, и финн, и ныне дикой
Тунгус, и друг степей калмык.
И долго буду тем любезен я народу,
Что чувства добрые я лирой пробуждал,
Что в мой жестокий век восславил я свободу
И милость к падшим призывал.
Веленью божию, о муза, будь послушна,
Обиды не страшась, не требуя венца;
Хвалу и клевету приемли равнодушно,
И не оспаривай глупца.

Архитектура

Даты постройки церкви в различных источниках разнятся. Распространенным считается мнение, что церковь Покрова на Нерли была построена в 1165 г. князем Андреем Боголюбским в память о погибшем сыне во время похода на Булгарское царство. Расположена церковь во Владимирской области, недалеко от села Боголюбово. Говорят, что место, на котором стоит храм, было выбрано самим Андреем Боголюбским. Эта церковь считается первой на Руси, посвященной празднику Покрова Пресвятой Богородицы. Новый праздник был установлен князем Андреем и владимирским духовенством без согласия киевского митрополита и патриарха константинопольского. Сей факт был призван свидетельствовать о том, что Владимирская земля находится в особом покровительстве у Богородицы.



Храм покровы на Нерли

Темпьетто (Tempietto; букв. «храмик») – отдельно стоящая часовня-ротонда, возведённая Браманте по заказу испанских монархов Фердинанда и Изабеллы на римском холме Яникул в 1502 г. Это была первая работа миланского архитектора в Риме, и она произвела настоящую сенсацию. Впервые перед римлянами предстало произведение высокого Возрождения: несмотря на миниатюрные размеры, точный подбор пропорций делает Темпьетто слитным, грациозным и величественным.

Темпьетто входит в состав культового комплекса Сан-Пьетро-ин-Монторио, возведённого в Трастевере на месте, где предположительно был распят апостол Пётр. В интерьере – «Бичевание» и «Преображение» Себастьяно дель Пьомбо (которому помогал в работе сам Микеланджело), большой плафон Вазари и могила легендарной Беатриче Ченчи. Последняя крупная работа Рафаэля, «Преображение», была изъята из храма и перенесена в Ватикан. Возведением капеллы Раймонди руководил в 1640 г. Бернини.



*Темпьетто. Рим. Транстевере
(архитектор Браманте)*

Тадж-Махал является одновременно мечетью для верующих и мавзолеем-музеем для посетителей. Находится в Индии, в городе Агра на берегу реки Джамна. Кто точно возвёл Тадж-Махал достоверно неизвестно, но, вероятно, архитектором был Устад-Иса. Мечеть-мавзолей была построена по приказу императора Шах-Джахана, который был потомком Тамерлана, в честь своей жены Мумтаз-Махал. Мумтаз-Махал умерла при сложных родах. Позже здесь был похоронен и сам император. Тадж-Махал признан объектом Всемирного наследия ЮНЕСКО и является лучшим архитектурным примером мастерства моголов. В одном объекте были совмещены элементы персидского, индийского и исламского стилей. Привлекающим взоры всех наблюдателей является белейший купол и многочисленные башенки.



Тадж-Махал. Агра. Индия

Тадж-Махал начали строить в 1632 г. и закончили только в 1653 г. В строительстве участвовали более 20 000 рабочих, строителей, ремесленников. Стены этого грандиозного здания выполнены из полированного полупрозрачного мрамора. Он имеет такую особенность, что днём он белый, на заре – розовый, а ночью в свете луны – серебристый. К тому же, стены инкрустированы бирюзой, агатом, малахитом, сердоликом и другими самоцветами.

Красота в естественных науках

«Математик играет в игру, правила для которой он выдумывает сам, физик играет игру по правилам, которые даны природой. Но со временем становится все более очевидно, что именно те правила, которые кажутся интересными математику, и выбрала природа». Так писал один из создателей квантовой механики, Нобелевский лауреат Поль Дирак в 1939 г. Красота математики – в способности увидеть истинную суть вещей. Пожалуй, это относится к любой красоте.

В первую очередь надо отметить, что красота связана со вкусом, а о вкусах лучше не спорить, но вкус воспитывается! Во-вторых, красота бывает внешняя (формы) и внутренняя (смысла). В математике много красоты обоих типов. Второй тип красоты глубже и малодоступен не только гуманитариям, но и представителям других наук. Постараемся привести несколько больше примеров, которые, нам кажутся, доступны всем.

1. Геометры Древней Греции достигли многого, но вычислить объем шара им не удалось. Гениальный Архимед вывел формулу, применяя идею взвешивания!

2. В книге «Начала» описан способ построения правильных треугольника, квадрата, пятиугольника, пятинадцатиугольника и всех многоугольников, получаемых удваиванием числа сторон (используя лишь математические циркуль и линейку – это инструменты, рисующие идеальные прямые и окружности). Через 1000 лет было доказано, что невозможно построить правильный 7 и 9-угольник (с теми же инструментами). Нечего было думать о построении 11 и 13-угольника. Думали, что о многоугольниках с большим числом сторон нечего и мечтать. Однако 19-летний Гаусс, используя мнимые числа (!) нашел способ построения правильного 17-угольника (чуть позже – всех таких многоугольников).

3. Возьмите произвольный треугольник; проведите трисектрисы углов (т.е. лучи, делящие углы на три равные части); отметьте точки пересечения трех пар трисектрис, склоняющиеся к сторонам:

а) эти три точки образуют правильный (равносторонний) треугольник (теорема Морли);

б) доказательство не просто, но французский математик А. Кон нашел очень короткое доказательство, тоже используя мнимые числа;

в) если внимательно искать, то точки пересечения трисектрис внутренних и внешних углов произвольного треугольника образуют 27 (!) правильных треугольников. Естественно, чем дальше в «математический лес» тем больше таких примеров.

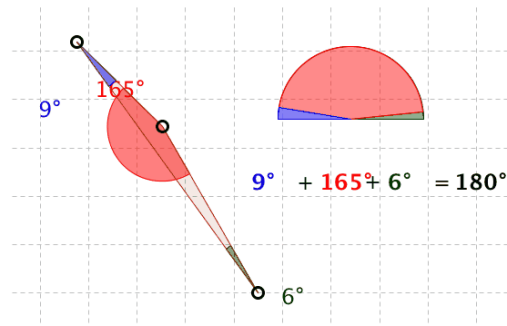
Сумма углов треугольника

Однако само понятие красоты не ограничивается только визуальным аспектом. Бывают красивые стихи, красивые отношения, красивые рассуждения, красивые математические конструкции.

Красота в математике – это тонкая грань между простотой и сложностью, естественностью и необычностью, загадкой и её решением. Красиво то, что позволяет нам увидеть больше, чем мы видели мгновение назад. Красиво то, что нас удивляет.

Видимо, категория красоты впервые возникла в математике в Древней Греции, с появлением геометрии – чем ещё, кроме эстетического наслаждения, можно объяснить желание изучать совершенно абстрактные картинки, составленные из прямых, отрезков и окружностей?

Поставьте себя на место первых геометров: практическая значимость большей части ваших изысканий станет понятной лишь спустя много столетий. А сейчас вы просто чертите на песке треугольники и обнаруживаете удивительную закономерность: какой бы треугольник вы ни построили, сумма его внутренних углов всегда составляет развёрнутый угол (тот, который получается, если стороны угла лежат на одной и той же прямой, но по разные стороны от вершины).



Это и последующие изображения основаны на построении Andy Talmadge в программе GeoGebra

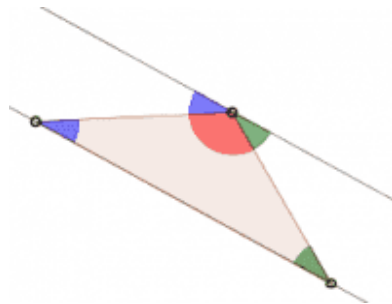
Вы чувствуете, что это не может быть случайностью. Должна быть какая-то причина, какое-то объяснение. Но на картинке его нет. Этот факт не даёт вам покоя, вы думаете о нём день и ночь. Наконец – быть может, почти случайно, **интуитивно** – вы добавляете новый штрих к чертежу с треугольником: проводите прямую, проходящую через одну из его вершин параллельно противоположной стороне.

Смотрите на рисунок, рассуждаете (**логика**) и понимаете, что три угла равны углам вашего треугольника, которые вместе образуют развернутый угол. Вот они, перед вами!

Теперь понятно, что никак иначе и быть не могло. То, что несколько минут назад еще казалось неразрешимой загадкой, стало **строго доказанным** фактом. В итоге, вашему мысленному взору благодаря **интуиции и логике** открылся удивительный и прекрасный смысл.

Вы смотрите на свой чертёж, состоящий лишь из нескольких отрезков, и понимаете, что это одна из самых красивых картин в вашей жизни.

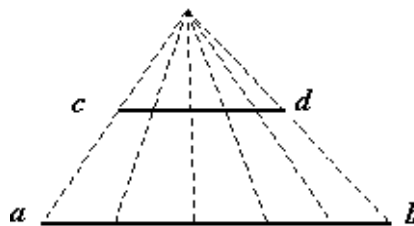
Примерно так выглядит математическая красота.



Часть не меньше целого – множество мощности континуум.

На отрезках разной длины одинаковое количество точек. Чтобы в этом убедиться, достаточно расставить точки по парам (то есть в паре одна точка от одного отрезка, а вторая – другого). Ну примерно как девочек и мальчиков на школьной линейке. Вот иллюстрация bmstu.ru как это сделать: каждый пунктирный лучик пересекает каждый отрезок, вот точки пересечения и образуют пары.

Примерно так же на отрезке столько же точек, сколько и на прямой, и даже на всей плоскости. В более общем виде получается, **что часть не всегда меньше целого. Более того, часть (в определенном смысле) равна целому!**



То, что кажется не очевидным и даже невозможным, реализуется.

А. Блок. Россия. «Опять, как в годы золотые»

Опять, как в годы золотые,
Три стертых треплются шлеи,
И вязнут спицы росписные
В расхлябанные колеи...

Россия, нищая Россия,
Мне избы серые твои,
Твои мне песни ветровые, –
Как слезы первья любви!

Тебя жалеть я не умею,
И крест свой бережно несусь...
Какому хочешь чародею
Отдай разбойную красу!

Пускай заманит и обманет, –
Не пропадешь, не сгинешь ты,
И лишь забота затуманит
Твои прекрасные черты...

Ну, что ж? Одной заботой боле –
Одной слезой река шумней,
А ты всё та же – лес, да поле,
Да плат узорный до бровей...

И невозможное возможно,
Дорога долгая легка,
Когда блеснет в дали дорожной
Мгновенный взор из-под платка,
Когда звенит тоской острожной
Глухая песня ямщика!..

(1908)

Вот вам пример как «**Невозможное возможно**». Возьмем круглую мишень, на ней бесконечно много точек, так что вероятность попасть в любую из них равна 0. Теперь вот выпустим стрелу, она в какую-то точку да попадет. Напомню, эта точка была не лучше и не хуже всех остальных, с нулевой вероятностью попадания в нее. Вот и свершилось событие, вероятность которого была 0.

Фракталы

Слово «красивый» ассоциируется в первую очередь с чем-то визуально приятным, услаждающим наш взор – типа картины в музее. Такая красота в математике есть: некоторые математические объекты допускают представление в виде изображений, порой весьма приятных для глаз. В нашей лекции есть ссылки на завораживающе прекрасный и загадочный фрактал Мандельброта, но я не удержусь и покажу картинку.

(Изображение: фрагмент множества Мандельброта, © Wolfgang Beyer | CC BY-SA. Больше картинок в статье в Википедии (слайды wikipedia.org))

Пример этот, красота которого понятна гуманитариям. Как она получается математически не так просто понять даже многим технарям, это, конечно, множество Мандельброта: tilde.club.

Там можно выделить отдельные области фрактала, приблизиться к отдельным веточкам и делать это до бесконечности. Примечательно тут именно то, что из маленькой математической формулы получается невероятно сложная и навороченная штука, подобные которой мы скорее привыкли видеть в живой природе или в искусстве.

Еще два примера. Два числа: π и e . Эти числа везде, можно найти и прочитать кучу разных фактов об этих числах, но осмыслить, какой из фактов является причиной, а какой – следствием и откуда все это берется, по-моему, просто невозможно. Самое удивительное – это связь этих чисел. То есть если все же удастся понять, откуда берется π (достаточно просто – длина единичной окружности), и e (тут посложнее), то когда видишь, например, тождество Эйлера, в котором присутствуют пять фундаментальных констант математики π , e , 0 , 1 и i охватывает чувство восхищения, если не собственным разумом, то разумом других людей.

Вот оно:

$$\exp(i\pi) + 1 = 0,$$

где число $e = 2,718281828\dots$, или основание натурального логарифма (кстати, в числе e два раза повторяется год рождения Л.Н. Толстого 1828), i – мнимая единица, число $\pi = 3,141592653\dots$ отношение длины окружности к длине её диаметра, 1 – единица, нейтральный элемент по операции умножения, 0 – ноль, нейтральный элемент по операции сложения.



Сриниваса Рамануджан Айенгор (1887–1920) – индийский математик

Не имея специального математического образования, получил замечательные результаты в области теории чисел.

$$1 + \frac{1}{1 \cdot 3} + \frac{1}{1 \cdot 3 \cdot 5} + \frac{1}{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 7} + \frac{1}{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 7 \cdot 9} + \dots + \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \dots}}}}} = \sqrt{\frac{e \cdot \pi}{2}}.$$

$$\sqrt{1 + 2\sqrt{1 + 3\sqrt{1 + 4\sqrt{1 + \dots}}}} - 3.$$

Воистину, «краткость – сестра таланта», если он есть, конечно, как писал Антон Павлович Чехов (Из письма от 11 апреля 1889 г. А.П. Чехова к своему брату Александру).

Послушайте ровно одну минуту Арнольда, где он цитирует слова Дирака о том, как построить новую физическую теорию, начиная с 69-й минуты: http://www.mathnet.ru/php/presentation.phtml?option_lang=rus&presentid=9114.

Арнольд В.И.

«Но я всю жизнь следую рецепту Дирака, который учил, как создавать Новую Физику, следующими словами: «Прежде всего, – говорил Дирак, – нужно отбросить все так называемые «физические представления», ибо они – не что иное, как термин для обозначения устаревших предрассудков предшествующих поколений».

Начинать, по его словам, следует с красивой математической теории. «Если она действительно красива, – говорит Дирак, – то она обязательно окажется прекрасной моделью важных физических явлений. Вот и нужно искать эти явления, развивать приложения красивой математической теории и интерпретировать их как предсказания новых законов физики», – так строится, по словам Дирака, вся новая физика, и релятивистская, и квантовая».

Часть I. МИР КАК ФИЗИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

Не то, что мните вы, природа:
Не слепок, не бездушный лик -
В ней есть душа, в ней есть свобода,
В ней есть любовь, в ней есть язык...

Ф.И. Тютчев

1. ДИСКУРСИЯ И ИНТУИЦИЯ. КРИТЕРИЙ ОЧЕВИДНОСТИ. ПРОБЛЕМА НАУЧНОЙ АКСИОМАТИКИ

Начиная курс, в первую очередь, мы должны конкретизировать предмет нашего разговора, то есть то, о чем собственно пойдет речь. Для этого следует хотя бы вкратце остановиться на «языке», на котором следовало бы с вами общаться. Это чрезвычайно существенно, ибо именно «язык» общения определяет в ряде случаев сам предмет исследования.

Напомним, что во введении мы говорили о двух культурах: **естественной и гуманитарной**. В нашем курсе далее мы будем говорить в основном только о первой. Язык этой естественной культуры – **математика и эксперимент**. Поскольку, однако, наш курс предназначен в первую очередь для гуманитариев, мы сознательно будем избегать при изложении излишней математизации, приводя лишь минимум общедоступных формул.

В **естествознании** способ мышления, в первую очередь, логический, рациональный, дискурсивный. Однако, и это очень важно уяснить с самого же начала, построение науки невозможно без своеобразного иррационального мышления – **интуиции**.

Именно интуиция позволяет высказать в качестве гипотезы ранее неизвестное утверждение, которое потом может быть либо подтверждено, либо опровергнуто. Что же такое интуиция? На первом этапе нам достаточно самого тривиального определения. *Интуиция есть прямое угадывание результата*. Заметим здесь же, что результат может оказаться и ложным.

Так, например, на каком-то этапе знаний человечества, интуитивно казалось очевидным, что Солнце вращается вокруг нас, расположенных на Земле. Ведь, действительно, наш далекий предок утром выходил из пещеры и видел солнце на горизонте на востоке, днем у себя над головой, а вечером на горизонте на западе. Теперь же мы знаем, что истинная картина прямо противоположная. Второй пример вам покажется менее правдоподобным, и, тем не менее, приведем его именно сейчас, отложив объяснение до соответствующей лекции. Рассмотрим «глобальную» задачу. Предположим, что мы стоим на перроне вокзала в городе Жмеринка и смотрим на крышу поезда, идущего в Париж. По крыше поезда «Жмеринка–Париж» бежит сын турецко подданного Остап Бендер.



Поезд «Жмеринка–Париж» движется со скоростью $v_п$, скорость тов. Бендера на поезде $v_б$. Угадайте, какая скорость тов. Бендера относительно Жмеринского вокзала

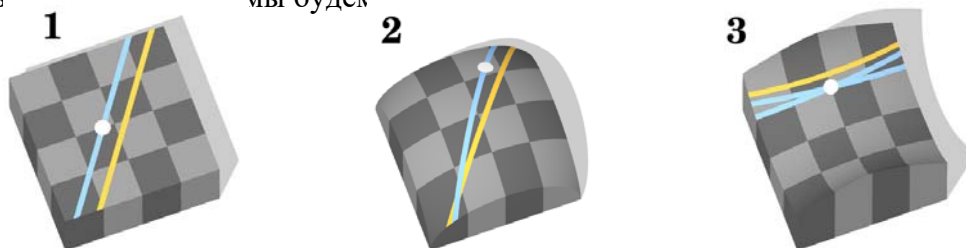
Скорость поезда $v_{п}$ известна, скорость Остапа Ибрагимовича относительно поезда $v_{б}$ тоже известна. С какой скоростью относительно вас движется Остап? Вы скажете, что это примитивная задача из курса школьной физики, и все зависит от того, в какую сторону бежит тов. О. Бендер. Если в сторону движения поезда, то $V = v_{п} + v_{б}$, если против движения, то $V = v_{п} - v_{б}$. Просто, но абсолютно неверно! Сейчас не станем объяснять, почему эти простые формулы «школьной» физики, несмотря на то, что они дают в нашей повседневной жизни результат, достаточно хорошо совпадающий с экспериментом, тем не менее, являются неправильными. Дело здесь, конечно, не в личности великого комбинатора, а в том, **что хорошее, даже сколь угодно хорошее совпадение с экспериментом не означает еще истинности**. Пожалуй, здесь уместно пояснить, почему та или иная концепция становится понятной человеку или даже интуитивно «очевидной» как бы *a priori*. Это происходит в том случае, если отношение характеризующего концепцию параметра K к величине L , соответствующей жизненному опыту, становится порядка или меньше единицы ($K/L \lesssim 1$). В противном случае концепция кажется нам абсурдной или по крайней мере непонятной. Пояснить сказанное можно следующими примерами. Пока человек мыслит расстояниями «от меня до следующего столба» т.е. порядка несколько десятков метров или километров, представление о шарообразности Земли (напомним, радиус Земли примерно 6400 км) вызывало значительные затруднения. И это несмотря на то, что еще на рубеже III–II вв. до н.э. в Египте александрийский ученый Эратосфен Киренский (276–194 гг. до н.э.) достаточно точно измерил радиус Земли по разнице в отклонении тени в Александрии и Луксоре в день летнего солнцестояния. Характерно, что Х. Колумб имел существенно заниженное представление об этой величине. Именно поэтому он рассчитывал обогнуть земной шар и приплыть в Индию так быстро. Как видим, иногда и ошибка(!) приводит к открытиям.

Второй пример – неправильность выше обсуждаемой формулы сложения скоростей. Проблема заключается в том, что наш житейский параметр – скорость порядка скорости машины, самолета и даже ракеты ($\leq 10^2$ м/с) значительно меньше скорости света ($c \approx 3 \cdot 10^8$ м/с). Последний характерный пример связан с кажущейся парадоксальностью закономерностей микромира. Здесь проблема в том, что наш естественный темп жизни – частота пульса 60 ударов в минуту, т.е. 1 Гц, по крайней мере на 16 порядков меньше «мира» атомных частот (10^{16} Гц для оптического излучения и 10^{19} Гц для рентгеновского и гамма-излучений).

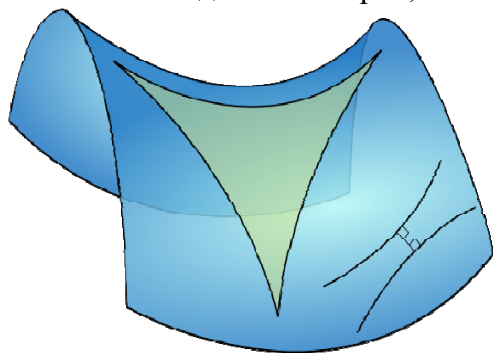
Теперь следует остановиться на аксиомах науки. То есть, на том базисе, тех критериях, которые, с одной стороны, будут характеризовать науку, и, с другой стороны, отделять ее от гуманитарной культуры и религии. Кроме того, по нашему мнению, данная научная методология может быть полезна и в повседневной жизни, ибо человек, привыкший мыслить точно и логично, видит абсурдное и тенденциозное утверждение, даже в том случае, если оно замаскировано самой изощренной демагогией.

Аксиома 1. *Sine ira et studio*. Что означает: **без гнева и пристрастия**. В более широком смысле – для постижения научной истины не имей предвзятого мнения и **подвергай все сомнению**.

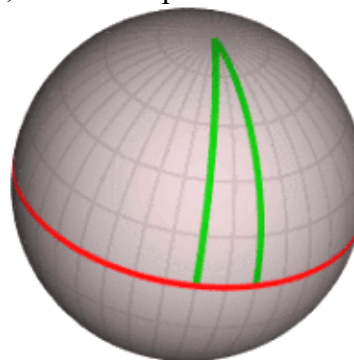
Ясно, что эта аксиома четко отделяет научное мышление от религиозного, реконструктивно-пророческого. Сомнение в том, что сумма углов треугольника всегда равна 180° , привело к созданию принципиально новой ветви математики – неевклидовой геометрии. Замечательно, что эти геометрии нашли прямое применение в описании мира, в частности в теории относительности. **Следующей аксиомой мы будем еще говорить**



1 – евклидова геометрия; 2 – геометрия Римана; 3 – геометрия Лобачевского



Гиперболическая геометрия –
сумма углов треугольника меньше 180°



Эллиптическая геометрия –
сумма углов треугольника больше 180°

Аксиома 2. Так называемый «принцип бритвы» У. Оккама. *Не множь сущностей без необходимости*, т.е. объясняй факты простейшим способом. Фактически это означает, что при выборе между двумя теориями предпочтение должно отдаваться той, которая базируется на меньшем количестве аксиом, принципов или положений или допущений.

В дальнейшем мы продемонстрируем «работу» этой аксиомы на важных концептуальных принципах, а пока приведем лишь один пример.

В VI веке до н.э. Пифагор высказал идею о сферической Земле, находящейся в центре сферической Вселенной. Для удовлетворительного экспериментального подтверждения геоцентрической гипотезы Клавдию Птолемею во II веке н.э. потребовалось немало изобретательности. Чтобы, в частности, сохранить круговое движение, отвечающее максимальной симметрии и античному представлению о гармонии и эстетическом совершенстве, пришлось ввести так называемые *эпициклы*. В модели Птолемея все планеты, кроме Земли (а также Солнце и Луна), движутся равномерно по круговым орбитам, и центр каждой сам движется вокруг Земли равномерно и тоже по круговой орбите, называемой *дифферентом* (или же еще по одной круговой орбите, центр которой тоже движется вокруг Земли). Таким образом, Вселенная Птолемея представляла собой набор взаимопересекающихся вращающихся сфер. В итоге для удовлетворительного совпадения с экспериментом Птолемею потребовалось 77 эпициклов и дифферентов. Несмотря на то, что в античные времена были и сторонники гелиоцентрической системы, такие как Аристарх Самосский и Архимед Сиракузский, система Птолемея, освященная католической церковью, просуществовала полторы тысячи лет.

Переход к геоцентрической системе, совершенный Н. Коперником в XVI веке, также основывался не на эллиптических, а на круговых орбитах планет. Поэтому опять-таки для удовлетворительного совпадения с экспериментом Н. Копернику потребовалось, проделав гигантскую вычислительную работу, оставить эпициклы и дифференты, но всего 34! Такое уменьшение сущностей сразу показало, что гелиоцентрическая система лучше, потому что проще, и она сразу же приобрела ряд сторонников.

Тихо Браге (дат. *Tyge Ottesen Brahe* (инф.), лат. *Tycho Brahe*; 14 декабря 1546, Кнудstrup, Дания (ныне на территории Швеции) – 24 октября 1601, Прага) – датский астроном, астролог и алхимик эпохи Возрождения. Первым в Европе начал проводить систематические и высокоточные астрономические



Тихо Браге

наблюдения, на основании которых Кеплер вывел законы движения планет.

23 мая 1576 года специальным указом датско-норвежского короля Фредерика II Тихо Браге был пожалован в пожизненное пользование остров Вен (*Hven*), расположенный в проливе Эресунн в 20 км от Копенгагена, а также выделены значительные суммы на постройку обсерватории и её содержание. Это было первое в Европе здание, специально построенное для астрономических наблюдений (ландграф Вильгельм использовал в качестве обсерватории одну из башен своего замка). В личной беседе король выразил уверенность, что своими трудами Тихо Браге «прославит страну, короля и самого себя».



Остров Вэн. Пролив Эресунн. Вид от Ландскруны

В 1588 году умер покровитель Браге, король Фредерик II. Новый король, Кристиан IV, к астрономии был равнодушен, но остро нуждался в деньгах на содержание армии. В 1596 году Кристиан достиг совершеннолетия и был коронован, а в следующем году король окончательно лишил Тихо финансовой поддержки, к этому времени значительно урезанной. Сбережений у Браге почти не осталось, всё было вложено в Ураниборг. Более того, вскоре он получил письмо от короля, запрещающее ему заниматься на острове астрономией и алхимией.

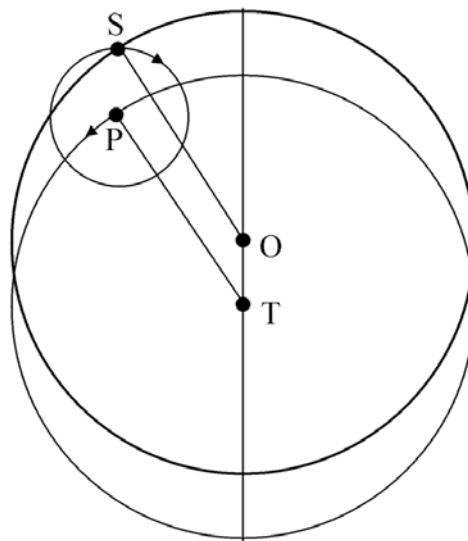
Браге перебирается в Прагу (1598), где становится придворным математиком и астрологом Рудольфа II – императора Священной Римской империи [32] (Прага была резиденцией Рудольфа большую часть его правления). Вероятно, в это напряжённое время Браге пришёл к выводу, что ему нужен молодой талантливый помощник-математик для обработки накопленных за 20 лет данных. Узнав о гонениях на Иоганна Кеплера, незаурядные математические способности которого он уже успел оценить из их переписки, Тихо пригласил его к себе. В 1601 году Тихо Браге и Кеплер начали работу над новыми, уточнёнными астрономическими таблицами, которые в честь императора получили название «Рудольфовых» (лат. *Tabula Rudolphinae*); они были закончены в 1627 году и служили астрономам и морякам вплоть до начала XIX века. Но Тихо Браге успел только дать таблицам название. В октябре он неожиданно заболел и, несмотря на участие лучших врачей императора, умер от неизвестной болезни, проболев всего 11 дней. По словам Кеплера, перед смертью он несколько раз произнёс: «Жизнь прожита не напрасно»^[36].

Во всех своих дальнейших книгах Кеплер не устал подчёркивать, сколь многим он обязан Тихо Браге, его самоотверженному труду во имя науки. Сам Кеплер тоже выполнил свою задачу: тщательно изучив данные Тихо Браге, он открыл законы движения планет.

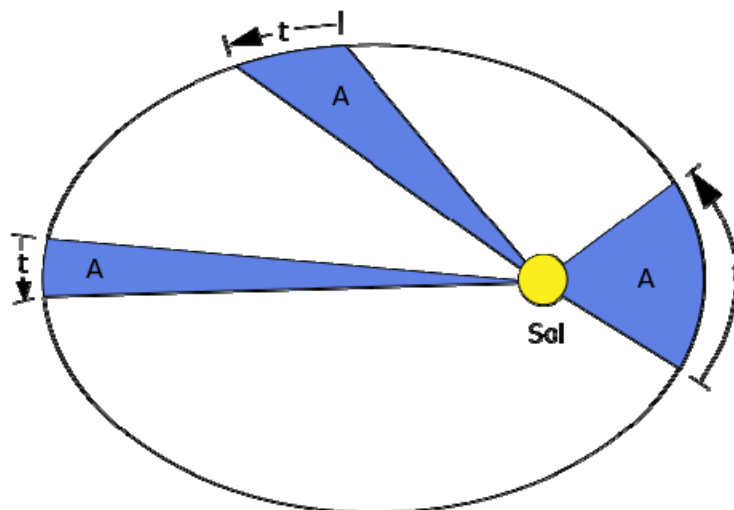
На надгробной плите ученого высечен девиз, прежде украшавший разрушенный «Звёздный замок»: «Не власти, не богатства, а только скипетры науки вечны» (лат. *Non fasces, nec opes sola artim sceptrata perennant*).



Сочетание движений по эпициклу и деференту, приводящее в теориях Гиппарха и Птолемея к движению Солнца по эксцентрическому кругу. Обозначения: Т – Земля (центр деферента), S – Солнце, Р – центр эпицикла, О – центр эксцентра (результатирующей орбиты Солнца). При движении Солнца отрезки SP и OT всегда параллельны.



Второй закон Кеплера.



Аксиома 3. Сформулированная на основе интуиции-догадки гипотеза должна быть проверена экспериментально.

В связи с этим следует заметить, что важнейшим и принципиальным для всей науки является интуитивное суждение *о достаточности опытной проверки, о доказательности опыта*, который сам по себе всегда с неизбежностью ограничен. Строго говоря, такое суждение называется *интуицией-суждением* (которое не сводится к каким-либо аксиомам, так как само оно имеет характер аксиомы), в отличие от *интуиции-догадки*, являющейся порождением гипотез. Обе эти различные интуиции не что иное, как две разновидности сверхсознания человека. Так что известное высказывание «практика – критерий истины» взято человечеством на вооружение в качестве аксиомы еще со времен Древней Греции, когда впервые в европейской цивилизации возникло представление о законе природы. Именно представление о наличии законов природы имело далеко идущие последствия в развитии науки и техники для европейской цивилизации. Следует отметить, что для ряда других цивилизаций такого представления не существовало, поэтому даже впервые эмпирически найденные данные (например, порох, компас и т.д.) не рассматривались с точки зрения закономерностей и передавались из поколения в поколение как некий клановый секрет.

Аксиома 4. Экспериментальные факты должны быть достоверными, т.е. воспроизводимыми.

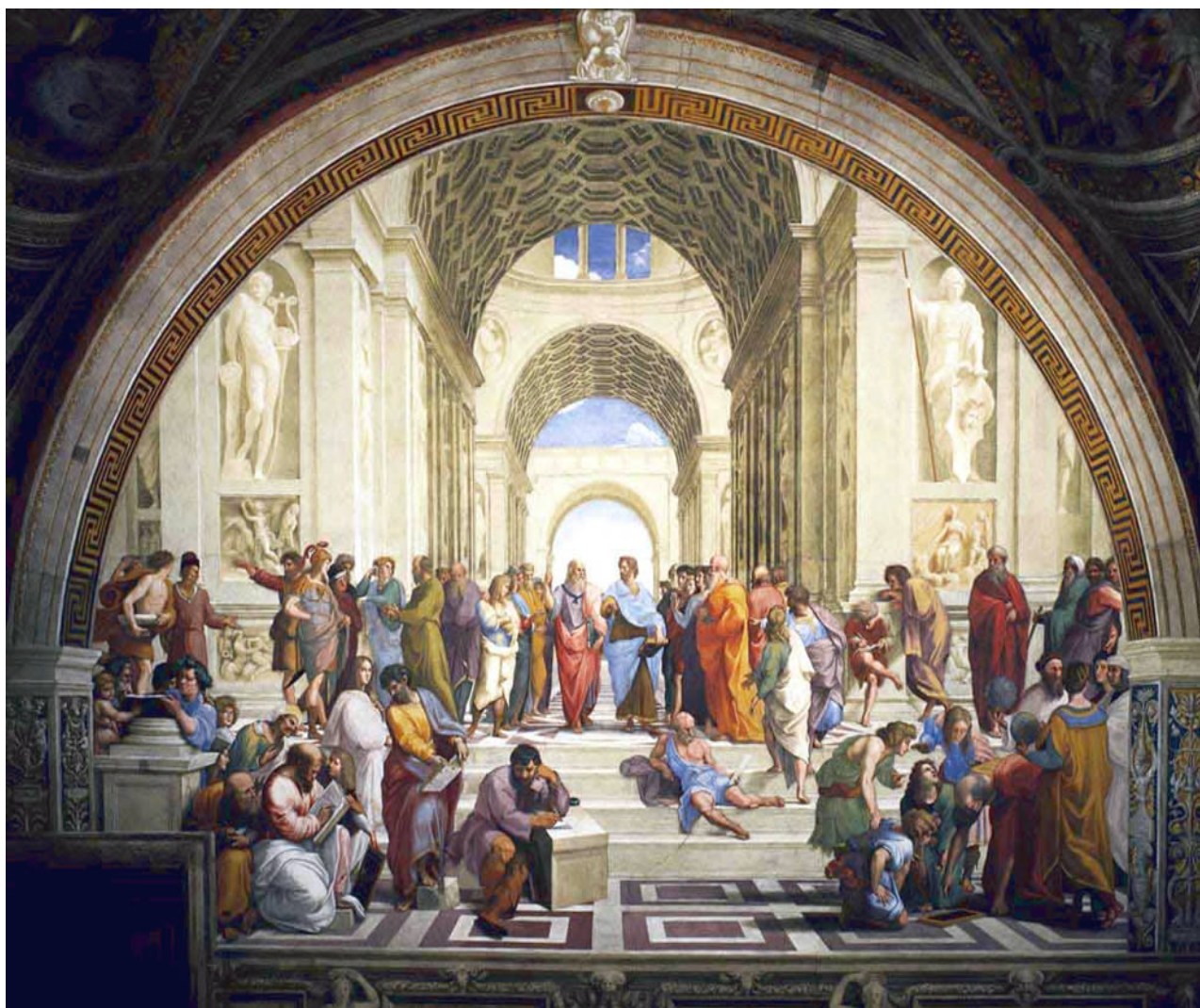
В связи с этим медицинская практика псевдоцелителей не имеет отношения к науке, так как эксперимент от случая к случаю непредсказуем, в то время как традиционная медицина гарантирует воспроизводимый результат, хотя и с долей процента риска и успеха.

Аксиома 5. Теория должна строиться только на достоверных фактах.

Результат построения теории, особенно в социально-политической сфере, основанный на непроверенных фактах нам хорошо известен. Огромное здание научного коммунизма рухнуло, предварительно катком пройдя по судьбам и жизням нескольких поколений людей во всем мире.

Следует отметить, что приведенная выше аксиоматика, безусловно, применима в области естественных наук. В гуманитарных науках она не столь категорична, кроме того, очевидно, что проведение прямого эксперимента не всегда возможно.

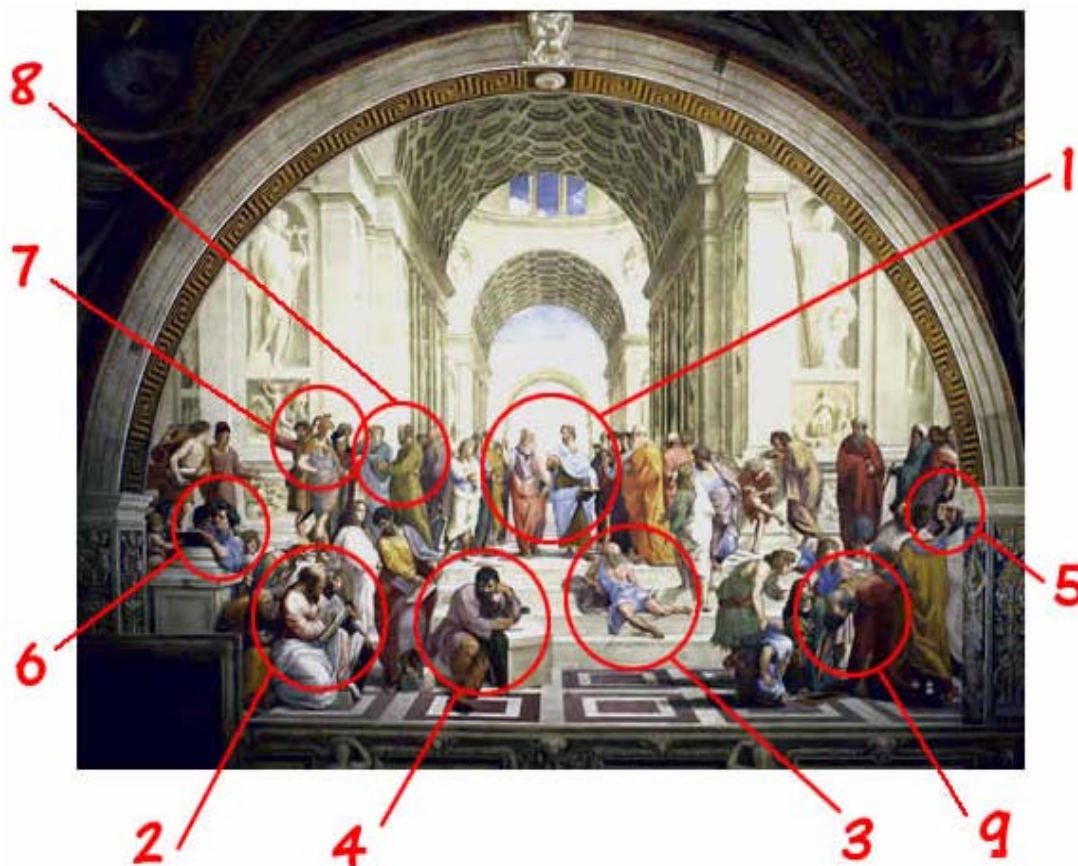
В заключение этой лекции я хочу показать вам античных ученых, представленных Рафаэлем Санти на его фреске «Афинская школа».



*Афинская школа «Философия». Рафаэль Санти. 1509–1511 гг.
(Фреска Станца делла Сеньятура, кабинет Папы Римского)*

«Афинская школа» – великое произведение Рафаэля. Фреска прославляет мощь разума, объемлющего весь мир.

Кто есть кто на фреске «Афинская школа»?



- 1 – Леонардо да Винчи в образе Платона и Аристотель
- 2 – Пифагор
- 3 – Диоген Синопский
- 4 – Микеланджело в образе Гераклита
- 5 – автопортрет
- 6 – Эпикур
- 7 – Александр Македонский
- 8 – Сократ
- 9 – Евклид

Фреска «Афинская школа» изображает не реальную группу афинян – здесь находятся не только афиняне (к примеру, философы Парменид и его ученик Зенон не были гражданами Афин) и даже не только современники, но также мыслители, жившие в другое время и в других странах (например, персидский философ-мистик Зороастр, живший за несколько веков до Платона, или мусульманский переводчик и комментатор Аристотеля Аверроэс, живший на много веков позже). Таким образом «Афинская школа» представляет идеальное сообщество мыслителей классической эпохи, сообщество учителей и учеников. Однако изображая этих выдающихся людей прошлого, Рафаэль придает им черты своих выдающихся современников. Всего на фреске представлено свыше 50 фигур (многие из них не поддаются атрибуции, насчет некоторых нет единой точки зрения):

- с бородой, в коричневой тоге – Спевсипп, философ, племянник Платона;
- в синей тоге – Менексен, философ, ученик Сократа;
- в белой тоге – Ксенократ, философ, ученик Платона;
- в желтовато-зеленоватой – философ Сократ;

- в синеватой – предположительно Александр Македонский, ученик Аристотеля;
- в темном головном уборе, низенький – Ксенофонт, философ, ученик Сократа;
- в шлеме – Алкивиад, полководец и политик, ученик Сократа;
- с вытянутой рукой – Есхин, философ, ученик Сократа;
- в розовом – Критий, философ, оратор, писатель, дядя Платона;
- с обнаженным торсом – Диагор Мелосский, поэт по прозвищу «Безбожник»;
- рядом с Амуром – философ Зенон, ученик Парменида;
- следующий за Зеноном – Навсифан, философ, последователь Демокрита, учитель

Эпикура;

- в венке – философ Демокрит (по другой версии – Эпикур);
- мальчик за его спиной – Диоген Лаэртский, историк философии;
- в белом тюрбане – Аверроэс, арабский философ;
- лысый, в желтоватом одеянии на первом плане – Анаксимандр, философ, ученик Фалеса;
- в белом одеянии, с книгой – Пифагор, философ и математик;
- с длинными волосами – Анаксагор, философ, математик и астроном;
- стоит в белом – Гипатия, женщина-математик, астроном и философ;
- стоит и держит книгу – философ Парменид;
- сидит, опершись на куб – философ Гераклит;
- лежит на ступенях – философ Диоген;
- сидят на коленях и стоят согнувшись – ученики Евклида в 27 м.б, изображен герцог

Федерико Гонзага;

- с циркулем – Евклид, математик (по другой версии – Архимед);
- в белой одежде с небесным глобусом – Зороастр, астроном и философ-мистик;
- спиной к зрителю, с земным шаром – Птолемей, астроном и географ;
- в белом берете – Иль Содома, художник, друг Рафаэля (по другой версии – Перуджино, учитель Рафаэля);
- в темном берете – Рафаэль;
- в темной тоге – философ Аркесилай (по другой версии – Плотин);
- опершись рукой о стену – философ Пиррон;
- на одной ноге – ?
- в голубом и розовом, спускается – Аристипп, философ, друг Сократа;
- всходит по ступеням – философ Эпикур;
- спиной, в розовом – ?
- с бородой, в желтоватом плаще – Теофраст, философ и ученый, ученик Платона и

Аристотеля;

- вплотную к Теофрасту стоит – Евдем, философ, ученик Аристотеля.

В 1508 году по приглашению папы Юлия II Рафаэль отправляется в Рим. Папа поручает художнику роспись парадных залов (станц) Ватиканского дворца. **В Станца делла Сеньятура (1509–11) Рафаэль представил четыре области человеческой деятельности: богословие («Диспута»), философию («Афинская школа»), поэзию («Парнас»), юриспруденцию («Мудрость, мера, сила»), а также соответствующие главным композициям аллегорические, библейские и мифологические сцены на плафоне.**

Фреска «Афинская школа» воплощает величие философии и науки. Ее основная идея – возможность гармонического согласия между различными направлениями философии и науки – принадлежит к числу важнейших идей гуманистов. Под сводами величественного здания расположились группами древнегреческие философы и ученые.

В центре композиции находятся Платон и Аристотель, олицетворяющие античную мудрость и представляющие две школы философии. Платон указывает пальцем на небо, Аристотель простирает руку над землей. Воин в шлеме – Александр Македонский, он внима-

тельно слушает Сократа, который, что-то доказывая, загибает пальцы. Слева, у подножия лестницы, Пифагор, в окружении учеников, занят разработкой математических проблем. Человек в венке из виноградных листьев – Эпикур. Человек, сидящий в задумчивой позе, опершись на куб, – Микеланджело в образе Гераклита. На ступеньках лестницы расположился Диоген. Справа Евклид, склоняясь над доской, измеряет циркулем геометрический чертеж. Ступени лестницы символизируют этапы овладения истиной. Рядом с Евклидом стоят Птолемей (держит в руках земной шар) и, вероятно, пророк Зороастр (держит небесный глобус). Чуть правее стоит сам художник (смотрит прямо на зрителя). Хотя на фреске представлено свыше 50 фигур, свойственное Рафаэлю чувство пропорций и ритма создает впечатление удивительной легкости и простора.

Художник поставил перед собой задачу невероятной сложности. И гений его проявился уже в самом подходе к ее решению. Он разделил философов на несколько обособленных групп. Одни осматривают два глобуса – Земли и неба – последний, по-видимому, находится в руках Птолемея. Рядом другие увлечены решением геометрической задачи. Напротив – уединенный мечтатель. Возле него почтенный мыслитель вносит исправления в солидный фолиант под восхищенными взглядами одних и напряженным подглядыванием плагиатора, старающегося схватить чужую мысль налету. От этих людей отходит юноша, еще не избравший себе учителя, готовый к поискам истины. Сзади – Сократ, на пальцах объясняющий слушателям ход своих рассуждений.

Совершенно замечательна фигура юноши в левом дальнем углу фрески. Он стремительно входит в это скопление мудрецов, держа в руке свиток и книгу; развеваются складки его плаща и кудри на голове. Стоящий рядом указывает ему дорогу, а некто из кружка Сократа приветствует его. Возможно, так олицетворена новая смелая мысль, которая вызовет новые споры, подвигнет на новые искания.

Словно нищий, на ступенях храма – одинокий Диоген, отстраненный от мирской суеты и дискуссий. Кто-то, проходя мимо, указывает на него, словно спрашивая спутника: не таков ли удел подлинного философа? Но тот обращает его внимание (и наше) на две фигуры, которые находятся в центре композиции. Это убеленный сединами Платон и молодой Аристотель. Они ведут диалог – спокойный спор, в котором освобождается от оков догм и предрассудков истина. Платон указывает на небо, где царят гармония, величие и высший разум. Аристотель простирает руку к земле, окружающему людей миру. В этом споре не может быть победителя, ибо для человека одинаково необходимы и безмерный космос, и родная Земля, познание которых будет длиться вечно.

Несмотря на обособление групп философов, картина тяготеет к двум центральным фигурам, отчетливо выдающимся на фоне неба. Их единство подчеркивает система арочных сводов, последний из которых образует подобие рамы, в которой находятся Платон и Аристотель.

Единство философий – в разнообразии отдельных школ и личных мнений. Так складывается великая симфония человеческого познания. Этому не мешает разобщенность мыслителей в пространстве и времени. Напротив, познание объединяет всех, кто искренне к нему стремится. И не случайно, конечно, в картине присутствуют люди всех возрастов, включая младенцев, а на их лицах не только сосредоточенность и задумчивость, но и светлые улыбки.

В своих четырех великих композициях Рафаэль показал **четыре основания, на которых должно покоиться человеческое общество: разум (философия, наука), доброта и любовь (религия), красота (искусство), справедливость (правосудие).**

Современному человеку может показаться невероятным, что Рафаэль, не достигший тридцатилетия, мог создавать такие грандиозные фрески. Поражает одно уже величие замысла и способность выразить глубокие идеи (а прежде – осознать их) в форме живописных композиций. А сколько для этого требовалось сделать набросков, эскизов! Трудно усомниться, что над фресками работали группы художников. Но общий замысел, структура картин, конкретные фигуры и обработка многих деталей – дело рук и мысли великого мастера.

Философы полагают, что факты рожают идеи,
и в некотором смысле это верно.
Но я нахожу в истории естествознания
следующее: для того, чтобы понимать факты,
необходимо иметь в голове определенные идеи,
и что глазами можно не увидеть того, что увидит разум.

Ю. фон Либих

2. КОНЦЕПЦИЯ ДИСКРЕТНОСТИ И КONTИНУАЛЬНОСТИ В ОПИСАНИИ ПРИРОДЫ. СТРУКТУРНЫЕ УРОВНИ ОРГАНИЗАЦИИ МАТЕРИИ. РОЛЬ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ МИРОВЫХ КОНСТАНТ

Еще в античные времена были сформулированы две «взаимно исключаютелые» (на самом деле природа устроена сложнее, чем мы привыкли считать. Об этом мы скажем в конце лекции) друг друга гипотезы о внутреннем строении тел. Согласно первой, вещество непрерывно состоит из одного или нескольких «первичных» элементов. Вторая гипотеза утверждала, что все вещества состоят из неделимых далее частиц – атомов.

Это расхождение имело принципиальное значение и для теории познания, и для науки в целом. Если материя непрерывна, то задачи исследования существенно сужаются (делить что-либо на элементарные части не нужно, все равно получим то же вещество с теми же свойствами). Если же верна вторая гипотеза, то задачей исследователей является изучение свойств этих атомов и ответ на вопрос: как они скрепляются при образовании различных веществ? Попутно возникает еще одна проблема. Если мы начнем делить вещество на части, то до какого момента оно сохраняет свои свойства? Если обратить эту задачу, то фактически это означает решение проблемы: сколько надо взять атомов (или молекул) вещества, чтобы оно проявляло известные нам свойства. Эта проблема в каком-то смысле аналогична древней философской проблеме «кучи» (зерно и зерно – два зерна, еще одно зерно – три зерна..., а когда куча?).

Продлившись более 2500 лет, спор между гипотезами окончательно разрешился только в начале XX века признанием атомистической концепции, подтвержденной после открытия в 1896 г. В. Рентгеном его лучей. С их помощью уже в нашем веке М. Лауэ, а также отцом и сыном У.Л. Брэггом и У.Г. Брэггами была открыта дифракция на атомно-кристаллической структуре.

Сейчас, когда мы со школьной скамьи знаем и про атомы, и молекулы, и много чего другого про них, сама проблема атомизма может показаться очень уж тривиальной. На самом деле она глубже, чем обычно о ней говорят на популярном уровне, и сводится не только, и даже не столько к атомизму, сколько к проблеме дискретного описания материи, а значит, ее свойств. Да и вряд ли плеяда высоких умов, начиная с античности, занималась столь тривиальной проблемой? Приведем краткую историческую справку. Атомистами были Анаксагор, Левкипп, Демокрит, Эпикур. Им противостояли Сократ, Платон, Аристотель. В средние века под влиянием фактически канонизированного учения Аристотеля термин «атом» исчезает из употребления. В новое время впервые корпускулярную теорию строения материи развил Р. Бойль, введя понятие «химического элемента как простого тела, не состоящего из других». Далее свой вклад внесли А. Лавуазье, Д. Дальтон, А. Авогадро. На великой гипотезе А. Авогадро мы сейчас и остановимся. Дело в том, что в 1808 г. Ж. Гей-Люссак нашел закон простых объемных отношений. Например, два литра водорода и один литр кислорода дают два литра водяных паров. Этот факт ($2 + 1 = 2$?) не находил объяснения в атомистической теории, предложенной в 1803 г. Д. Дальтоном. Для спасения атомистической теории А. Аво-

гадро в 1811 г. выдвинул гипотезу, разрешившую это противоречие. Для этого ему потребовалось ввести новое понятие – молекулы как соединения атомов (обратите внимание, все это было высказано в то время, когда гипотезой являлось еще само существование атомов!). Далее он предположил, что число этих новых «сущностей» – молекул всегда одно и то же в одинаковых объемах любых газов и всегда пропорционально объему. Отсюда он сделал вывод (закон Авогадро): при одинаковых давлении и температуре равные объемы любых газов содержат одно и то же число структурных элементов (это либо атомы, если газ одноатомный, либо молекулы, если газ многоатомный), и это число Авогадро $N_A = 6,0227 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹ (в дальнейшем нам существенен именно порядок этой величины, а не ее размерность – моль⁻¹).

Гипотеза А. Авогадро закрепила в науке представление о дискретном строении вещества, хотя официальное признание самой гипотезы пришло только на I Международном конгрессе химиков в 1860 г. спустя четыре года после смерти автора, а само N_A было вычислено впервые Й. Лошмидтом в 1865 г. Важно также, что еще в XIX в. возникает новое понятие – количество вещества, и уже в XX веке становится ясным, что число Авогадро является, по существу, достаточным условием макросостояния. Необходимого условия в общем случае не существует. Для каких-то объектов это может быть миллион структурных элементов, а для других может и всего 1000, но мы определенно знаем, чего бы мы не взяли в количестве N_A , это всегда макрообъект (т.е. «куча»).

Подводя итог, имеет смысл привести высказывание Нобелевского лауреата Р. Фейнмана, считавшего, что атомистическая гипотеза – это именно то, что следует взять с собой, если в будущем человечеству предстоит забыть все остальные знания.

Наши современные знания дают следующее представление об иерархической структуре материи. В микромире из кварков «состоят» протоны и нейтроны, которые в свою очередь формируют ядра атомов. Атомы (состоят из ядра и электронов) могут комбинироваться в молекулы. Из этих материалов состоят привычные нам макроскопические тела. Если двигаться вверх по шкале масштабов, то мы должны выделить мегамир: планеты и их системы, звездные скопления, затем галактики, которые в свою очередь объединяются в скопления и сверхгалактики. Микро-, макро- и мегаразмеры объектов относятся друг к другу примерно так:

макро/микро \approx мега/макро.

В рамках нашего курса мы должны охарактеризовать не только каждый из этих иерархических уровней, но и также посредством чего осуществляется такая иерархия. Что является своеобразным «клеем», делающим возможным существование этих уровней? Оказывается, что важнейшими характеристиками такого «клеящего вещества» выступают определенные константы, часто их называют фундаментальными мировыми константами. Как мы увидим, этих фундаментальных констант в физике, химии и биологии не так уж и много. В настоящее время нам понятно, что сравнительно небольшое их изменение должно привести к формированию качественно иного мира, в котором, в частности, стало бы невозможным образование ныне существующих микро-, макро- и мегаструктур, а следовательно, и высокоорганизованных форм живой материи. Проблема фундаментальных констант приобретает, таким образом, в концептуальном плане глобальное мировоззренческое значение.

Лоренцо Романо Амедео Карло Авогадро Граф Куаренья и Черетто (Lorenzo Romano Amedeo Carlo Avogadro di Quaregna e Cerreto) родился 9 августа 1776 года в Турине, столице Сардинского королевства.

8 мая 1794 (19 флореаля II года республики) Антуан Лоран Лавуазье был гильотинирован по решению революционного трибунала. Историк науки В. Штрубе отмечает, что в обвинении ученому чувствуется надуманность и демагогичность. Жена Лавуазье жаловалась, что учёные, которые должны были бы выступить в защиту Лавуазье, ничего не сделали для его спасения. Лагранж, Жозеф Луи: Всего мгновение потребовалось им, чтобы срубить эту голову, но может и за сто лет Франция не сможет произвести ещё так.



Амедео Авогадро
(9 августа 1776, Турин – 9 июля 1856, Турин) –
итальянский учёный, физик и химик



Антуан Лоран Лавуазье
(26 августа 1743, Париж – 8 мая 1794, Париж) –
французский естествоиспытатель,
основатель современной химии

Имя А. Лавуазье внесено в список величайших учёных Франции, помещённый на первом этаже Эйфелевой башни.



Н.В. Уточнение для физиков. «Квантованное волновое поле – фундаментальная физическая концепция, в рамках которой формулируется динамика частиц и их взаимодействия. Она позволяет описывать различные состояния системы многих частиц единым физическим объектом в обычном пространстве-времени – квантованным полем. Квантованное поле возникает путем квантования классического поля, в результате которого полевая функция приобретает операторный характер и выражается через операторы рождения и уничтожения частиц. Тем самым, появляется возможность описывать важнейшие свойства мира элементарных частиц – процессы их взаимного превращения» (Н.Н. Боголюбов, Д.В. Ширков. Квантовые поля. – М.: Наука, 1980. – С. 13).



Никола́й Никола́евич Боголю́бов

(8 (21) августа 1909 г., Нижний Новгород – 13 февраля 1992 г., Москва) – советский математик и физик-теоретик, академик Российской академии наук (1991; академик Академии наук СССР с 1953 г.) и АН УССР (1948), основатель научных школ по нелинейной механике и теоретической физике. Дважды Герой Социалистического Труда.



Дми́трий Васи́льевич Ширко́в

(3 марта 1928 г., Москва – 23 января 2016 г., Дубна [2]) – российский физик-теоретик, специалист в области квантовой теории поля, физики высоких энергий, теории сверхпроводимости и дисперсионных соотношений, теории переноса и замедления нейтронов, академик РАН.

Невозмутимый строй во всем,
Созвучье полное в природе,
Лишь в нашей призрачной свободе,
Разлад мы с нею сознаем.

Ф.И. Тютчев

3. ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ КАК СЛЕДСТВИЕ СИММЕТРИЙНЫХ СВОЙСТВ ПРОСТРАНСТВА И ВРЕМЕНИ

В этой и двух последующих лекциях мы продемонстрируем «работу» второй аксиомы на ряде очень важных концептуальных примеров.

Остановимся вначале на двух понятиях: однородность и изотропность. Определим их по отношению к пространству.

1. Пространство называется *однородным*, если свойства его не меняются *при любом параллельном переносе*.

2. Пространство называется *изотропным*, если свойства его не меняются *при любом повороте* вокруг заданной оси.

Таким образом, отличие двух определений заключается в существенно разном наблюдении над пространством. В первом случае надо двигаться трансляционным путем, во втором необходимо поворачивать траекторию наблюдения. Заметим здесь же, что однородное и изотропное пространство обладает максимально возможной симметрией.

Представим теперь, что мы запускаем в пустыню двух агентов, муравья и верблюда. Пустыня для определенности вся состоит из песка, т.е. это что-то типа Сахары, на худой конец подойдет и Иудейская, хотя в ней и мало песка. Какую же информацию об однородности и изотропности дадут нам два наших агента?

Муравей, проползав параллельными курсами и ощущая своими маленькими ножками разные размеры песчинок, доложит, что пустыня неоднородная, но поскольку видит он на небольшое расстояние, сравнимое с его размерами, он повсюду видит одинаковую плотность песка, поэтому утверждает что она изотропная.

Верблюд своими большими ногами не чувствует размера песчинок, поэтому считает что пустыня однородна, но он видит достаточно далеко, на расстояние, значительно большее его размеров, поэтому, повертев головой с одной стороны видит бархан, с другой – его нет, и поэтому докладывает нам, что пустыня не изотропна. Таким образом, два наших агента (каждый из которых по условиям задачи абсолютно правдив) представили нам совершенно противоположную информацию.

Приведем физический пример. Если осветить кристалл (аналог пустыни) видимым светом (аналог верблюда), то он не «почувствует» структуру кристалла, и среда по отношению к нему будет однородной. Однако свет, распространяясь по разным направлениям, «почувствует» неизотропность кристалла. Если же осветить тот же самый кристалл рентгеновским излучением, длина волны которого сопоставима с размером атомов (аналог муравья), то оно «почувствует» неоднородность среды. Но на больших расстояниях кристалл для рентгеновского излучения изотропен.

Эти примеры приводят нас к достаточно общему положению.

Любую информацию мы получаем «с точностью до агента».

На самом деле даже не столь уж важно, «правдив» агент или нет; принцип остается в силе. Агентами могут быть любые источники информации, начиная от людей и рукописей, до приборов, участвующих в эксперименте. Возникает вопрос, а есть ли объективные агенты? Если есть, то кто или что это? Поскольку дело касается научных данных, то на постав-

ленный вопрос можно ответить утвердительно. Такие «агенты» существуют, и это **законы природы**. Именно они **являются объективными агентами**.

Данное утверждение проще всего выяснить следующим образом.

Давайте вспомним, сколько исходных положений (примем их за аксиомы), т.е. физических законов, нам нужно знать, чтобы решать школьные задачи по механике. Во-первых, это три закона Ньютона, во-вторых, три закона сохранения: закон сохранения механической энергии, закон сохранения импульса и закон сохранения момента импульса.

Закон сохранения энергии – суммарная величина потенциальной и кинетической энергии есть константа, т.е. сохраняется $E = mgh + mv^2/2$. Закон сохранения импульса – сохраняется величина $\mathbf{P} = m\mathbf{v} = \text{const}$. Закон сохранения момента импульса – сохраняется величина $\mathbf{L} = [\mathbf{rP}] = \text{const}$. (\mathbf{L} – это векторное произведение двух векторов \mathbf{r} и \mathbf{P}).

Таким образом, при таком подходе в ньютоновском формализме всего шесть исходных положений – аксиом.

Существуют другие формализмы механики, например, формализм Ж. Лагранжа. В нем исходными являются всего две аксиомы.

Здесь мы специально не останавливаемся на их формулировке, так же как не приводим уравнений Лагранжа и вывода из них законов Ньютона и законов сохранения, поскольку это потребовало бы от нас чрезмерно математизировать изложение.

Приняв за основу всего лишь две аксиомы Лагранжа (вместо шести в ньютоновском формализме), мы, согласно аксиоме 2, должны получить либо принципиально более правильное представление, либо нечто совершенно новое в награду за использование меньшего количества «сущностей». Действительно, в формализме Лагранжа путем соответствующих математических преобразований можно получить не только законы Ньютона, но (и именно это и важно для нас) все три закона сохранения. Причем каждый из законов сохранения теперь является не аксиомой (как в формализме Ньютона), а **следствием** тех или иных свойств **времени или пространства**, а если точнее, то **следствием той или иной симметрии времени и пространства**. Конкретно: **закон сохранения энергии есть следствие однородности времени, закон сохранения импульса – следствие однородности пространства, закон сохранения момента импульса – следствие изотропности пространства**. Указанные три закона сохранения как раз и являются теми объективными «агентами», которые отвечают на вопросы об однородности или неоднородности времени и пространства и об изотропности последнего. То есть там, где закон сохранения механической энергии выполняется время течет однородно. Аналогично и относительно однородности пространства. Сохранение импульса – гарантия однородности, а момента импульса – изотропности пространства.

Таким образом, на примере перехода от формализма механики Ньютона к формализму Лагранжа, мы убедились, что использование меньшего количества сущностей привело нас к новым знаниям. Кроме того, даже на таком простейшем примере мы убедились, что свойства **симметрии** чрезвычайно важны для «осуществления» законов природы и, в частности, для сохранения тех или иных физических величин. В дальнейшем мы каждый раз специально будем останавливаться на том, что происходит с симметрией при осуществлении того или иного закона, ибо **симметрия – это тоже своеобразный язык природы**.

Следует пояснить хотя бы качественно понятие симметрии. **В том случае, когда состояние системы (это может быть материальный объект, процесс или уравнение) не меняется в результате какого-либо преобразования, которому она может быть подвергнута, говорят, что система обладает симметрией относительно данного преобразования**. В нашем кратком курсе мы не можем более подробно характеризовать различные виды симметрии, приведем лишь несколько примеров, важных для дальнейшего изложения.

Первый пример. Мы интуитивно понимаем, что неоднородное пространство обладает более низкой симметрией по сравнению с однородным. Аналогично переход от изотропного пространства к неизотропному также сопровождается понижением симметрии.

Второй пример. Мы должны договориться, что хаотическое состояние, обладающее минимальным порядком, обладает более высокой симметрией, нежели упорядоченное. Действительно, представьте себе сосуд, разделенный подвижной перегородкой. В одной части сосуда какой-то газ. Резко вытаскиваем перегородку. В первый момент времени наша система упорядочена. В одной части газ, в другой – его нет. По прошествии времени газ распространяется на весь сосуд. Это второе состояние полностью неупорядоченное, максимально хаотическое и обладает более высокой симметрией по сравнению с первоначальным.

Третий пример. Есть две системы, в одной поровну винты с левой и правой резьбой, во второй системе, например, только с левой. Какая из систем обладает более высокой симметрией? Ответить легко, если представить мысленно, что у нас есть еще и третья система, в которой только правосторонние винтики. Тогда ясно, что первая система, в которой и тех, и других поровну, более высокосимметрична, чем каждая из двух других. Представленные примеры в дальнейшем будут нам очень нужны для объяснения чрезвычайно важных закономерностей.



Для муравья пространство пустыни неоднородно, но изотропно.



Для верблюда пространство пустыни однородно, но не изотропно.

Движенья нет, сказал мудрец брадатый.
 Другой смолчал и стал пред ним ходить.
 Сильнее бы не мог он возразить;
 Хвалили все ответ замысловатый.
 Но, господа, забавный случай сей
 Другой на память мне приводит:
 Ведь каждый день пред нами солнце ходит,
 Однако ж прав упрямый Галилей.

А.С. Пушкин

4. ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ КОНТИНУУМ КАК СЛЕДСТВИЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ КОНСТАНТЫ – СКОРОСТИ СВЕТА

Перейдем теперь к не столь очевидным фактам. Вначале маленькая историческая справка. В 50-х годах XIX в. Д. Максвелл на основе неправильной модели получил четыре знаменитых уравнения, названных его именем. Уравнения Д. Максвелла прекрасно описывают все законы электромагнетизма и оптики, полученные ранее на основе многочисленных экспериментальных данных. То есть все законы электромагнетизма, известные ранее и рассматриваемые как аксиомы, могут быть получены путем соответствующих математических преобразований всего лишь из четырех уравнений (если рассматривается некоторая среда, то к ним добавляется еще одно, т.н. материальное уравнение). К чему же в данном случае приводит уменьшение «сущностей»? Чтобы ответить на этот вопрос, продолжим нашу историческую справку. Очень скоро физики заметили, что уравнения Максвелла не остаются неизменными при так называемых преобразованиях Галилея:

$$x = x' + v_0 t, \quad t = t', \quad (1)$$

здесь x – координата тела в неподвижной системе координат (например, координата Остапа Бендера, бегущего по движущемуся поезду относительно неподвижного наблюдателя, стоящего на перроне Жмеринского вокзала), x' – координата тела в движущейся системе координат (т.е. координата Остапа, «привязанная» к поезду, иными словами, номер вагона и положение на самом вагоне), v_0 – скорость движущейся системы отсчета (в нашей задаче это скорость поезда в направлении оси x). Соответственно, время t в неподвижной системе совпадает со временем t' в движущейся. Из приведенных формул легко получить ту неправильную формулу, которой мы пользовались при решении задачи о скорости тов. Бендера, бегущего на поезде «Жмеринка–Париж». Действительно, разделив первое уравнение на t , получим:

$$V = v' + v_0, \quad (2)$$

Для нашей задачи v' равна скорости Бендера v_B , а v_0 – скорости поезда v_P .

Если уравнения Максвелла изменяются при «интуитивно очевидных» преобразованиях Галилея (ведь формула (2) считалась нами очевидной), то возникает вопрос. Каковы должны быть другие, «неочевидные», преобразования, чтобы уравнения Максвелла оставались неизменными. Соответственно, какая «неочевидная» формула для сложения скоростей получается из этих негалилеевых преобразований?

Пуанкаре получил эти преобразования (и назвал их в честь Лоренца преобразованиями Лоренца):

$$x = \frac{x' + v_0 t'}{\sqrt{1 - v_0^2 / c^2}}, \quad t = \frac{t' + v_0 x' / c^2}{\sqrt{1 - v_0^2 / c^2}}. \quad (3)$$

В этих новых преобразованиях величина $c \approx 3 \cdot 10^8$ м/с – это скорость света в вакууме. Из преобразований Лоренца следует «неочевидная» формула для сложения скоростей:

$$V = \frac{v' + v_0}{1 + v'v_0 / c^2}. \quad (4)$$

Совершенно ясно, что если $v_0 \ll c$, то преобразования Лоренца переходят в преобразования Галилея, а «неочевидная» формула (4) – в «очевидную» формулу (2). Так что же все-таки истинно, «очевидное» (1) и (2) или «неочевидное» (3) и (4)? Оказалось, что преобразования Лоренца оставляют уравнения Максвелла неизменными, то есть именно они (а не преобразования Галилея) правильные с точки зрения электродинамики и оптики.

На первый взгляд, кажется, что преобразования Лоренца и следующий из них закон сложения скоростей абсурдны. В самом деле, ведь если нас интересует координата бегущего Остапа x , то непонятно, причем здесь оказывается скорость света в первой формуле (3)? Со временем еще хуже, согласно второй формуле (3), время не только зависит от того, движется наблюдатель или покоится, но оказывается, что еще и от его местоположения x и опять-таки от скорости света, что совсем уже непонятно. Непонятна и формула (4). Почему при решении такой простой кинематической задачи, как О. Бендер, бегущий по крыше поезда, следует учитывать скорость света?

На самом деле перечень «непонятностей» этим еще не исчерпывается. Из преобразований (3) Лоренц непосредственно получил еще два, на первый взгляд, совершенно «абсурдных» результата. Оказывается, что линейные размеры тела вдоль направления движения сокращаются по сравнению с теми, какие они для неподвижного тела, а время в движущейся системе замедляется:

$$\Delta x' < \Delta x, \quad \Delta t' < \Delta t. \quad (5)$$

Эти лоренцевские результаты (сокращение расстояния и замедление времени) являлись вопиющим противоречием представлениям о свойствах пространства и времени, сложившимся в науке к началу XX века. Однако никаких дальнейших концептуальных выводов сразу же сделано не было. Слишком сильно было *пристрастие* к парадигме Г. Галилея и И. Ньютона – *пространство и время являются абсолютными категориями, существуют сами по себе и не зависят от внешних обстоятельств*.

Теперь полезно упомянуть об одном анекдотичном факте. В конце XIX века тогда еще молодой человек М. Планк, будучи студентом, пришел к одному из своих профессоров за советом, чем ему заняться. Маститый профессор не советовал М. Планку заниматься теоретической физикой, так как считал, что в ней практически все фундаментальные проблемы решены. «Есть правда два маленьких облачка на чистом небосклоне теории. Одно из них, не совсем понятно, *что творится с измерением скорости света*, другое – не совсем ясно *задача с излучением абсолютно черного тела*».

Прошло совсем незначительное время, и два маленьких облачка породили ураганы. Один из них – специальная и общая теории относительности, второй, в создании которого основополагающую роль сыграл сам М. Планк, – квантовая теория. Ну да начнем по порядку.

«Непонятность» с измерением скорости света заключалась в следующем. Со времени экспериментов О. Френеля и Т. Юнга, когда впервые для света были установлены такие волновые явления, как интерференция и дифракция, было ясно, что свет обладает волновой природой. По представлениям XIX века, любой волновой процесс должен распространяться в какой-либо среде. Для световых волн такой средой считали некий мифический (как теперь мы знаем) эфир. Но вот что непонятно, в отличие от других сред, свойства которых понятны и относительно постоянны, эфир вел себя очень странно.

Для выяснения свойств эфира сначала А. Майкельсоном, а затем А. Майкельсоном совместно с Э. Морли в 1881–1887 гг. были проведены серия высокоточных экспериментов на специально сконструированном приборе – интерферометре Майкельсона. Схематически и в очень упрощенном виде (для нашей цели такое упрощение вполне допустимо) этот прибор изображен на рис. 1. Он состоит из четырех зеркал, два из которых попарно параллельны друг

другу. Суть эксперимента заключалась в том, что два параллельных зеркала устанавливались строго по земному меридиану, а два других – по параллели. Между обоими парами зеркал для измерения скорости света запускался световой зайчик. Вращение Земли никак не сказывается при движении света по меридиану, поэтому его скорость равна c . При движении по параллели должно вроде бы сказываться вращение Земли. При движении света с запада на восток направление скорости света c совпадает со скоростью вращения Земли v_3 , поэтому измерение вроде бы должно давать величину $c + v_3$. Для скорости в обратном направлении, следуя этой логике, мы должны получить величину $c - v_3$, в полном соответствии с задачей движения Остапа на крыше поезда. Но, и именно это являлось «непонятностью», и в том, и в другом направлении, как и по меридиану, эксперимент давал одну и ту же величину итоговой скорости, равную c .

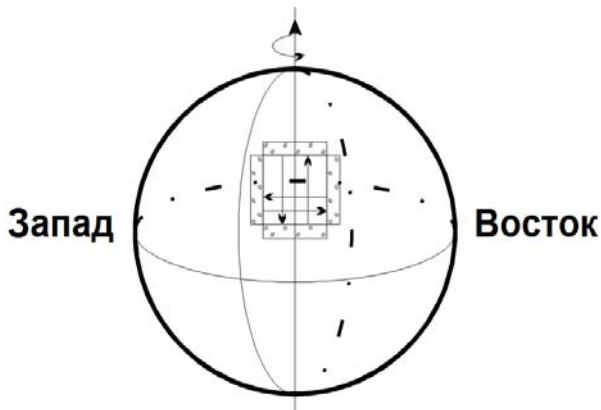


Рис. 1. Интерферометр Майкельсона схематически изображен на поверхности Земли. На свете, распространяющемся по меридиану, вращение Земли никак не сказывается. При распространении света по параллели вращение Земли опять-таки на нем никак не сказывается, несмотря на очевидный результат задачи о поезде «Жмеринка–Париж»

Чтобы не покушаться на «священную корову» – преобразования Галилея, а значит, и формулу (2), физики придумали для эфира целый ряд уникальных свойств («сущностей»), чтобы объяснить экспериментально наблюдаемую скорость. Вот вам и характерный пример игнорирования **аксиомы 1**. Пристрастие к преобразованиям Галилея было столь сильно, что никто не хотел всерьез обращать внимания, а значит, и анализировать с других позиций тот факт, что «неправильная формула» (4) при $v' = c$, или при $v_0 = c$ всегда дает для величины результирующей скорости равенство $V = c$. Указанное несоответствие было впервые разрешено А. Пуанкаре в 1898 г. в работе «Измерение времени», а затем А. Эйнштейном в 1905 г. в работе «К электродинамике движущихся сред». Характерно, что в этой работе А. Эйнштейн не отрицал в явном виде существования эфира, он просто построил новую концептуальную теорию, а эфир со всеми его «сущностями» просто не упоминал. То есть просто выбросил «по умолчанию» идею эфира. В новой теории потребовалось всего лишь две новые аксиомы (опять переход от многих «сущностей» к меньшему их числу). Во-первых, так называемый принцип относительности, сформулированный впервые А. Пуанкаре в 1889 г. – *все физические явления при одинаковых начальных условиях протекают одинаково во всех инерциальных системах отсчета*. Во-вторых, аксиома о скорости распространения взаимодействия – *скорость света конечна и одинакова во всех инерциальных системах отсчета, не зависит от скорости движения источника и является предельной скоростью распространения любого сигнала (взаимодействия)*. Вторая аксиома фактически отражает соблюдение фундаментального физического принципа – принципа причинности. Обе аксиомы были положены А. Эйнштейном в основу специальной (в оригинале частной) теории относительности (СТО), приведшей к глубокому переосмыслению понятий пространства и времени.

Как уже было отмечено, до А. Эйнштейна ряд результатов СТО были получены А. Пуанкаре и Х. Лоренцем. А. Пуанкаре даже опубликовал свои результаты раньше Эйнштейна. Но работы Пуанкаре были опубликованы либо в философском журнале, либо в математических журналах. Наверное, поэтому на них не обратили внимания и впоследствии почти не ссылались. А. Эйнштейн же послал свою работу в известный немецкий журнал, и она сразу стала достоянием широкой научной общественности.

После выхода в свет основополагающей работы А. Эйнштейна (и с учетом результатов работ А. Пуанкаре и Х. Лоренца по исследованию симметрии уравнений Д. Максвелла), одним из его учителей, Г. Минковским в 1908 г. была предложена принципиально новая геометрическая интерпретация его результатов. В СТО был введен четырехмерный пространственно-временной интервал (идея, также впервые предложенная А. Пуанкаре):

$$R^2 = c^2 t^2 - x^2 - y^2 - z^2. \quad (6)$$

Выражение (6) – аналог теоремы Пифагора в 4-мерном пространстве. Принципиально важно, что «временное слагаемое» $c^2 t^2$ имеет другой знак, нежели пространственные координаты. Физически это означает, что скорость света есть максимально возможная скорость движения. Действительно, если превысить скорость света, то величина R^2 станет отрицательной, т.е. «расстояние» R в этом пространстве окажется мнимым. Заметим здесь же, что эта геометрическая интерпретация первоначально очень не понравилась А. Эйнштейну и была им отвергнута, но спустя несколько лет он с радостью воспринял ее для достижения других, еще более интересных результатов.

Далее СТО строится исходя из требования, чтобы интервал (6) в согласии со второй аксиомой, при любых преобразованиях координат и времени оставался постоянным. Такие преобразования могут быть описаны как повороты четырехмерной системы координат. Это и есть *симметрия Лоренца–Пуанкаре*. В итоге, как мы знаем, получаются преобразования Х. Лоренца, где наглядно видно (см. второе соотношение формулы (3)), что время t и пространство x , не являются независимыми. Если бы скорость света была бесконечной, пространство и время существовали бы независимо друг от друга. Потребовался математический гений А. Пуанкаре и физическое осмысление его идей А. Эйнштейном, чтобы полностью осознать эту связь и понять, что ***пространство и время не существуют независимо друг от друга, они неразрывно связаны между собой посредством определенной симметрии***. Эта симметрия Лоренца–Пуанкаре – не просто абстрактная математика, она происходит в *реальном* мире, осуществляясь через *движение*. Теперь ясно, что существование четырехмерного пространственно-временного континуума является следствием конечности скорости любого взаимодействия, которое ограничено сверху скоростью света.

Теперь понятно, что формула (2) принципиально неверна, поскольку она не учитывает пространственно-временную взаимосвязь. Кроме того, из нее не могут быть получены замечательные эффекты СТО, на первый взгляд, противоречащие здравому смыслу, такие как, например, сокращение расстояния и замедление времени. Одним из фундаментальных достижений СТО явилась знаменитая формула, связывающая массу и энергию:

$$E = mc^2. \quad (7)$$

Удивительно, но эту формулу независимо от А. Пуанкаре и за 15 лет до А. Эйнштейна получил О. Хевисайд. Впрочем, это далеко не единственный результат О. Хевисайда, намного опередивший свое время, который был получен им из неизвестных нам соображений.

Специально обратим внимание на то, что урок, преподнесенный Х. Лоренцем и А. Пуанкаре, состоит в том, что математическое исследование, в данном случае на основе анализа симметрии, может стать источником выдающихся достижений в науке. ***Даже если математическую симметрию невозможно представить наглядно, она может указать путь к выявлению новых фундаментальных принципов природы***. Ниже при изложении материала мы каждый раз специально будем останавливаться на значении той или иной симметрии, определяющей фундаментальные закономерности в неживой и живой природе.

Н.В. для физиков и математиков

Данный вид преобразований, по предложению А. Пуанкаре, назван в честь голландского физика Х.А. Лоренца, который в серии работ (1892, 1895, 1899 годы) опубликовал их приближённый вариант (с точностью до членов порядка v^2/c^2). Позднее историки физики обнаружили, что эти преобразования были опубликованы независимо другими физиками:

1. 1887 год: В. Фогт, при исследовании эффекта Доплера [1], [2].

2. 1897 год: Дж. Лармор, его целью было обнаружить преобразования, относительно которых уравнения Максвелла инвариантны [3].

1. Miller (1981), 114–115.

2. Pais (1982), Кар. 6b.

3. Larmor J. On a Dynamical theory of the electric and luminiferous medium. Part 3. Relations with material media

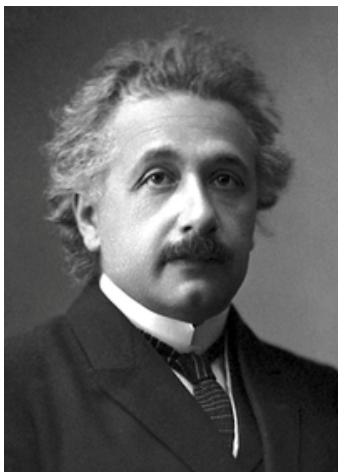
4. Пуанкаре А. О динамике электрона // Принцип относительности: сборник работ классиков релятивизма. – М.: Атомиздат, 1973. – С. 90–93, 118–160.



Хендрик (часто пишется Гендрик) **Антон Лоренц** (нидерл. Hendrik Antoon Lorentz; 18 июля 1853, Арнем, Нидерланды – 4 февраля 1928, Харлем, Нидерланды) – нидерландский физик-теоретик, лауреат Нобелевской премии по физике (1902, совместно с Питером Зеemanом) и других наград, член Нидерландской королевской академии наук (1881), ряда иностранных академий наук и научных обществ.



Герман Минковский (нем. Hermann Minkowski; 22 июня 1864, Алексоты, Ковенская губерния, Российская империя – 12 января 1909, Гёттинген, Германская империя) – немецкий математик, разработавший геометрическую теорию чисел и геометрическую четырёхмерную модель теории относительности.



Альберт Эйнштейн (нем. Albert Einstein; 14 марта 1879, Ульм, Вюртемберг, Германия – 18 апреля 1955, Принстон, Нью-Джерси, США) – физик-теоретик, один из основателей современной теоретической физики, лауреат Нобелевской премии по физике 1921 года, общественный деятель – гуманист. Жил в Германии (1879–1893, 1914–1933), Швейцарии (1893–1914) и США (1933–1955). Почётный доктор около 20 ведущих университетов мира, член многих академий наук.

Блажен, кто посетил сей мир
 В его минуты роковые!
 Его призвали всеблагие
 Как собеседника на пир.
 Он их высоких зрелищ зритель,
 Он в их совет допущен был –
 И заживо, как небожитель,
 Из чаши их бессмертье пил!

Ф.И. Тютчев

5. ГЕОМЕТРИЯ ПРОСТРАНСТВА-ВРЕМЕНИ. ГРАВИТАЦИЯ КАК СЛЕДСТВИЕ ГЕОМЕТРИИ В ПАРАДИГМЕ ЭЙНШТЕЙНА

Важнейшим следствием СТО является замена абсолютных пространства и времени на новую физическую сущность – единое пространство-время Г. Минковского (r, t). Однако и это пространство является, по существу, экстраполяцией классического трехмерного пространства на четыре измерения и имеет поэтому пассивный характер, т.е. не оказывает обратного воздействия на физические процессы, протекающие в нем.

Характерно, что пространство Г. Минковского евклидово, плоское (имеет нулевую кривизну). И это понятно, т.к. в СТО рассматриваются только инерциальные системы отсчета (движущиеся прямолинейно и равномерно друг относительно друга), на которые не действуют гравитационные силы. Именно поэтому пространство Г. Минковского – определенная физическая абстракция, т.к. от силы гравитации нельзя защититься никаким экраном.

Теперь мы переходим к менее известной истории – созданию А. Эйнштейном общей теории относительности (ОТО). Самым поразительным фактом, с точки зрения теории познания, здесь является, пожалуй, то, что *искал* А. Эйнштейн *одно*, а *нашел* совершенно *другое*. И если в создании СТО практически одновременно участвовал целый ряд исследователей, то в создании новой теории гравитации приняли участие, в основном двое – Д. Гильберт и А. Эйнштейн.

Для многих исследователей творчества А. Эйнштейна долгое время оставалось загадкой, каким образом он перешел от СТО к ОТО в промежутке между 1905 и 1916 гг. Эта загадка была прояснена А. Кастлером на конференции, посвященной 100-летию со дня рождения А. Эйнштейна (Иерусалим, 1979 г.). Была, оказывается, промежуточная стадия, связанная *со счастливым случаем*. Малоизвестная и труднодоступная до сих пор работа была опубликована на немецком языке в «Ежеквартальном журнале судебной медицины и здравоохранения». Статья отражает поисковую фазу исследования и была посвящена юбилею друга А. Эйнштейна, врача по специальности.

В этой «судебно-медицинской» статье А. Эйнштейн анализирует поведение света в гравитационном поле. Использует при этом он все еще (что естественно в 1909 г.) ньютоновскую теорию гравитации. Поскольку ранее, в СТО, он обнаружил, что масса представляет собой новую компоненту энергии (формула (7)), то он полагал, что именно эта энергия связана с гравитацией, т.е. служит как бы гравитационным зарядом. Далее А. Эйнштейн приходит к выводу, что хотя луч света, несущий только импульс и угловой момент, не имеет массы, он тем не менее несет кинетическую энергию. Поэтому он должен падать в гравитационном поле, то есть притя-

гиваться и отклоняться (рис. 2). (Это только часть результата, который он получит в новой теории гравитации в 1916 г.) Отклонение, – рассуждал он дальше, – предполагает изменение скорости света, которая должна приобрести боковую компоненту, – поэтому свет должен ускоряться в своем движении к источнику гравитации и замедляться после того, как его минует. И вот здесь перед нами явный **случай необычного везения**.

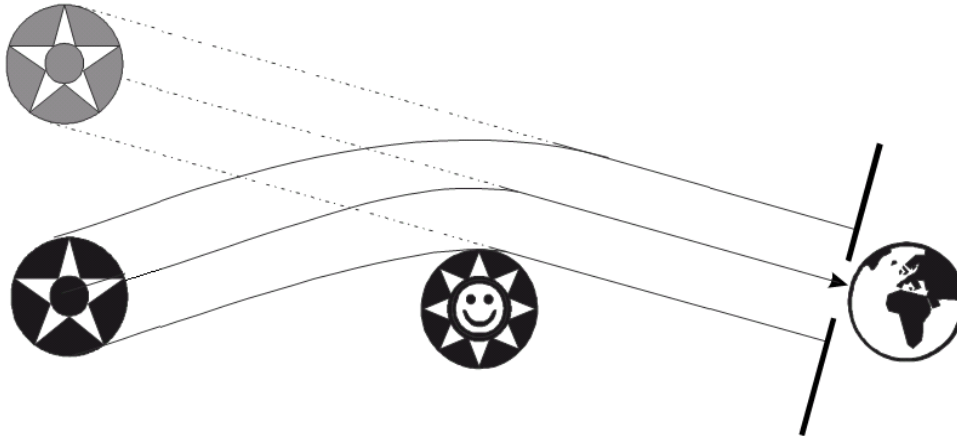


Рис. 2. Проходя вблизи Солнца, луч света от звезды заметно отклоняется из-за вызванного Солнцем искривления пространства. В итоге наблюдаемое в Жмеринке положение звезды на небе смещено относительно своего реального положения

Да, но как быть со «священной коровой» – постоянством скорости света? Дальше хуже, если свет все-таки отклоняется, то тогда возникает парадокс, связанный с пониманием энергии и массы. И вот именно теперь А. Эйнштейн с радостью воспринимает геометрическую интерпретацию Г. Минковского, которая единственная может быть решением проблемы гравитации и при этом сохранить предыдущую парадигму о предельной скорости любого взаимодействия. Не будучи очень сведущим в геометрии, А. Эйнштейн обращается к своему бывшему однокашнику по университету М. Гроссману для выяснения, существуют ли кроме Евклидовой другие, причем четырехмерные, геометрии в которых теорема Пифагора содержала бы непостоянные коэффициенты. Поскольку он понимает, что именно с непостоянными коэффициентами пространственно-временной континуум Г. Минковского будет описывать искривленное пространство-время, а именно это и требуется для изгибания луча света. М. Гроссман ответил утвердительно, указав на геометрии К. Гаусса и Г. Римана, представляющие геометрии искривленных пространств. С этого момента А. Эйнштейн сосредоточил свои усилия на создании новой геометрической теории гравитации – то есть совсем не на той цели, которую он поставил перед собой первоначально. Вот собственно и вся малоизвестная история о промежуточной работе между СТО и ОТО.

Поскольку для описания гравитационных сил надо отказаться от представления о плоском пространстве Евклида и перейти к какой-то геометрии искривленного пространства, надо чтобы она чем-то определялась. Следовательно, надо **отказаться от независимости свойств пространства и времени от распределения масс**.

Обобщая эти два соображения, А. Эйнштейн декларирует **новую парадигму – гравитационное поле является изменением геометрических свойств пространства-времени, которое, в свою очередь, определяются распределением масс**. Причем основные законы природы имеют для двух наблюдателей, движущихся произвольным образом и использующих произвольные непрерывно преобразуемые одна в другую системы координат, одинаковый вид. Или проще, **законы природы имеют одно и то же выражение, пригодное для любого наблюдателя**. Сформулированный таким образом общий принцип теории относительности содержит в себе в определенном смысле абсолютное знание. Кроме того, необхо-

димо потребовать, чтобы в отсутствие гравитации новая теория переходила в СТО. Это утверждение является частным случаем общего принципа развития науки – **принципа соответствия**, когда более общая теория включает в себя частную теорию как некоторый предельный случай.

Из приведенных выше трех аксиом-постулатов следует, что геометрия пространства-времени при наличии гравитации должна быть неевклидовой. Тогда из двух вариантов неевклидовой геометрии - гиперболической или эллиптической нужно выбрать один. Для первой геометрии сумма углов треугольника $< 180^\circ$, для второй $> 180^\circ$ (см. слайды лекции 1). Для первой отношение длины окружности к диаметру $> \pi$, для второй $< \pi$. Поясним это на простейшем примере эллиптической геометрии Г. Римана.

Рассмотрим поверхность сферы (аналог плоскости в геометрии Евклида) см. рис. 3. «Прямыми линиями», т.е. кратчайшим расстоянием между двумя точками здесь являются дуги. Линии A и B (они перпендикулярны экватору) пересекаются в полюсе N ; таким образом, сумма углов сферического треугольника ABN будет $> 180^\circ$. В плоскости экватора отношение длины окружности к диаметру $L/D = \pi$. На сфере, для этой же окружности диаметром (наикратчайшее расстояние между противоположными точками) будет дуга CND , которая, естественно, больше, чем диаметр экваториального круга CD . Таким образом, для сферической геометрии отношение длины окружности к диаметру $L/D < \pi$.

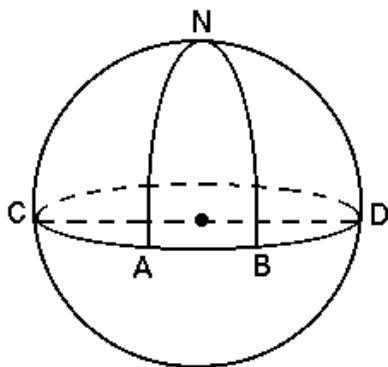


Рис. 3. Иллюстрация метрических соотношений геометрии Римана (сфера) и Евклида (плоскость)

Рассмотрим теперь нарушение евклидовой метрики в неинерциальной системе отсчета. Пусть окружность равномерно вращается относительно своего центра. При вращении все элементарные элементы длины окружности испытывают лоренцевское сокращение, диаметр при этом не меняется, таким образом, полная длина вращающейся окружности меньше, чем неподвижной. Следовательно, для вращающейся окружности (это неинерциальная система отсчета) отношение длины окружности к диаметру $l/d < \pi$, и значит, геометрия такого пространства эллиптическая. Аналогично и со временем. В ОТО указанные эффекты обусловлены распределением масс в пространстве, которые и определяют его геометрию. Оба эффекта нашли свое экспериментальное подтверждение. Первый – при искривлении траектории луча света, идущего от звезды и проходящего вблизи Солнца. В новой парадигме луч движется по своей естественной траектории – геодезической линии, являющейся в данном пространстве наикратчайшим расстоянием. Вторым – луч света при распространении в пространстве будет вблизи массы менять частоту, т.е. число колебаний в секунду. Так, при удалении от массивного тела частота будет уменьшаться, а при приближении к нему – увеличиваться. Следовательно, **вблизи гравитирующей массы пространство искривляется, а время замедляется.**

Вернемся опять к рис. 3 и представим, что от звезды идет «трубка» света. Поскольку оба луча света в этой трубке (внешний и внутренний) приходят на Землю одновременно, а путь для внешнего луча длиннее, чем для внутреннего, то становится ясно, что скорость света для внешнего луча больше, чем для внутреннего. Таким образом, А. Эйнштейн пришел к выводу (только, на первый взгляд, противоречащему постулату о «постоянстве» скорости света), что **вблизи гравитирующих масс, скорость света меньше, чем вдали от них.** Другими словами, там, где пространство искривлено сильнее, там и скорость света меньше. Максимальная же скорость света соответствует, конечно, плоскому пространству с евклидовой геометрией.

Движение масс в пространстве также меняет его геометрию. Можно привести наглядный иллюстративный пример (рис. 4). Представьте себе, что на столе вы натянули, жестко закрепив на краях, резиновую скатерть и начертили на ней серию взаимно перпендикулярных линий (евклидово пространство). Теперь взяли кошку и засунули ее под скатерть. Там, где кошка, скатерть растянута, и вместо прямых вы видите взаимно пересекающиеся дуги. Если под скатертью окажется еще и мышка, то вы заметите, что растяжение, а значит, и искривление первоначальных прямых в том месте, где кошка – больше (это большая гравитирующая масса), нежели там, где мышка (меньшая масса). Дальнейшее изменение геометрических свойств пространства скатерти в процессе передвижения кошки и мышки представить несложно.

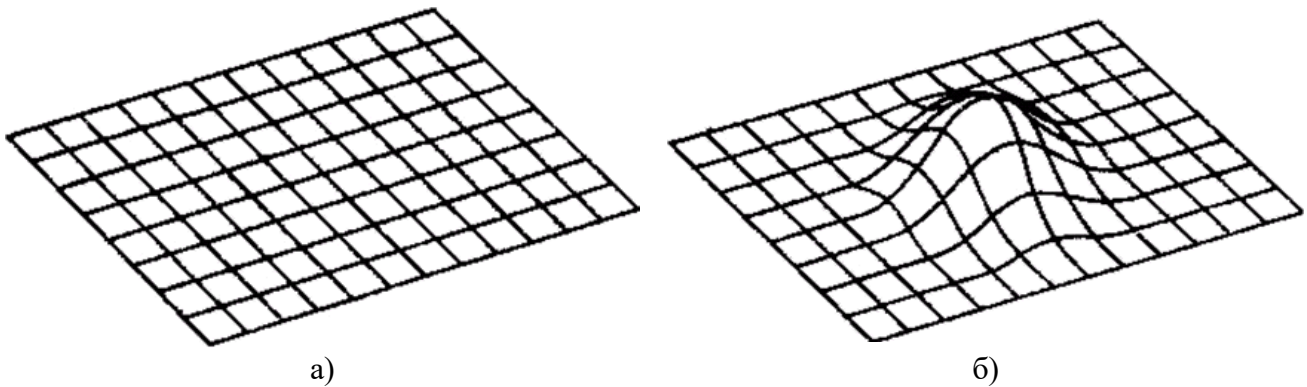


Рис. 4. Плоская и криволинейная поверхности: а) ни кошки, ни мышки – евклидова геометрия; б) мышка убежала, осталась только кошка (одна гравитирующая масса) – геометрия неевклидова

К сожалению, не все результаты ОТО можно представить так наглядно. Перечислим наиболее интересные и важные из них.

Мы только что говорили об уменьшении скорости света при искривлении пространства вблизи гравитирующей массы. Представьте теперь, что масса становится столь большой и искривление столь сильным, что скорость света в этой области пространства становится равной нулю (свет, который по определению всегда движется, вдруг перестает двигаться!). Если это возможно, то свет, залетевший в эту область пространства, из нее выйти не может, т.е. эта область пространства ничего не излучает, становится для наблюдателя черной. При этом образуются своеобразные объекты, получившие название черных дыр (black holes). Посмотрим на это с математической точки зрения.

Согласно ОТО, закон тяготения Ньютона должен быть изменен следующим образом:

$$F_{\text{Эйнст}} = \frac{F_{\text{Ньюто}}}{\sqrt{1 - 2GM/Rc^2}}, \quad F_{\text{Ньюто}} = \frac{GMm}{R^2}, \quad (8)$$

где $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \text{ сек}^{-2} \text{ кг}^{-1}$ – константа гравитационного взаимодействия, впервые введенная И. Ньютоном в «Математических началах натуральной философии» в 1687 г.

Формула (8), строго говоря, справедлива лишь для так называемой метрики Шварцшильда. Отметим различие в двух законах тяготения. При стремлении R к нулю $F_{\text{Ньюто}}$ возрастает, но является константой при любом малом R . В отличие от этого $F_{\text{Эйнст}}$ становится бесконечно большой при так называемом радиусе Шварцшильда:

$$R_{\text{Шв}} = \frac{2GM}{c^2}. \quad (9)$$

При таком радиусе образуется черная дыра. В области черной дыры пространственно-временной континуум столь искривлен, что не только сигнал или объект, попавший в нее, не может выйти наружу, а время как бы остановлено. Для Земли радиус Шварцшильда 0,4 см, для Солнца 3 км, в то время как их обычные радиусы $6,4 \cdot 10^3$ км и $7,7 \cdot 10^6$ км соответственно.

В 1929 г. Э. Хаббл экспериментально обнаружил существующее в настоящий момент расширение Вселенной. Скорость разлета галактик друг от друга (по Хаббл) пропорциональна расстоянию между ними:

$$v = HR, \quad (10)$$

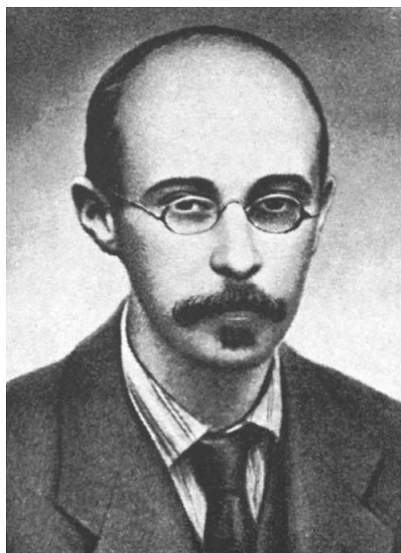
где $H \approx (3 \div 5) 10^{-18} \text{ сек}^{-1}$ – постоянная Хаббла.

Это хаббловское расширение весьма примечательно. Несмотря на то, что Вселенная расширяется, центра расширения нет! Понять это можно на двухмерной модели. Представьте, что вы немного надули обычный воздушный шарик. Затем произвольно фломастером нанесли на его поверхности точки, после чего продолжим шарик надувать. Что мы видим? Поверхность шарика растягивается (аналог расширения пространства), и каждая из помеченных фломастером точек удаляется друг от друга. Таким образом, любую точку вы можете условно принять за центр расширения, от которой разбегаются все другие. Такое бесконечное число центров расширения, говорит о том, что на *поверхности сферы центра расширения нет*. Кроме того видно, что и сами точки при расширении поверхности «расползаются». Таким образом, при хаббловском расширении Вселенной расширяется, растягивается само пространство.

Замечательно, что семью годами раньше Э. Хаббла, в 1922 г., наш соотечественник А.А. Фридман, решая уравнения ОТО Эйнштейна и исходя из условия однородности Вселенной, пришел к выводу о возможности изменения границ Вселенной. Они могут как расширяться, так и сужаться, в зависимости от соотношения между средней плотностью Вселенной ρ_{cp} и неким критическим значением плотности $\rho_{кр} = 3H^2/8\pi G$. Если $\rho_{кр} > \rho_{cp}$, то Вселенная открытая и будет все время расширяться. Если же $\rho_{кр} < \rho_{cp}$, то Вселенная закрытая, и в какой-то момент расширение сменится сжатием. К настоящему времени мы не можем дать однозначного ответа, какое из неравенств между плотностями $\rho_{кр}$ и ρ_{cp} осуществляется, так как часть вещества Вселенной находится, по-видимому, в «не излучаемом» состоянии (черные дыры, нейтронные звезды, странная материя). Поэтому на сегодняшний день оценка величин: $\rho_{кр} \approx 10^{-29} \text{ г/см}^3$ и $\rho_{cp} \approx 10^{-30} \text{ г/см}^3$ – не дает однозначного выбора модели, а значит, и сценария развития Вселенной. Отметим, что этот сценарий определяется через универсальные константы G и H , поскольку именно от них зависит критическая плотность $\rho_{кр}$.



Давид Гильберт (нем. David Hilbert; 23 января 1862 – 14 февраля 1943) – немецкий математик-универсал, внёс значительный вклад в развитие многих областей математики. В 1910–1920-е годы (после смерти Анри Пуанкаре) был признанным мировым лидером математиков. Гильберт разработал широкий спектр фундаментальных идей во многих областях математики, в том числе теорию инвариантов и аксиоматику евклидовой геометрии. Он сформулировал теорию гильбертовых пространств, одну из основ современного функционального анализа.



Алекса́ндр Алекса́ндрович Фри́дман (4 (16) июня 1888, Санкт-Петербург – 16 сентября 1925, Ленинград) – выдающийся российский и советский математик, физик и геофизик, создатель теории нестационарной Вселенной.



Э́двин Па́уэлл Хаббл (англ. Edwin Powell Hubble; 20 ноября 1889, Маршфилд, штат Миссури – 28 сентября 1953, Сан-Марино, штат Калифорния) – один из наиболее влиятельных астрономов и космологов в XX веке, внесший решающий вклад в понимание структуры космоса. В 1914–1917 гг. работал в Йеркской обсерватории, с 1919 года – в обсерватории Маунт-Вилсон. Член Национальной академии наук в Вашингтоне с 1927 года.

Н.В. для физиков и математиков

Наиболее известным вкладом Гильберта в физику является вывод основных уравнений общей теории относительности, проведённый им в ноябре 1915 г. практически одновременно с Эйнштейном. Фактически Гильберт первым получил правильные уравнения поля общей теории относительности, хотя опубликовал их позже. Кроме того, неоспоримо существенное влияние Гильберта на Эйнштейна в период их параллельной работы над выводом этих уравнений (оба находились в этот период в интенсивной переписке).

Независимо от вопроса о приоритете, Гильберт первым использовал при выводе этих уравнений вариационный метод, ставший впоследствии одним из основных в теоретической физике. Очевидно, это был первый в истории физики случай, когда неизвестные до этого уравнения фундаментальной теории были получены таким путём (по крайней мере, если говорить о подтвердившихся теориях).

Представляет интерес также следующий случай: в 1926 г. после создания матричного варианта квантовой механики Макс Борн и Вернер Гейзенберг решили проконсультироваться у Гильберта, существует ли область математики, в которой применялся бы подобный формализм. Гильберт ответил им, что с похожими матрицами он встречался, когда разбирал вопросы существования решений дифференциальных уравнений второго порядка в частных производных. Физикам показалось, что математик их не понял, и они решили не изучать далее этот вопрос. Менее чем через полгода Эрвин Шрёдингер создал волновую квантовую механику, основное уравнение которой – уравнение Шрёдингера, является уравнением второго порядка в частных производных, и доказал эквивалентность обоих подходов: старого матричного и нового волнового.

Жизнь как роспись стенная, тобой создана,
Но картина нелепостей странных полна...

Омар Хайям

6. ВХОДИМ В МИКРОМИР. КОНСТАНТА ПЛАНКА И ВОЛНА ДЕ-БРОЙЛЯ. ПРИНЦИП НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ГЕЙЗЕНБЕРГА. СПИН

Все началось с доклада Макса Планка 14 февраля 1900 г. «Об излучательной способности черного тела», где им впервые была введена константа, определяющая величину минимального действия $h = 1,05 \cdot 10^{-34}$ Дж с. В чем же смысл этой фундаментальной величины? Дело в том, что в классической физике такие величины, как, например, импульс – p , энергия – E , действие (есть и такая величина, ее размерность энергия \times время), могут принимать любые, сколь угодно малые значения. Однако, как только мы «заходим в микромир», т.е. интересуемся объектами, размеры которых $\sim 10^{-7}$ см, ситуация в корне меняется. Так, например, действие уже не может быть сколь угодно малым. Равным нулю – пожалуйста, но первое, его самое малое значение оказывается равным именно этой постоянной Планка. Следующее по величине значение действия будет $2h$, затем $3h$ и т.д. В аналогичном положении оказываются и другие физические величины, например, энергия. Таким образом, оказывается, что дискретной является не только материя, но и ряд физических характеристик, описывающих ее.

Так как формула Планка сразу получила экспериментальное подтверждение, то идея дискретности энергии стала приобретать характер закона, что противоречило сложившемуся к началу XX века представлению, и поэтому требовало детального анализа. Анри Пуанкаре в 1911 г., проведя математическое исследование этого вопроса, показал, что гипотеза квантов (т.е. точная дискретность энергии резонаторов $E = nh\nu$) – это единственная принципиальная гипотеза, которая приводит к закону Планка. Если же дискретность чуть-чуть нарушена, т.е. n не равно натуральному числу, то не будет и формулы Планка, и вообще целый класс задач по теории излучения просто нельзя решить.

Следующий революционный шаг был сделан французским физиком Луи де Бройлем в 1924 г. Этим потомком знатного французского рода де Броли было высказано фундаментальное для всей теории микромира соображение. Суть его в том, что любой свободной частице, обладающей импульсом p , можно сопоставить определенную длину волны (де Бройля):

$$\lambda = h/p. \quad (11)$$

Таким образом, движущиеся частицы (электроны, нейтроны, протоны и даже целые атомы) обладают волновой сущностью и могут давать такие чисто волновые эффекты как дифракция и интерференция. Опираясь на эту плодотворную идею де Бройля, Э. Шредингер написал волновое уравнение, являющееся фундаментом всей квантовой механики.

Характерно, что в результате решения уравнения Э. Шредингера – волновая ψ -функция – интерпретируется как плотность вероятности и не наблюдается явно. Но это теперь никого не смущает, поскольку на эксперименте наблюдается величина $\psi\psi^*$ (квадрат модуля величины ψ). Важно при этом следующее: величина $\psi\psi^*$ дает распределение вероятности нахождения частицы в той или иной области пространства. Таким образом, в микромире принципиальной становится не всегда детерминистическая картина описания объектов, а вероятностная. Непосредственным следствием этого становится то, что при описании явлений в микромире у частиц не существует понятия траектории в обычном макроскопическом смысле. Это и есть фактически сформулированный в 1927 г. принцип неопределенности В. Гейзенберга. Согласно этому принципу, изменение импульса Δp_x (вдоль оси x) и изменение координаты в этом же направлении Δx не определены с точностью до величины минимального действия – постоянной М. Планка, т.е.

$$\Delta p_x \Delta x > h. \quad (12)$$

Это означает, что ни координату, ни импульс точно измерить одновременно нельзя, а только с точностью до величины h . Действие этого принципа распространяется и на другие физические величины, которые не могут быть измерены одновременно. Таким образом, говоря, например, об орбитах электронов в атоме, мы должны понимать, что это всего лишь дань истории – планетарной модели атома. На самом же деле электроны, конечно же, не вращаются ни на каких орбитах. Они просто существуют в определенных квантовых состояниях. Да, одни из них чуть ближе локализованы к ядру, другие чуть дальше, но никаких орбит, т.е. фиксированных траекторий, просто нет.

Естественно, может возникнуть вопрос, как же все это объяснить, почему в микромире такая «нелепая» картина, может быть, мы что-то не до конца здесь понимаем? Нет, именно здесь мы все понимаем, и объяснять собственно ничего и не нужно, картина именно такая и не может быть другой в принципе. Почему? Самый простой ответ – «такова природа вещей», как говорил Лукреций Кар, и этой концепцией надо довольствоваться.

Поскольку в квантовом мире положение частицы в пространстве не может быть определено точно, не должно вызывать удивления, что подобная участь постигает и ее ориентацию по отношению к какому-либо направлению. Чем же тогда определяется ориентация в пространстве микромира?

Оказывается, что в квантовой физике каждой частице следует приписывать особый собственный («внутренний») механический момент, не связанный ни с ее перемещением в пространстве, ни с вращением – этот собственный момент называется спином. Так вот именно спин и определяет ориентацию частицы в пространстве. Здесь мы не имеем возможности рассказать, как это делается экспериментально, остановимся поэтому лишь на одном, но весьма показательном факте, определяемом спином такой известной всем частицы, как электрон. Этот факт связан с простым, на первый взгляд, даже тривиальным, понятием вращения.

В нашей повседневной (макроскопической) жизни при повороте вокруг оси на 360° все будет выглядеть в точности таким же, каким было до начала вращения, т.е. мы оказываемся в том же состоянии. Ну а как же с поворотом электрона на 360° ? Основываясь на здравом смысле, основанном на макроскопическом опыте, естественно ожидать, что и электрон вернется в исходное состояние. Однако это совершенно не так! Оказывается, из-за спина, чтобы вернуться в исходное состояние электрон надо повернуть еще раз на 360° . Таким образом, только при повороте электрона на два полных оборота, т.е. на 720° , он «воспринимает» мир тем же самым, как и до поворота. Следовательно, мы (макроскопические существа) в определенном смысле лишь наполовину воспринимаем мир, доступный электрону, имеющему спин. Рис. 5 дает простую иллюстрацию к сказанному. На нем изображена двойная проволочная петля с нанизанной на ней бусинкой. Издали мы не можем различить два витка, и нам кажется, что проволока просто свернута в окружность. Поэтому поворот бусинки на один оборот нами воспринимается как то же самое состояние, но на самом деле бусинка «знает», что это вовсе не так. И ей нужно сделать еще один оборот по петле, и только тогда она попадает в то же самое состояние, что и до начала вращения.

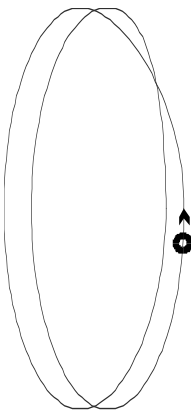


Рис. 5. Двойная петля с бусинкой на ней дает схематическое представление о свойствах спина электрона. При перемещении на один оборот бусинка не возвращается в исходное состояние и требуется еще один поворот, чтобы она оказалась в исходном состоянии

Это странное, на первый взгляд, «двойственное» представление о мире, присущее электрону и другим элементарным частицам (частицам микромира), является фундаментальным свойством природы. Такова опять-таки природа вещей.

Наличие у электрона полуполого спина, равного $\hbar/2$, приводит к тому, что для электрона возможны лишь две взаимно противоположные ориентации спина. Отсюда следуют чрезвычайно важные последствия. Приведем только два примера. Так, например, создаваемое спином электрона магнитное поле вдвое больше магнитного поля, создаваемого просто вращающимся заряженным шариком. Второй пример. В одном и том же квантовом состоянии (например, для атома водорода это состояние определяется тремя характерными квантовыми числами: энергетическим, орбитальным и магнитным, принимающими дискретные значения в долях константы \hbar) может находиться только один электрон. Это утверждение называется принципом запрета В. Паули. Второй электрон в том же состоянии обязан поменять ориентацию спина на противоположную, т.е. быть равным $-\hbar/2$.

Именно этот принцип запрета приводит к специфическим закономерностям в заполнении электронами квантовых состояний в атоме, и именно этим обуславливается природа периодичности изменения свойств элементов в таблице Д.И. Менделеева. Отметим, что если бы спин электрона был бы полуполом, но имеющим другое значение, например, $3/2\hbar$ или $5/2\hbar$, то таблица Д.И. Менделеева выглядела бы совершенно иначе, а значит, химия была бы абсолютно другой. В этом случае не очевидно, могла ли возникнуть и существовать жизнь.

С другой стороны, если бы спин электрона был бы кратен целому числу \hbar , то любое количество электронов находилось бы в одном состоянии, т.е. был бы лишь один тип атомов. Эти атомы не могли бы образовывать молекулы, а значит, не было бы химии, и, как следствие, никакой жизни.

1. Брoльи́, де Брoльи́ (Broglie или Broglio) – старинная французская аристократическая семья пьемонтского происхождения. Прослеживается до Умбeрто Брoглиа (XIII век) Потомок Умберто в 10-м колeне – генерал Франсуа́-Марй (1611, Турин – 1656), граф де Брoльи – переселился во Францию в 1643 году. Принимал участие в Тридцатилетней войне, погиб при осаде Валанса, посмертно произведён в маршалы Франции. Его сын Виктор-Морис (1646, Турин – 1727) принимал видное участие в войнах Людовика XIV, маршал Франции с 1724 года. Франсуа́-Марй (1671, Париж – 1745), сын Виктора-Мориса, с 1689 года принимал доблестное участие во всех походах в Нидерланды, Германию и Италию и получил в 1734 году звание маршала Франции, а в 1742 году – титул 1-го герцога де Брoльи. С 1724 года в течение ряда лет служил послом Франции в Лондоне. Был женат на Терезе де Гранвиль (Therese de Granville) из богатой семьи судовладельцев. Наш Луи де Брoльи-Луи Виктор Пьер Раймон, был уже 7-й герцог Брoльи. Кстати, лицейский друг Пушкина Сильверий Францевич Брoглио дальний родственник французских герцогов де Брoльи. Поступил в Лицей в 1811 году. Был одним «из последних по успехам учеников и первый по шалостям». Носил (хотя и неохотно) мальтийский крест, право на который имели мужчины из рода Брoльи. В 1817 году окончил Лицей. После лицея уехал на родину в Италию. С 4 сентября 1817 года он стал служить в чине поручика в полку Монферата пьемонтской армии, где уже находился его старший брат Фредерик Доминик. Оба брата примкнули к освободительному движению, направленному против королевской власти. Восстание 1821 года было подавлено. По постановлению королевского суда Сильверий был лишён чинов, орденов, имущества и изгнан за пределы Пьемонта навечно. Погиб в 1824 году в Греции, где шла освободительная война против турецкого ига.

2. 19 ОКТЯБРЯ

Роняет лес багряный свой убор,
Сребрит мороз увянувшее поле,
Проглянет день как будто поневоле
И скроется за край окружных гор.
Пылай, камин, в моей пустынной келье;
А ты, вино, осенней стужи друг,

Пролей мне в грудь отрадное похмелье,
Минутное забвенье горьких мук.
Печален я: со мною друга нет,
С кем долгую запил бы я разлуку,
Кому бы мог пожать от сердца руку
И пожелать веселых много лет.
Я пью один; вотще воображенье
Вокруг меня товарищей зовет;
Знакомое не слышно приближенье,
И милого душа моя не ждет.

Я пью один, и на берегах Невы
Меня друзья сегодня именуют...
Но многие ль и там из вас пируют?
Еще кого не досчитались вы?
Кто изменил пленительной привычке?
Кого от вас увлек холодный свет?
Чей глас умолк на братской перекличке?
Кто не пришел? Кого меж вами нет?

Он не пришел, кудрявый наш певец,
С огнем в очах, с гитарой сладкогласной:
Под миртами Италии прекрасной
Он тихо спит, и дружеский резец
Не начертал над русскою могилой
Слов несколько на языке родном,
Чтоб некогда нашел привет унылый
Сын севера, бродя в краю чужом.
Сидишь ли ты в кругу своих друзей,
Чужих небес любовник беспокойный?
Иль снова ты проходишь тропик знойный
И вечный лед полуночных морей?
Счастливым путь!.. С лицейского порога
Ты на корабль перешагнул шутя,
И с той поры в морях твоя дорога,
О волн и бурь любимое дитя!

Ты сохранил в блуждающей судьбе
Прекрасных лет первоначальны нравы:
Лицейский шум, лицейские забавы
Средь бурных волн мечталися тебе;
Ты простирал из-за моря нам руку,
Ты нас одних в молодой душе носил
И повторял: «На долгую разлуку
Нас тайный рок, быть может, осудил!»

Друзья мои, прекрасен наш союз!
Он, как душа, неразделим и вечен –
Неколебим, свободен и беспечен,
Срастался он под сенью дружных муз.
Куда бы нас ни бросила судьбина
И счастье куда б ни повело,
Всё те же мы: нам целый мир чужбина;
Отечество нам Царское Село.

Из края в край преследуем грозой,
Запутанный в сетях судьбы суровой,
Я с трепетом на лоно дружбы новой,
Устав, приник ласкающей главой...
С мольбой моей печальной и мятежной,
С доверчивой надеждой первых лет,
Друзьям иным душой предался нежной;
Но горек был небратский их привет.

И ныне здесь, в забытой сей глуши,
В обители пустынных вьюг и хлада,
Мне сладкая готовилась отрада:
Троих из вас, друзей моей души,
Здесь обнял я. Поэта дом опальный,
О Пущин мой, ты первый посетил;
Ты усладил изгнанья день печальный,
Ты в день его Лицея превратил.
Ты, Горчаков, счастливцев с первых дней,
Хвала тебе – фортуны блеск холодный
Не изменил души твоей свободной:
Всё тот же ты для чести и друзей.
Нам разный путь судьбой назначен строгой;
Ступая в жизнь, мы быстро разошлись:
Но невзначай проселочной дорогой
Мы встретились и братски обнялись.

Когда постиг меня судьбины гнев,
Для всех чужой, как сирота бездомный,
Под бурею главой поник я томной
И ждал тебя, вещун пермесских дев,
И ты пришел, сын лени вдохновенный,
О Дельвиг мой: твой голос пробудил
Сердечный жар, так долго усыпленный,
И бодро я судьбу благословил.

С младенчества дух песен в нас горел,
И дивное волненье мы познали;
С младенчества две музы к нам летали,
И сладок был их лаской наш удел:
Но я любил уже рукоплесканья,
Ты, гордый, пел для муз и для души;
Свой дар, как жизнь, я тратил без вниманья,
Ты гений свой воспитывал в тиши.

**Служенье муз не терпит суеты;
Прекрасное должно быть величаво:**
Но юность нам советует лукаво,
И шумные нас радуют мечты...
Опомнимся – но поздно! и уныло
Глядим назад, следов не видя там.
Скажи, Вильгельм, не то ль и с нами было,
Мой брат родной по музе, по судьбам?
Пора, пора! душевных наших мук
Не стоит мир; оставим заблужденья!

Сокроем жизнь под сень уединенья!
Я жду тебя, мой запоздалый друг –
Приди; огнем волшебного рассказа
Сердечные преданья оживи;
Поговорим о бурных днях Кавказа,
О Шиллере, о славе, о любви.
Пора и мне... пируйте, о друзья!
Предчувствую отрадное свиданье;
Запомните ж поэта предсказанье:
Промчится год, и с вами снова я,
Исполнится завет моих мечтаний;
Промчится год, и я явлюся к вам!
О, сколько слез и сколько восклицаний,
И сколько чаш, подъятых к небесам!

И первую полней, друзья, полней!
И всю до дна в честь нашего союза!
Благослови, ликующая муза,
Благослови: да здравствует Лицей!
Наставникам, хранившим юность нашу,
Всем честию, и мертвым и живым,
К устам подъяв признательную чашу,
Не помня зла, за благо воздадим.

Полней, полней! и, сердцем возгоря,
Опять до дна, до капли выпивайте!
Но за кого? о други, угадайте...
Ура, наш царь! так! выпьем за царя.
Он человек! им властвует мгновенье.
Он раб молвы, сомнений и страстей;
Простим ему неправое гоненье:
Он взял Париж, он основал Лицей.

Пируйте же, пока еще мы тут!
Увы, наш круг час от часу редееет;
Кто в гробе спит, кто дальний сиротеет;
Судьба глядит, мы вянем; дни бегут;
Невидимо склоняясь и хладея,
Мы близимся к началу своему...
Кому ж из нас под старость день Лицея
Торжествовать придется одному?

Несчастный друг! среди новых поколений
Докучный гость и лишний, и чужой,
Он вспомнит нас и дни соединений,
Закрыв глаза дрожащею рукой...
Пускай же он с отрадой хоть печальной
Тогда сей день за чашей проведет,
Как ныне я, затворник ваш опальный,
Его провел без горя и забот.

Примечания

1. 19 ОКТЯБРЯ. Напечатано в «Северных цветах» на 1827 год с заменой всех имен звездочками (см. письмо Бенкендорфу от 22 марта 1827 г.). Кроме того, по цензурным условиям пропущено восемь стихов, начиная с «Полней, полней! и, сердцем возгоря».

В рукописи имеется несколько строф, отброшенных или замененных Пушкиным (см. «Из ранних редакций»).

2. 19 октября (1811 года) – день открытия Лицея. Эту годовщину лицеисты ежегодно справляли.

3. «Он не пришел, кудрявый наш певец». – Н.А. Корсаков. Он умер в Италии в 1820 г.

4. «Чужих небес любовник беспокойный». – Ф.Ф. Матюшкин (1799–1872), моряк. С 1817 по 1819 гг. плывал к берегам Камчатки; с 1820 по 1824 г. принимал участие в экспедиции для описания берегов Ледовитого океана; в августе 1825 г. отправился в кругосветное плавание.

5. «На долгую разлуку...» – Цитата из прощальной песни Дельвига, сочиненной по случаю окончания Лицея:

Судьба на вечную разлуку,
Быть может, съединила нас.

6. «О Пущин мой, ты первый посетил». – Пущин был в Михайловском у Пушкина 11 января 1825 г.

7. «Ты, Горчаков...» – А.М. Горчаков виделся с Пушкиным в сентябре 1825 г., когда проездом он останавливался у своего родственника в селе Лямонове, недалеко от Михайловского.

8. «О Дельвиг мой...» – А. Дельвиг гостил у Пушкина в Михайловском в апреле 1825 г.

9. «Скажи, Вильгельм...» – В. Кюхельбекер. В 1821–1822 гг. он служил на Кавказе.

Из ранних редакций

Пропущенные и замененные строфы рукописной редакции:

Эпиграф: Nunc est bibendum. Horatius. (Теперь надо пить. Гораций. (Латин.))

1

После стиха «Минутное забвенье горьких мук»:

Товарищи! сегодня праздник наш.
Заветный срок! сегодня там, далече,
На пир любви, на сладостное вече
Стеклися вы при звоне мирных чаш.
Вы собрались, мгновенно молодея,
Усталый дух в минувшем обновить,
Поговорить на языке Лицея

И с жизнью вновь свободно пошалить {Вся эта строфа зачеркнута в рукописи}.

2

На пир любви душой стремлюся я...
Вот вижу вас, вот милых обнимаю.
Я праздника порядок учреждаю...
Я вдохновен, о, слушайте, друзья:
Чтоб тридцать мест нас ожидали снова!
Садитесь, как вы садились там,
Когда места в сени святого крова
Отличие предписывало нам.

3

Спартанскою душой пленяя нас,
Воспитанный суровою Минервой,
Пускай опять Вольховский сядет первый,
Последним я, иль Брольо, иль Данзас.
Но многие не явятся меж нами...
Пускай, друзья, пустеет место их...
Они придут; конечно, над водами
Иль на холме под сенью лип густых

4

Они твердят томительный урок,
Или роман украдкой пожирают,
Или стихи влюбленные слагают,
И позабыт полуденный звонок.
Они придут! – за праздные приборы
Усядутся; напоят свой стакан,
В нестройный хор сольются разговоры,
И загремит веселый наш пеан.

13

После стиха «Ты в день его Лицея превратил»:
Что ж я тебя не встретил тут же с ним,
Ты, наш казак, и пылкий и незлобный,
Зачем и ты моей сени надгробной
Не озарил присутствием своим?
Мы вспомнили б, как Вакху приносили
Безмолвную мы жертву в первый раз,
Как мы впервой все трое полюбили,
Наперсники, товарищи проказ...
Первая редакция этой строфы:
Мы вспомнили, как Вакху в первый раз
Безмолвную мы жертву приносили,
Мы вспомнили, как мы впервой любили,
Наперсники, товарищи проказ...
И всё прошло, проказы, заблужденья,..
Ты, освятив тобой избранный сан,
Ему в очах общественного мненья
Завоевал почтение граждан.
В строфе «И первую полней, друзья, полней» – четыре последних стиха:
Златые дни, уроки и забавы,
И черный стол, и бунты вечеров,
И наш словарь, и плески мирной славы,
И критики лицейских мудрецов!
После стиха «Он взял Париж, он основал Лицей»:
Куницыну дань сердца и вина!
Он создал нас, он воспитал наш пламень,
Поставлен им краеугольный камень,
Им чистая лампада возжена...
Наставникам, хранившим юность нашу,
Всем честию – и мертвым и живым,
К устам подъяв признательную чашу,
Не помня зла, за благо воздадим.

«Чтоб тридцать мест нас ожидали снова!» – На первый курс Лицея было принято 30 учеников. Один вскоре был исключен, и Лицей окончили 29.

Брольо и Данзас были постоянно в числе последних учеников. Пушкин окончил лицей 19-м.

Веселый наш пеан – стихи Илличевского «Лето знойно, дочь природы». Этот «пеан» исполнялся на каждой годовщине.

Наш казак - Малиновский, сын первого директора Лицея.

«Мы вспомнили б, как Вакху приносили...» – История с «гогель-могелем». См. «Мы недавно от печали».

«Как мы впервой все трое полюбили». – Пущин, Пушкин и Малиновский в Лицее влюбились в сестру их товарища Бакунину.

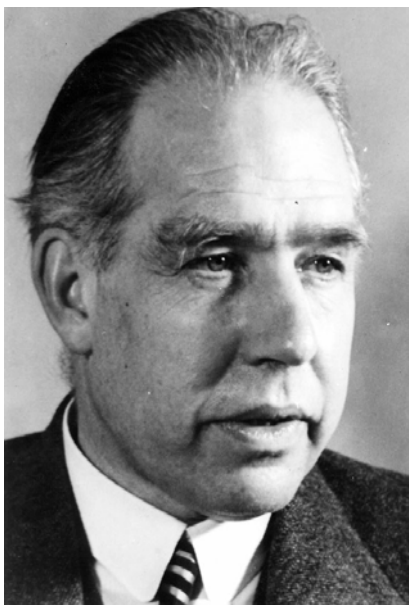
«Ты, осытив тобой избранный сан». – И. Пущин по окончании Лицея поступил в гвардию, но затем оставил военную службу и занял место судьи в Уголовном департаменте Московского надворного суда.

«И наш словарь...» – словарь политических и философских понятий в цитатах из разных писателей, составившийся в Лицее В. Кюхельбекером.

«И критики лицейских мудрецов». – «Лицейский мудрец» – рукописный журнал лицеистов первого выпуска.

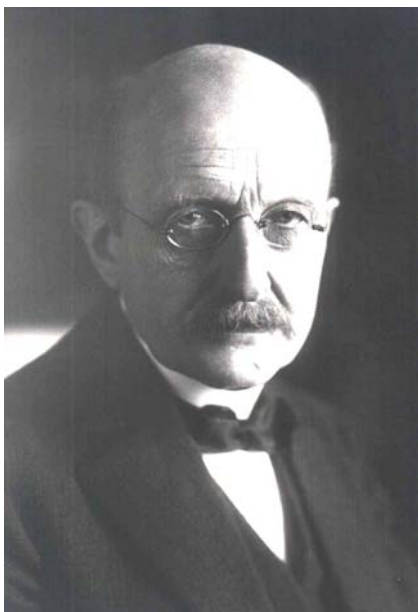
Куницын – любимый профессор Лицея; читал курс естественного права. В 1821 г. этот курс как вредный был запрещен правительством.

Источник: <http://pushkin.niv.ru/pushkin/stihi/stih-443.htm>.



Нильс Хенрик Давид Бор (дат. Niels Henrik David Bohr; 7 октября 1885, Копенгаген – 18 ноября 1962, Копенгаген) – датский физик-теоретик и общественный деятель, один из создателей современной физики. Лауреат Нобелевской премии по физике (1922). Член Датского королевского общества (1917) и его президент с 1939 года. Был членом более чем 20 академий наук мира, в том числе иностранным почётным членом Академии наук СССР (1929; членом-корреспондентом – с 1924).

Бор известен как создатель первой квантовой теории атома и активный участник разработки основ квантовой механики. Он также внёс значительный вклад в развитие теории атомного ядра и ядерных реакций, процессов взаимодействия элементарных частиц со средой.



Макс Карл Эрнст Людвиг Планк (нем. Max Karl Ernst Ludwig Planck; 23 апреля 1858, Киль – 4 октября 1947, Гёттинген) – немецкий физик-теоретик, основоположник квантовой физики. Лауреат Нобелевской премии по физике (1918) и других наград, член Прусской академии наук (1894), ряда иностранных научных обществ и академий наук. На протяжении многих лет один из руководителей немецкой науки.

Научные труды Планка посвящены термодинамике, теории теплового излучения, квантовой теории, специальной теории относительности, оптике. Планк получил закон распределения энергии в спектре абсолютно чёрного тела (формула Планка) и обосновал этот закон, введя представление о квантах энергии и кванте действия. Это достижение положило начало развитию квантовой физики.



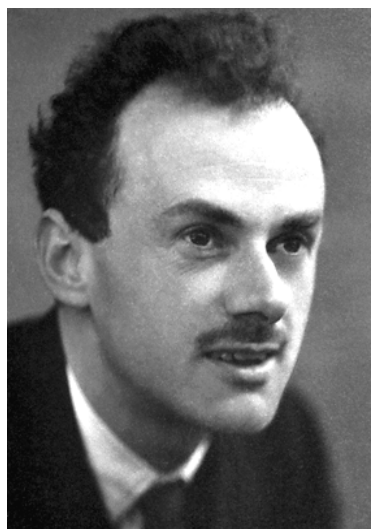
Вернер Карл Гейзенберг (нем. Werner Karl Heisenberg; 5 декабря 1901, Вюрцбург – 1 февраля 1976, Мюнхен) – немецкий физик-теоретик, один из создателей квантовой механики, лауреат Нобелевской премии по физике (1932), член ряда академий и научных обществ мира.

Гейзенберг является автором ряда фундаментальных результатов в квантовой теории: он заложил основы матричной механики, сформулировал соотношение неопределённостей. В дальнейшем активно участвовал в развитии квантовой электродинамики (теория Гейзенберга–Паули) и квантовой теории поля (теория S-матрицы), в последние десятилетия жизни предпринимал попытки создания единой теории поля.



Эрвин Рудольф Йозеф Александр Шрёдингер (нем. Erwin Rudolf Josef Alexander Schrödinger; 12 августа 1887, Вена – 4 января 1961, там же) – австрийский физик-теоретик, один из создателей квантовой механики. Лауреат Нобелевской премии по физике (1933). Член ряда академий наук мира, в том числе иностранный член Академии наук СССР (1934).

Шрёдингеру принадлежит ряд фундаментальных результатов в области квантовой теории, которые легли в основу волновой механики: он сформулировал волновые уравнения (стационарное и зависящее от времени уравнения Шрёдингера), показал тождественность развитого им формализма и матричной механики, разработал волномеханическую теорию возмущений, получил решения ряда конкретных задач. Шрёдингер предложил оригинальную трактовку физического смысла волновой функции; в последующие годы неоднократно подвергал критике общепринятую копенгагенскую интерпретацию квантовой механики (парадокс «кота Шрёдингера» и прочее). В книге «Что такое жизнь?» Шрёдингер обратился к проблемам генетики, взглянув на феномен жизни с точки зрения физики. Он уделял большое внимание философским аспектам науки, античным и восточным философским концепциям, вопросам этики и религии.



Поль Адриен Морис Дирак (фр. Paul Adrien Maurice Dirac; 8 августа 1902, Бристоль – 20 октября 1984, Таллахасси) – английский физик-теоретик, один из создателей квантовой механики. Лауреат Нобелевской премии по физике 1933 года (совместно с Эрвином Шрёдингером). Член Лондонского королевского общества (1930), а также ряда академий наук мира, в том числе иностранный член Академии наук СССР (1931), Национальной академии наук США (1949) и Папской академии наук (1961).

Работы Дирака посвящены квантовой физике, теории элементарных частиц, общей теории относительности. Он является автором основополагающих трудов по квантовой механике (общая теория преобразований), квантовой электродинамике (метод вторичного квантования и многовременной формализм) и квантовой теории поля (квантование систем со связями). Предложенное им релятивистское уравнение электрона позволило естественным образом объяснить спин и ввести представление об античастицах.

Природа – Сфинкс. И тем она верней
Своим искусом губит человека,
Что может статься, никакой от века
Загадки нет и не было у ней.

Ф.И. Тютчев

7. ЧЕТЫРЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ: ГРАВИТАЦИОННОЕ, ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ, СЛАБОЕ И СИЛЬНОЕ

Путешествуя по микромиру, мы сталкиваемся с совершенно новыми понятиями, отсутствующими в макромире. Так, например, одного лишь понятия «электрический заряд» уже недостаточно.

Все элементарные частицы вещества делятся на лептоны («легкие») и адроны, которые, в свою очередь, делятся на мезоны («средние») и барионы («тяжелые»). Лептонов всего шесть, это электрон, мюон, тау-лептон и соответствующие им нейтрино. Лептоны не имеют внутренней структуры, они самые «элементарные» частицы.

Напротив, адронов намного больше, несколько сотен. Кроме того, у них особые свойства, отсутствующие у лептонов. Его называют «барионный заряд». Существует закон сохранения барионного заряда, благодаря чему электрон никогда «не соприкасается» с протоном так, чтобы «проскочила искра», и их заряды уничтожились, что обычно бывает в макромире при контакте двух противоположно заряженных шариков. Появляются и другие понятия, связанные с особым устройством и появлением элементарных частиц: «странность», «изотопический спин», а для кварков – «аромат» и «цвет». Естественно, что к реальному цвету этот признак не имеет никакого отношения, также как «аромат» к запаху. Просто надо было как-то назвать эти новые свойства, их так вот и называли, впрочем, как и сами *кварки*. Появлением этого понятия мы обязаны М. Гелл–Манну, который в 1963 г. решил провести систематизацию существующих к тому времени элементарных частиц (независимо это же сделал Д. Цвейг в 1964 г.). Так вот, для этой систематизации и сведения огромного числа элементарных частиц к более элементарным, но меньшим числам, М. Гелл–Манн придумал три гипотетические частицы с дробной величиной заряда электрона ($2/3$ и $1/3$). Название он позаимствовал из романа Д. Джойса «Поминки по Финнегану», где одному из персонажей снится фантастический сон, в котором летают чайки и кричат: «Three quarks for Muster Mark!» (обычно переводится как «Три кварка для Мастера/Мюстера Марка!»). Позднее пришлось ввести еще три кварка, так что теперь в так называемой «стандартной модели» их всего шесть. Вернее, у кварков есть шесть различных квантовых чисел – ароматов со своими названиями: «верхний», «нижний», «странный», «очарованный», «красивый» и «истинный» (все это кальки от английских слов: up, down, strange, charm, beauty, truth); у каждого «аромата» есть еще три цвета: красный, зеленый и синий. Естественно, у каждого кварка (как и у всякой другой элементарной частицы) есть еще антикварк, т.е. тождественная частица, но с противоположным по знаку электрическим зарядом. При встрече частицы и античастицы они взаимно уничтожаются (так называемая *аннигиляция*), а их пропавшая суммарная масса выделяется в виде энергии излучения, согласно формуле (7).

Теперь вы можете посчитать, сколь элементарной оказалась первоначальная гипотеза М. Гелл-Мана и Д. Цвейга. Но дело собственно даже не в этом, а в том, что ни в одном эксперименте *сами кварки с их дробным зарядом непосредственно не регистрируются*. Экспериментально подтверждаются лишь выводы из теории кварков, т.е. если они есть, то в такой-то ядерной реакции должно быть *то-то и то-то*. И вот это *то-то и то-то* на эксперименте и наблюдают. Таким образом, пока *существование кварков подтверждается не непосредственно, а лишь опосредованно*, и мы должны учесть это при применении **аксиомы 3**, дабы наука была жива и развивалась.



Мэрри Гелл-Мэн (Гельман; англ. Murray Gell-Mann; род. 15 сентября 1929, Нью-Йорк, США) – американский физик, лауреат Нобелевской премии по физике за 1969 год «за открытия, связанные с классификацией элементарных частиц и их взаимодействий».

Представьте, что вы встретились с представителями внеземной цивилизации и вам надо в кратчайший срок показать им, что вы не только мыслящие существа, но и что наша земная цивилизация достигла определенных успехов в постижении природы. Ясно, что вы должны дать такую информацию и таким способом, чтобы она была понятна любым мыслящим существам, находящимся примерно на нашем уровне развития. Обучать их нашему языку бесперспективно, слишком долго. Можно, конечно, нарисовать «пифагоровы штаны», но ведь этот результат знали уже две с половиной тысячи лет назад. Это хороший, но очень невысокий уровень. Можно познакомить их с нашей десятиричной системой счисления, после чего написать какие-либо фундаментальные константы, показывающие уровень достижения земной цивилизации. Это перспективный путь, но какие константы написать? Скорость света, гравитационная постоянная, постоянная Планка и многие другие, как например, масса протона (наиболее стабильной частицы во Вселенной) имеют размерность, а у нас нет возможности объяснить инопланетянам, что такое наши килограммы, метры и т.д. Можно, конечно, написать число Авогадро. Эта константа значительно моложе нашей Вселенной, и ее порядок фактически отражает ее смысл; она должна быть понятна любой другой цивилизации, но результат XIX века. Нет, она хороша лишь как заправка для общения, так же как и теорема Пифагора. Ну а как же быть с передним краем развития науки, или почти передним? Вот к этому рубежу мы и должны подойти вначале сами.

Четыре фундаментальных взаимодействия.

Первое фундаментальное взаимодействие – **гравитационное**, нам уже хорошо знакомо со времен И. Ньютона. Первое его лабораторное наблюдение и измерение гравитационной константы G , было проведено в 1774 г. Г. Кавендишем, который поставил знаменитый эксперимент, измерил чрезвычайно слабую силу притяжения между двумя металлическими шарами, прикрепленными на концах горизонтально подвешенного деревянного стержня. Впоследствии в той или иной модификации эксперимент для измерения константы G проводился неоднократно вплоть до нашего времени. Характерно, что гравитация имеет бесконечный радиус взаимодействия, ему подвержены все тела и от него нельзя защититься никаким экраном. Благодаря этому взаимодействию существует наша Солнечная система и другие системы и галактики. Короче говоря, тот наблюдаемый нами мегамир, одной из составляющих которого являемся мы сами.

Интересные факты

Генри Кавендиш (англ. Henry Cavendish; 10 октября 1731 – 24 февраля 1810) – британский физик и химик, член Лондонского королевского общества (с 1760 года).

Генри Кавендиш родился 10 октября 1731 года в Ницце в семье лорда Чарльза Кавендиша, сына второго герцога Девоншира Вильяма Кавендиша, и леди Анны Грей, дочери первого герцога Кента Генри Грея.

Кавендиш вел тихий и уединенный образ жизни. Со своими служанками он общался исключительно записками и не заводил личных отношений вне семьи. Согласно одному из источников, для того, чтобы попасть домой, Кавендиш часто пользовался чёрным ходом, чтобы избежать встреч со своей экономкой. Некоторые современные врачи (например, Оливер Сакс) пред-

полагают, что Кавендиш страдал синдромом Аспергера, хотя он, возможно, просто был очень застенчивым. Круг его общения ограничивался лишь клубом Королевского общества, члены которого обедали вместе до еженедельных совещаний. Кавендиш редко пропускал эти встречи и был глубоко уважаем своими современниками.

Он также увлекался коллекционированием мебели тонкой работы, документально подтверждена покупка им «десяти стульев и дивана красного дерева с атласной обивкой».

Излюбленным способом тратить деньги была для Кавендиша благотворительная деятельность. Как-то раз, узнав, что студент, помогавший ему упорядочивать библиотеку, оказался в трудной финансовой ситуации, Кавендиш немедленно выписал ему чек на 10 тысяч фунтов – сумму по тем временам громадную. Подобным образом он поступал всю жизнь – и, тем не менее, всегда располагал миллионами фунтов стерлингов, будто обладал сказочным «неразменным рублем».

Кавендиш был совершенно безразличен к окружающему его миру и никогда не интересовался происходящими в этом мире событиями – даже столь значительными, как Французская революция или наполеоновские войны, прокатившиеся по Европе.

Большинство научных работ Кавендиша не публиковалось вплоть до второй половины XIX века, когда Джеймс Максвелл занялся разбором архивов Кавендиша. И даже сейчас несколько ящиков, заполненных рукописями и приборами, назначение которых не поддается определению, остаются неразобранными.

Одним из следствий его гравитационных измерений было довольно точное определение плотности. Однако этот результат не был известен почти 100 лет, так как Кавендиш не заботился ни о публикации своих работ, ни о каком-либо признании учёным миром.

В 1775 году он пригласил семерых выдающихся учёных, чтобы продемонстрировать сконструированного им искусственного электрического ската, и дал каждому ощутить электрический разряд, абсолютно идентичный тому, каким настоящий скат парализует свои жертвы. А по завершении показа он, опередивший своих современников Гальвани и Вольты, торжественно объявил приглашенным, что именно эта продемонстрированная им новая сила когда-нибудь революционизирует весь мир.

Хотя распространено мнение, что всемирно известная Кавендишская лаборатория названа в честь Генри Кавендиша, это не соответствует действительности. Она названа в честь родственника Генри, Уильяма Кавендиша, 7-го герцога Девоншира. Он был канцлером Кембриджского университета и пожертвовал крупную сумму на открытие первой в мире учебно-научной лаборатории при университете.

Примерно за 11 лет до Кулона закон взаимодействия зарядов был открыт Г. Кавендишем, однако результат не был опубликован и долгое время оставался неизвестным.

Он умер неженатым 24 февраля 1810 года, оставив состояние в 700 000 фунтов и ещё 6000 годового дохода от имения. К сожалению, ни один фунт из этого богатства не был пожертвован на нужды науки. Завещание же ученого содержало категорическое требование, чтобы склеп с его гробом сразу после похорон был наглухо замурован, а снаружи не было никаких надписей, указывающих, кто в этом склепе похоронен. Так и было сделано. Кавендиша похоронили в соборе в Дерби. Ни осмотра тела, ни вскрытия трупа не производили. И ни одного достоверного портрета Кавендиша тоже не сохранилось.

Второе фундаментальное взаимодействие – **электромагнитное**, которое мы также знаем со школьной скамьи. Судя по всему, впервые существование электричества установил Фалес Милетский, когда потерял кусок янтаря (по-гречески *электрон*) о шелк или мех. Магнетизм экспериментально обнаружили также древние греки. Уже за 600 лет до н.э. им были известны свойства магнитного железняка. Спустя примерно 500 лет китайцы открыли способность этого материала ориентироваться в пространстве и создали фактически примитивный компас. Однако из-за отсутствия в древнем Китае понятия «закон природы» его использование ограничивалось различными мистическими действиями, и только спустя несколько столетий компас стал навигационным прибором. В XVIII–XIX вв. природа электричества и магнетизма постепенно прояснилась. Как вы уже знаете, апофеозом явилось написание Д. Максвеллом его четырех уравнений, объединивших электричество и магнетизм в единую теорию. Благодаря электромагнитному взаимодействию электрон не улетает от ядра, что делает возможным само существование атома, ибо отрицательно заряженный электрон притягивается к положительно заряженному ядру, состоящему из протонов и ней-

тронов. Таким образом, это взаимодействие, как и гравитационное, также имеет бесконечный радиус и формирует наш атомно-молекулярный мир (в том числе и нас самих).

Третье фундаментальное взаимодействие – **сильное**. Представление о его существовании складывалось по мере того, как прояснялась структура атомного ядра. Действительно, согласно закону Кулона, протоны как одноименно заряженные частицы должны были бы разлететься из ядра, поскольку сил гравитации недостаточно (они чрезвычайно малы по сравнению с электрическими) чтобы удерживать протоны в области пространства 10^{-13} см (размеры ядра). Что-то должно удерживать протоны в ядре, поскольку существуют стабильные ядра атомов. Вот это *что-то* и является сильным взаимодействием, оно существенно только на расстояниях порядка 10^{-13} см, т.е. является короткодействующим. Ясно, что оно также определяет существующий мир, поскольку отвечает за стабильность ядер, а значит, в итоге и самих атомов. Кроме того, в недрах Солнца и звезд непрерывно протекает термоядерная реакция, вызванная сильным взаимодействием и дающая нам ту форму жизни, которая осуществилась на Земле.

Четвертое фундаментальное взаимодействие – **слабое**. Судя по всему, так и не осознав этого события, человечество познакомилось с ним в 1054 г., когда китайские астрономы увидели появление яркой голубой звезды в той области неба, где ранее ничего не наблюдали. Эта новая звезда светила несколько недель, а затем стала медленно гаснуть. Эта вспышка 1054 г. считается взрывом сверхновой, т.е. гигантским по силе взрывом старой звезды, вызванным внезапным коллапсом ее ядра, который сопровождается кратковременным испусканием огромного количества особых частиц – **нейтрино**. Участвующие только в слабом взаимодействии, нейтрино разбросали наружные слои звезды в космическом пространстве, создав клочья облаков расширяющегося газа. Сейчас сверхновая 1054 г. наблюдается в виде туманного светлого пятнышка в созвездии Тельца. Слабое взаимодействие ощутимо еще на меньших расстояниях, нежели сильное. Оно прекращает свое действие на расстояниях 10^{-16} см от источника. Тем не менее без него также не было бы ныне существующего мира, поскольку оно вызывает превращение одних частиц в другие, часто приводя продукты реакции в движение с высокими скоростями. Кроме того, слабое взаимодействие отвечает за относительно медленное и ровное горение нашего Солнца, что в определенной степени также обеспечивает тот вид жизни, который осуществился на Земле.

Каждое взаимодействие характеризуется своей константой, имеющей соответствующую размерность. Анализ размерностей этих констант приводит к следующему, весьма специфическому пониманию следующей проблемы. Размерные константы играют определяющую роль в построении физических теорий. Однако, если речь идет о возможности **единого теоретического описания всех физических процессов** – формулировке унифицированной научной картины мира от микро- до мегауровня включительно, на первый план должны выйти **безразмерные константы**. Если такие существуют, то именно их и следует называть **истинно «мировыми» константами**. Они собственно и являются «мировым» языком общения для «всех времен и народов». Процедура написания безразмерных констант для четырех фундаментальных взаимодействий хорошо известна в физике и делается путем использования помимо G и заряда электрона e других фундаментальных констант: \hbar , c , массы протона m_p , цветового заряда q_s и энергии Ферми g_F . В результате получают следующие безразмерные величины, которые вы и должны написать инопланетянам:

константа гравитационного взаимодействия – $\alpha_G \approx 10^{-39}$;

константа слабого взаимодействия – $\alpha_W \approx 10^{-5}$;

константа электромагнитного взаимодействия – $\alpha_e \approx 1/137 \approx 10^{-2}$;

константа сильного взаимодействия – $\alpha_S \approx 1$.

Характерно, что числовые значения этих констант (несмотря на принципиальную возможность их изменения) нельзя менять, не разрушив при этом устойчивости одного или нескольких основных структурных элементов Вселенной. Можно считать, что эти константы стабильны, начиная со времени 10^{-35} сек с момента рождения Вселенной. Такая точная и стабильная «подгонка» числовых значений мировых констант, необходимых для существования ядер, атомов, звезд и галактик абсолютно неясна. Но именно такая «подгонка» обуславливает существование не только сложных неорганических, органических и живых структур, но в конечном счете и самого вида *homo sapiens*.

Что такое Вселенная?
 Из чего она возникает?
 Во что она переходит?
 В свободе она возникает.
 В свободе существует,
 и в свободе растворяется.

Упанишады

8. СЦЕНАРИЙ «СОТВОРЕНИЯ МИРА»

Примерно 13–14 миллиардов лет назад произошло событие, не только установившее взаимосвязь между физикой элементарных частиц и космологией, но и определяющее нынешнее стремление к единству науки физики. Это событие называют Большим Взрывом (Big Bang). Чтобы понять, как с того момента развивалась наша Вселенная, нам надо совершить краткий экскурс в так называемые единые теории поля.

В 1967 г. С. Вайнберг, Ш. Глэшоу и А. Салам показали, что слабое и электромагнитное взаимодействия становятся одним единым *электрослабым* взаимодействием при энергиях свыше 100 Гэв. (1 Гэв = 10^9 эВ, а 1 электронвольт – это энергия, которую приобретает электрон, проходя разность потенциалов в 1 вольт). Ниже этой энергии симметрия между ними спонтанно нарушается, и в повседневной жизни мы наблюдаем их как разные взаимодействия. Теория электрослабого взаимодействия была подтверждена экспериментально на ускорителе частиц, диаметр кольца которого несколько километров, создающем энергию свыше 100 Гэв.

В 1979 г. Ш. Глэшоу и Г. Джорджи опубликовали свои представления о том, что при энергиях свыше 10^{14} Гэв электрослабое взаимодействие объединяется с сильным, при этом также восстанавливается некая симметрия. Но о симметрии чуть позже. Теории, рассматривающие объединение этих трех взаимодействий, называются ТВО (*теории Великого объединения*). Проверить выводы ТВО обычным способом на ускорителе вряд ли возможно, так как диаметр такого ускорителя (в традиционном эксперименте) должен быть много больше чем размеры Земли. Сколько-нибудь охарактеризовать абстрактную симметрию ТВО мы не сможем, это потребовало бы от нас достаточно сложной математики. **Единственное, что, пожалуй, необходимо сказать, что симметрии ТВО – это геометрические симметрии, связанные с дополнительными 7-ю измерениями пространства, свернутыми (или как говорят компактифицированными) в 7-мерную сферу. Если результаты ТВО на самом деле верны, то мы живем в 11-мерном пространстве, в котором 3+1 – это 4-мерный пространственно-временной континуум, а 7 пространственных измерений свернуты в компакт. Таким образом, появляется еще одна фундаментальная величина – *размерность Вселенной*: $N_B = 1 + 3 + 7 = 11$.**

Продолжая двигаться дальше вверх по шкале энергий, мы приходим к *теории супергравитации* или *суперсимметрии*. Результаты этой теории могут проявляться при энергиях свыше 10^{19} Гэв. При этом объединяются внутренняя, связанная с квантовыми числами элементарных частиц симметрия ТВО, и пространственная симметрия ОТО. Таким образом, полная схема, которую мы можем предъявить инопланетянам, дабы доказать нашу осведомленность в науке, представлена на рис. 6. Вас не должно смущать, что характерные энергии объединения представлены в размерных единицах (Гэв); соотношение между порядками величин настолько характерно, что мыслящие инопланетяне поймут, о чем идет речь, если они находятся на нашем уровне развития.

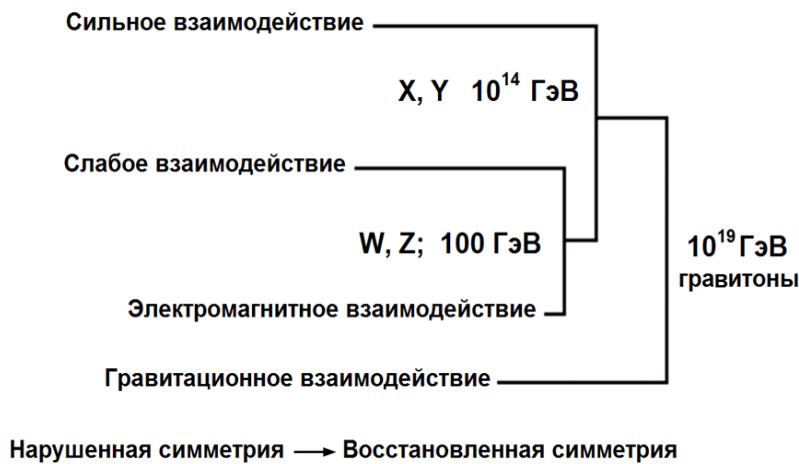


Рис. 6. Энергии объединения различных взаимодействий

Чтобы теперь перейти к сценарию «сотворения» нашего мира, нам осталось осветить еще одну показательную историю о том, как делаются порой открытия. Суть дела вкратце такова. В 1938 г. наш бывший соотечественник (в то время уже американский физик) Г.А. Гамов, исходя из теоретических соображений, предсказал существование фонового (т.е. исходящего не от звезд туманностей и т.п., а из «пустого» пространства) электромагнитного излучения Вселенной. В 1946 г. он выдвинул модель эволюции Вселенной, объяснявшую происхождение этого *реликтового излучения*. Такая модель «горячей» Вселенной предполагала, что когда-то, очень давно (поэтому оно и реликтовое), температура Вселенной была значительно большей, нежели сейчас. В 1964 г. в лаборатории фирмы «Белл телефон» была создана новая рупорная антенна, предназначавшаяся для работы со спутниками связи, и уже через год работавшие на ней Р. Вилсон и А. Пензиас обнаружили фоновый электромагнитный шум Вселенной. Они, ничего не зная о работах Г.А. Гамова, просто случайно натолкнулись на это реликтовое излучение. А в это время знавший теорию Г.А. Гамова астрофизик Р. Дикке специально строил антенну для обнаружения реликтового излучения, но опоздал всего лишь на полгода. В итоге Нобелевскую премию в 1978 г. получили Р. Вилсон и А. Пензиас. С этого момента идея «горячей» Вселенной, рожденной в результате Большого Взрыва, становится основной гипотезой сценария «сотворения Мира». Вкратце он таков.

Большой взрыв. Время 10^{-44} сек, температура 10^{32} К (градусов по Кельвину). Это так называемое планковское время, при нем размер Вселенной составлял 10^{-35} см. До этого момента пространство, время, излучение и вещество были нераздельны, а начиная с планковского времени их роль начинает быть разной. В момент 10^{-43} сек Вселенная оказалась в состоянии с относительным минимумом потенциальной энергии (так называемый ложный вакуум); это состояние было абсолютно неустойчивым, и Вселенная стала раздуваться со скоростью, большей скорости света. При этом информативно связаны между собой были только те участки, расстояние между которыми не превышало *ct*. Такое раздувание продолжалось до времени 10^{-35} сек.

Инфляционная модель Вселенной – гипотеза о физическом состоянии и законе расширения Вселенной на ранней стадии Большого взрыва (при температуре выше 10^{28} К), предполагающая период ускоренного по сравнению со стандартной моделью горячей Вселенной расширения.

Первый вариант теории был предложен в 1981 году Аланом Гутом, однако ключевой вклад в её создание внесли советские и экс-советские астрофизики Алексей Старобинский, Андрей Линде, Вячеслав Муханов и ряд других.

Отделение гравитации. Начиная с 10^{-35} сек при температуре 10^{28} К одно универсальное взаимодействие (суперсимметрия) разделилось на гравитацию и Великое объединение.

Отделение сильного взаимодействия. Начиная со времени 10^{-34} сек, температура 10^{27} К, симметрия Великого объединения нарушается, и из него выделяется сильное взаимодействие.

Начало барионной асимметрии. При температуре 10^{16} К, время 10^{-12} с, рождаются и уничтожаются кварки и антикварки, при этом число частиц на одну миллиардную часть превышает число античастиц. Позже это приведет к «вымиранию» антиматерии.

Отделение слабого взаимодействия. При температуре 10^{15} К начинает нарушаться симметрия между слабым и электромагнитным взаимодействиями и, начиная с времени 10^{-4} сек и температуры 10^{12} К, все четыре взаимодействия существуют уже независимо. Кварки, ранее свободные, объединяются в нуклоны – протоны и нейтроны, прекращаются реакции, в которых поглощалось нейтрино, и эти частицы распространяются по Вселенной.

Фиксация числа нуклонов. При температуре 10^{10} К и времени 1 с прекращаются превращения протонов в нейтроны и наоборот. Их количество фиксируется в соотношении 6 к 1.

Парное взаимоуничтожение лептонов. При 10^8 К и времени 100 с электроны и позитроны, как это уже было с протонами и нейтронами, взаимно уничтожаются, и остается небольшой избыток электронов.

Синтез первых элементов. При температуре 10^7 К и времени 10^4 с протоны и нейтроны сливаются в ядра тяжелого водорода – дейтерия и в ядра гелия.

Наиболее драматические события во Вселенной произошли за первые секунды с момента Большого Взрыва. Температура вещества и его плотность упали более чем на 20 порядков, и теперь счет времени идет уже на тысячелетия.

Конец синтеза элементов. Ко времени 10^4 лет нейтроны в основном израсходованы на образование ядер гелия. Оставшиеся протоны – это ядра водорода.

Конец эры излучения. Вселенная остыла уже до 30000 градусов Кельвина, интенсивность излучения падает, и основная доля энергии приходится уже на материю.

Эпоха плазмы. Преобладает электромагнетизм, фотоны обладают еще столь высокой энергией, что не позволяют электронам примыкать к атомным ядрам и образовывать атомы. Вселенная пока еще космический газ, представляющий собой непрозрачную плазму.

«Просветление» Вселенной. Начиная со времени 10^5 лет, энергия фотонов настолько уменьшилась, что электроны теперь локализуются вокруг атомных ядер – возникают атомы. Фотоны же распространяются по Вселенной почти свободно, создавая *реликтовое излучение*. Вселенная становится прозрачной и далее продолжает постепенно остывать.

Время 10^{10} лет и далее. Космический газ образует скопления, возникают небесные тела – *квезары и галактики*. В галактиках образуются газовые облака меньших размеров, они сгущаются и в итоге возникают первые *звезды*. Внутри звезд синтезируются более тяжелые элементы. После смерти звезд они попадают в космическое пространство и при соответствующих условиях могут конденсироваться. Возникают первые *планеты*, подобно нашей. *Жизнь* на Земле появилась свыше трех миллиардов лет назад, а примерно шестьдесят тысяч лет назад появился уже *homo sapiens* – человек разумный.

Что же определило настолько точную подгонку мировых констант, что стало возможным не только существование сложной структуры нашей Вселенной, включая и жизнь?

Одним из возможных ответов на этот вопрос считается *антропный принцип*, согласно которому наша Вселенная обладает наблюдаемыми свойствами именно потому, что эти свойства допускают возможность существования наблюдателя. Обычно считают, что антропный принцип впервые высказал английский физик Б. Картер в 1974 г. в двух формулировках – сильной и слабой. Сильная – «Вселенная должна быть таковой, чтобы в ней на некоторой стадии эволюции мог существовать наблюдатель». Слабая – «То, что мы наблюдаем, должно удовлетворять усло-

виям, необходимым для присутствия человека как наблюдателя». Однако, как оказалось, много ранее, еще в 1957 г., к этому же выводу пришел наш соотечественник Г.М. Идлис.

С нашей точки зрения, антропный принцип имеет скорее философское, нежели естественно-научное значение. Логика развития космологии – науки о происхождении и развитии Вселенной – должна привести к его исключению как лишней сущности (см. аксиому 2).

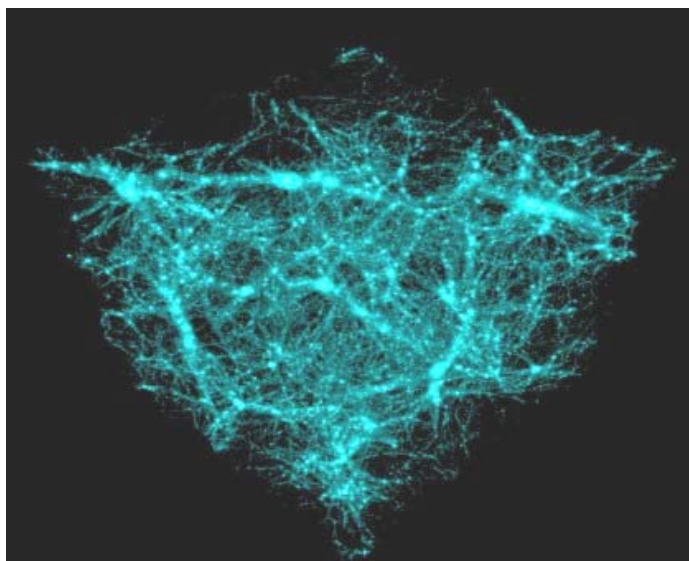
Темная материя и темная энергия

Открытия в космологии обычно проходят в два этапа. На первом исследуется сама суть вопроса: существует ли это нечто? На втором ставится вопрос: что это такое? В случае с темной материей большинство ученых уверено, что первый этап пройден. Если же говорить о темной энергии, то так далеко они пока не продвинулись.

СКРЫТАЯ МАССА

Первым, кто указал на возможность существования темной материи, был швейцарский астроном Фриц Цвикки. В 1932 г. он изучал скопление Волосы Вероники. Исследуя движение галактик, вращавшихся вокруг его центра, Цвикки вычислил, сколько материй требуется, чтобы поддерживать их гравитационную связь. Проанализировав их излучение и рассчитав общее количество имевшихся звезд, он обнаружил, что большей части массы не хватало.

Открытие Цвикки должно было бы вызвать громадный интерес, но из-за его раздражительного характера коллеги-ученые его не любили, поэтому это открытие, как и многие другие, сделанные им, были проигнорированы.



СПИРАЛЬНАЯ ЗАГАДКА

Пройдет еще 40 лет, когда другой ученый снова займется изучением скрытой массы. Этим ученым окажется Вера Рубин, работавшая на кафедре геомагнетизма Института Карнеги в Вашингтоне. С помощью высокочувствительного спектрографа, сконструированного ее коллегой физиком Кентом Фордом, Рубин изучала движения звезд в спиральных галактиках, лежащих на ребре. При расчете скорости этих звезд она отметила аномалию. На удалении от центра галактики звезды не замедлялись, как считалось ранее. Ученые полагали, что звезды в центре, где скоплена большая часть массы, вращаются гораздо быстрее, чем во внешних областях (как планеты в планетарных системах).

ТЕМНАЯ МАТЕРИЯ

Рубин поняла, что во внешнем гало спиральных галактик должна концентрироваться та же масса, что и в ярко сверкающем центральном диске. Однако увидеть ее невозможно, поскольку речь идет о темной материи. Поначалу эти рассуждения были встречены скептически, но даль-

нейшие исследования подтвердили выводы Рубин и Форда. Анализ газа в скоплениях галактик с помощью рентгеновской обсерватории «Чандра» показал, что темной материи в 10 раз больше, чем вещества, имеющего излучение. Оказалось, что Цвикки был прав.

Для более точного подсчета темной материи было разработано гравитационное линзирование. Этот метод впервые предложил также Цвикки. Все указывало на то, что темной материи было гораздо больше, чем видимого вещества. Правда, если вопрос о самом существовании темной материи больше не стоял, наука пока не могла объяснить, что же это такое.

СТРАННЫЕ ЧАСТИЦЫ

Считалось, что некоторая часть темной материи может включать нейтрино, черные дыры и плотные образования, названные «массивными объектами гало галактик» (MACHO), такие как коричневые карлики. Профессор астрономии из Принстонского университета в Нью-Джерси Джерри Острикер считает, что «мы не знаем, что такое темная материя, зато мы знаем о том, что к ней точно не относится». У темной материи есть масса, – говорит он, – но она не участвует в электромагнитном взаимодействии с другой материей, поэтому не излучает и не поглощает свет.

Во-вторых, она не содержит обычных элементарных частиц, о которых мы знаем, поэтому, возможно, она состоит из каких-то странных частиц, которые пока не открыты. Ученые называют такие частицы «слабовзаимодействующими массивными частицами» (WIMP). Предпринимаются попытки обнаружить их, но на сегодня результаты пока нулевые.

ТЕМНАЯ ЭНЕРГИЯ

Впереди ученых ожидали два новых удара.

Удар № 1: по картам космического фонового излучения вывели форму Вселенной, что дало основание считать, что масса Вселенной намного больше, чем предполагалось ранее.

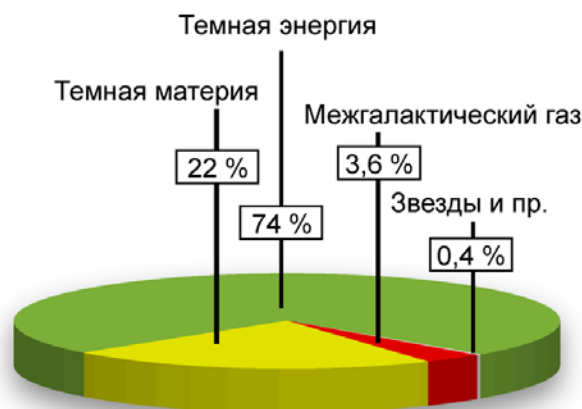
Удар № 2: изучая красное смещение сверхновых типа I_i в попытках определить скорость расширения Вселенной, астрофизик Сол Перлмуттер, возглавлявший Космологический проект по изучению сверхновых звезд в Национальной лаборатории им. Лоуренса в Беркли, сделал открытие. Он обнаружил, что эти сверхновые были на самом деле на 17-25 % более тусклыми, чем предполагалось по теории Большого взрыва. Они находились от нас дальше, чем показывали прежние прогнозы, стало быть, скорость расширения Вселенной растет. Должна существовать отрицательная гравитация. Ее нарекли темной энергией, и все ученые мира принялись за формулировку теории.

КОСМОС УСКОРЯЕТСЯ

Одно из объяснений, что такое темная энергия, может заключаться в том, что после Большого взрыва она была доминирующей силой, но с расширением Вселенной ее гравитация ослабла. По мере того как плотность пространства уменьшилась примерно 6 млрд лет назад, темная энергия взяла верх, и расширение Вселенной стало ускоряться. Другая гипотеза требует повторного введения космологической постоянной Эйнштейна, указывающей на то, что пространство само противодействует гравитации.

Еще одна теория описывает темную энергию как форму отрицательного давления или такой тип силового поля (как электромагнетизм), называемый квинтэссенцией, который отталкивает материю.

Поскольку энергия и масса взаимозаменяемы (по знаменитой формуле Эйнштейна $E = mc^2$), темная энергия может составлять большую часть массы во Вселенной – чуть ли не до 73 %. А вот темная материя охватывает меньше 27 %, тогда как звезды, газ и пыль вместе дают оставшуюся часть (0,5 %). Какое из решений правильное, ученым пока еще только предстоит решить.



Заканчивая раздел о симметрии, мега- и микромире, обращаем внимание тех, кого более подробно интересует геометризация физики и роль в ней абстрактных симметрий. Им следует прочитать раздел «Интермедия» нашей книги «Концепции современного естествознания» [1], написанный профессором А.А. Дышековым.



Геóргий Анто́нович Га́мов (также известен как Джордж Гамов, англ. George Gamow; 20 февраля (4 марта) 1904, Одесса – 19 августа 1968, Боулдер) – советский и американский физик-теоретик, астрофизик и популяризатор науки.

В 1933 г покинул СССР, став «невозвращенцем». В 1940 г. получил гражданство США. Член-корреспондент АН СССР (с 1932 по 1938 гг., восстановлен посмертно в 1990 г.). Член Национальной академии наук США (1953 г.).

Гамов известен своими работами по квантовой механике, атомной и ядерной физике, астрофизике, космологии, биологии. Он является автором первой количественной теории альфа-распада, одним из основоположников теории «горячей Вселенной» и одним из пионеров применения ядерной физики к вопросам эволюции звёзд. Он впервые чётко сформулировал проблему генетического кода. Широкую известность Гамову принесли его научно-популярные произведения, в которых живым и доступным языком рассказывается о современных научных представлениях.



Арно Аллан Пензиас (на фото справа) и **Роберт Вудро Уилсон** (на фото слева) – американские физики, открывшие реликтовое электромагнитное излучение

Арно Аллан Пензиас (англ. Arno Allan Penzias; родился 26 апреля 1933, Мюнхен) – американский астрофизик, профессор, лауреат Нобелевской премии по физике (1978) за открытие космического микроволнового фонового излучения.

Роберт Вудро Уилсон (англ. Robert Woodrow Wilson; род. 10 января 1936, Хьюстон, США) – американский физик, лауреат Нобелевской премии по физике в 1978 году «за открытие микроволнового реликтового излучения» (совместно с Арно Алланом Пензиасом).

Шелдон Ли Глэшоу (англ. Sheldon Lee Glashow; род. 5 декабря 1932, Нью-Йорк) – американский физик, лауреат Нобелевской премии по физике за 1979 г. (совместно с Абдусом Саламом и Стивеном Вайнбергом). Родился в Нью-Йорке, в семье уроженцев Бобруйска Льюиса Глуховского (1889–1961) и Беллы Рубиной (1893–1970).

Абдаль Гани АсСалами (англ. Abdal Ghani AsSalami); 29 января 1926, Джанг, Британская Индия (в настоящее время Пакистан) – 21 ноября 1996, Оксфорд, Великобритания – пакистанский физик-теоретик, лауреат Нобелевской премии по физике за 1979 г. (совместно с Шелдоном Глэшоу и Стивеном Вайнбергом). Именем учёного назван Международный центр теоретической физики в Триесте.

Стивен Вайнберг (англ. Steven Weinberg; род. 3 мая 1933, Нью-Йорк) – американский физик, лауреат Нобелевской премии по физике в 1979 году (совместно с Шелдоном Ли Глэшоу и Абдусом Саламом) «за вклад в объединённую теорию слабых и электромагнитных взаимодействий между элементарными частицами, в том числе предсказание слабых нейтральных токов». Стивен Вайнберг родился 3 мая 1933 года в Бронксе (Нью-Йорк) в еврейской семье. Его отец, Фредерик Вайнберг (1901–1984), происходил из семьи иммигрантов из Румынии; мать, Ева Израэл (1909–?), эмигрировала в США из Германии.



Ш. Глэшоу, А. Салам, С. Вайнберг на вручении Нобелевской премии (1979 г.)



Алексей Александрович Старобинский (род. 19 апреля 1948, Москва) – российский физик-теоретик, автор работ по гравитации и космологии. Один из создателей современной теории рождения Вселенной – теории инфляции. Закончил физический факультет МГУ в 1972 г. Академик РАН (2011). Главный научный сотрудник Института теоретической физики им. Л.Д. Ландау РАН. Член Немецкой национальной академии наук.

Совместно с Я.Б. Зельдовичем рассчитал количество частиц и среднее значение тензора энергии импульса квантовых полей в однородной анизотропной космологической модели. Вместе с ним же продемонстрировал Стивену Хокингу, что в соответствии с принципом неопределённости квантовой механики вращающиеся чёрные дыры должны порождать и излучать частицы. Совместно с Ю.Н. Парийским и др. обнаружил флуктуации температуры реликтового излучения.

Вместе с А. Гуттом и А.Д. Линде является основоположником теории ранней Вселенной с деситтеровской (инфляционной) стадией. Наиболее важные результаты в этой области: первый расчет спектра гравитационных волн, генерируемых на инфляционной стадии, первая последовательная модель инфляционного сценария, первый (одновременно, но независимо от С. Хокинга и А. Гута) количественно правильный расчет спектра возмущений плотности, теория стохас-

тической инфляции, теория разогрева материи во Вселенной после конца инфляционной стадии, теория перехода от квантового описания первичных неоднородностей к классическому.

Премии и награды:

Премия имени А.А. Фридмана РАН (1996).

Премия Томалла (Швейцария) (2009).

Медаль Оскара Клейна Шведской Королевской Академии наук и Стокгольмского университета (2010) (с предложением прочитать Мемориальную лекцию О. Клейна).

Медаль Амальди[de] Итальянского гравитационного общества (совместно с В.Ф. Мухановым) (2012).

Премия Грубера в области космологии (совместно с В.Ф. Мухановым) (2013) в размере 500 тыс. долларов США.

Премия Кавли в области астрофизики (2014).

Золотая медаль имени А.Д. Сахарова РАН (2016).



Андрей Дмитриевич Линде (род. 2 марта 1948, Москва) – советский и американский физик. Профессор физики в Стэнфордском университете.

В 1972 г. А.Д. Линде окончил физический факультет МГУ.

В 1975 г. защитил диссертацию в Физическом институте им. Лебедева под научным руководством Д.А. Киржница.

Вместе с А. Гуттом А.Д. Линде является основоположником теории ранней Вселенной с деситтеровской (инфляционной) стадией. Наиболее важные результаты в этой области: первый расчет спектра гравитационных волн, генерируемых на инфляционной стадии, первая последовательная модель инфляционного сценария, первый (одновременно, но независимо от С. Хокинга и А. Гута) количественно правильный расчет спектра возмущений плотности, теория стохастической инфляции, теория разогрева материи во Вселенной после конца инфляционной стадии, теория перехода от квантового описания первичных неоднородностей к классическому.

С 1989 г. работал в теоретическом отделе Европейской организации по ядерным исследованиям ЦЕРН (CERN) в Швейцарии.

В 1990 г. Линде эмигрировал в США, став профессором физики Стэнфордского университета.

Награды:

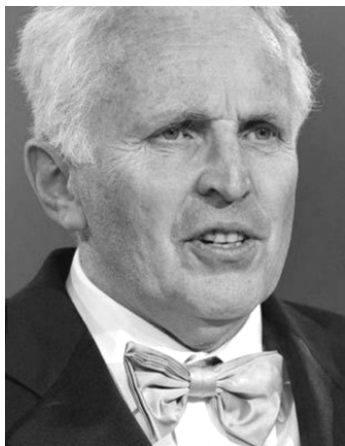
Награжден многочисленными наградами, среди которых Медаль Оскара Клейна (2001).

Медаль Дирака (2002).

Премия Грубера (2004).

Премия по фундаментальной физике (2012).

Премия Кавли (2014).



Александр Маркович Поляков (род. 27 сентября 1945 г., Москва) – советский и американский физик-теоретик, первоначально работавший в Институте теоретической физики им. Ландау в Черноголовке, а с 1989 г. – в Принстонском университете. Член-корреспондент РАН (1984).

Известен рядом основополагающих вкладов в квантовую теорию поля, в том числе работой над монополями 'т Хоофта – Полякова в теории Янга – Миллса. Независимо от Герарда 'т Хоофта Поляков осознал применимость топологических идей в теории поля посредством открытия монопольных и инстантонных решений в теории Янга – Миллса. Одним из первых он выявил значение масштабной инвариантности в квантовой теории поля, особенно в связи с теорией критических явлений.

Его переформулировка теории струн в терминах ковариантного интеграла по траектории, классификация двумерных конформных теорий поля в статье «Бесконечная конформная симметрия в двумерной квантовой теории поля» совместно с А.А. Белавиным и А.Б. Замолотчиковым, опубликованной в 1984 г., стали классикой теоретической физики. В 2011 г. они получили совместную премию Ларса Онзагера.

Награды:

Медаль Дирака (1986).

Премия Дэнни Хайнемана в области математической физики (1986).

Медаль Лоренца (1994).

Медаль Оскара Клейна (1996).

Премия Харви (2010).

Премия Ларса Онзагера (2011).

В 2013 г. награждён Премией по фундаментальной физике (Fundamental Physics Prize, «Премия Мильнера») за работы в области квантовой теории поля и за труды, ставшие одним из оснований теории струн.



Вячеслав Фёдорович Муханов (род. 2 октября 1956 г., Каша, Чувашская АССР, РСФСР) – российско-германский физик, космолог, один из авторов доказательства инфляционной теории развития Вселенной, профессор университета Людвиг-Максимилиана в Мюнхене.

Выпускник (1973 г.) ФМШ № 18 при МГУ им. акад. Колмогорова. Закончил МФТИ (1973–1979). Работал в ФИАН. Научный руководитель В.Л. Гинзбург. В 1989 г. защитил докторскую диссертацию в ФИАН. С 1989 по 1992 гг. – старший научный сотрудник Института ядерных исследований в Москве. С 1992 по 1997 гг. – доцент Высшей технической школы Цюриха (Швейцария). С 1997 г. руководит кафедрой физики астрочастиц и космологии физического факультета университета имени Людвиг-Максимилиана в Мюнхене.

В 1981 г. Муханов в сотрудничестве с Геннадием Чибисовым разработал гипотезу возникновения крупномасштабной структуры Вселенной (галактик) из квантовых флуктуаций.

С 1982 по 1989 гг. разработал квантовую теорию космологических возмущений, которая может быть применена для вычисления неоднородностей в различных инфляционных моделях Вселенной. Первое подтверждение этой теории было получено в 1992 г. в эксперименте COBE на космическом зонде WMAP.

Область научных интересов: флуктуации реликтового излучения, инфляционные модели, космология в теории струн, проблема космологической постоянной, проблема сингулярности, самовоспроизведение Вселенной, темная энергия, квантовые и классические черные дыры, квантовая космология.

Награды и премии:

1988 – Золотая медаль Академии наук СССР для молодых ученых.

2004 – Заслуженный лектор Стэнфордского университета, США.

2004 – Почетный член Института Физики, Англия.

2006 – Медаль Оскара Клейна Стокгольмского университета, Швеция.

2008 – Почетное звание заслуженного профессора Нью-Йоркского университета, США.

2009 – Премия Томалла, Швейцария.

2010 – Премия Блез Паскаль Высшей нормальной школы, г. Париж, Франция.

2012 – Медаль Амальди Итальянского гравитационного общества (совместно с А.А. Старобинским).

2013 – Премия фонда Грубера в области космологии.

2014 – Премия Фридриха фон Шеллинга.

2015 – Медаль им. Макса Планка.

2015 – BVVA Foundation Frontiers of Knowledge Awards (совместно со Стивеном Хокингом).

Где начало того конца,
которым оканчивается начало?

Козьма Прутков
«Мысли и афоризмы», № 78

9. ЗАКОНОМЕРНОСТИ МАКРОМИРА. НАЧАЛА ТЕРМОДИНАМИКИ. КОНСТАНТА БОЛЬЦМАНА

«Вначале не было ничего; из тьмы первозданного хаоса, покоящегося без движения, словно в глубоком сне, прежде иных творений возникли воды. Воды породили огонь. Великой силой тепла в них рождено было Золотое Яйцо. Тогда не было еще года, ибо некому было отмерять время. Из Золотого Зародыша возник Прародитель Брахма, и он положил начало времени и всему сущему. Так была сотворена Вселенная. Шесть сыновей родилось у Брахмы, но всех превзошел младший, Вишну, хранитель мироздания. Шива вышел из чела Брахмы, подобный пламени гнева, и в нем воплотились все разрушительные силы и самые грозные и устрашающие свойства богов».

Так повествуют Веды сотворение Мира. В индуизме, как и позднее, в христианстве, сложилась концепция Тримурти (своеобразный индусский аналог христианской Троицы), верховного божества, единого в трех лицах: Брахмы – создателя Вселенной, Вишну – ее хранителя, и Шивы – разрушителя.

Таким образом, еще древние, с их высокой наблюдательностью и иррациональным мышлением, пришли к выводу, что для стабильности всего сущего необходимы, говоря современным языком, три закона. Закон *рождения нового*, закон *сохранения* и закон *деструкции*, т.е. *смер-ти*. Посмотрим, как соответствует современная наука этому представлению.

По современным представлениям, связанным в большей степени с концепцией Нобелевского лауреата И.Р. Пригожина, есть два взаимодополняющих подхода к описанию природы: динамический и термодинамический. Первый наиболее целесообразен для описания отдельных объектов (тел, атомов, молекул, элементарных частиц) и их взаимодействия с некоторым числом тех же самых или других объектов.

Второму свойственен системный подход, то есть он рассматривает существенно большие совокупности объектов (например, макросостояние с числом частиц порядка числа Авогадро $N_A \approx 6 \cdot 10^{23}$ 1/моль). Этот подход оперирует обобщенными параметрами, такими как *энергия*, *теплота* и *энтропия*. Такие системы мы будем называть термодинамическими, полагая, что выражения, получаемые или используемые в теории, подвергаются формальной предельной процедуре. То есть, если число частиц в системе N и ее объем V стремятся к бесконечности (чего на самом деле быть не может), то их отношение $V/N = \text{const}$.

Для термодинамических (ТД) систем существуют четыре аксиомы, или как чаще говорят – начала термодинамики.

Нулевое начало термодинамики. Для каждой термодинамической системы существует состояние термодинамического равновесия, которого она при фиксированных внешних условиях с течением времени самопроизвольно достигает. Это свойство специфично для ТД систем и является для них обязательным без исключений. Понятие ТД равновесия – это такое состояние, когда макроскопические параметры системы не изменяются с течением времени и когда отсутствуют потоки любого типа. В макроскопической теории нулевое начало – это обобщение повседневного опыта и наблюдений за ТД системами. Однако, с микроскопической точки зрения, это утверждение далеко не самоочевидно. Анри Пуанкаре в 1890 г было доказано, что механическое состояние, например, изолированной системы вовсе не переходит с течением времени в некое «устойчивое» состояние, принимаемое за равновесное, а воспроизводится с заранее обусловленной точностью

через конечный промежуток времени. Правда, этот промежуток времени для системы из моля вещества, по самым грубым оценкам, составляет 10^N , так что возраст Вселенной, по сравнению с этой величиной, только миг. Кроме того, фиксируемые посредством макроскопических приборов состояния уже не представляют собой чисто механических состояний. Тем не менее, эта проблема, связанная с теоремой возврата, имеет несомненный теоретический и принципиальный интерес.

I начало термодинамики – закон сохранения и превращения энергии в самом общем его виде, т.е. учитывающий любые другие формы движения материи. Этот закон утвердился в науке, став основой ее формирования, почти полтора столетия назад. Его признание началось с довольно частной проблемы определения механического эквивалента теплоты. Решение же проблемы в целом связано, в первую очередь, с работами Ю. Майера (1842 г.), Д. Джоуля (1843 г.), Г. Гельмгольца (1847 г.). Термин «энергия», вместо использовавшегося тогда «движущая сила», был введен в обиход физики В. Ренкиным с 1853 г., хотя само слово встречалось еще в III веке до н.э у Аристотеля.

Запишем простейшее соотношение, характеризующее первое начало термодинамики в естественной форме баланса энергии:

$$dE = \delta Q - \delta W, \quad (13)$$

т.е. бесконечно малое изменение энергии dE происходит за счет того, что система поглощает количество тепла δQ и совершает работу δW .

II начало термодинамики – закон возрастания энтропии. Другими словами, II начало устанавливает:

1) существование для любой равновесной (точнее, квазиравновесной, т.е. участвующей в квазистатическом процессе) термодинамической системы однозначной функции термодинамического состояния, называемой *энтропией*, такой, что ее полный дифференциал:

$$dS = (1/T) \delta Q. \quad (14)$$

То есть, в отличие от теплоты Q , энтропия является потенциальной функцией и описывает эволюцию термодинамической системы.

С математической точки зрения, изменение тепла δQ (которое не является полным дифференциалом) всегда имеет интегрирующий множитель, равный величине обратной температуре $-(1/T)$. С формальной точки зрения, дифференциальная форма δQ представляет собой так называемую пфаффову форму:

$$\delta Q = \mathbf{P}(x,y,z,\dots)dx + \mathbf{K}(x,y,z,\dots)dy + \mathbf{R}(x,y,z,\dots)dz + \dots \quad (15)$$

Известно, что если она определяется только двумя переменными, например, x и y , то интегрирующий множитель у нее существует всегда, и тогда в данном выше определении второго начала термодинамики нет аксиоматического утверждения. Однако для трех (и уж тем более при большем числе) переменных математическая ситуация меняется кардинально. Оказывается, что существование интегрирующего множителя возможно не при любых функциях \mathbf{P} , \mathbf{K} и \mathbf{R} , а лишь при выполнении определенных достаточно жестких накладываемых на них условий. Таким образом, приведенная формулировка второго начала постулирует существование интегрирующего множителя при любой структуре пфаффовой формы δQ . То есть это аксиоматическое положение в принципе; и тривиальные случаи одного или двух переменных ни в коей мере не являются оправданием (тем более доказательством) этого общего утверждения.

III начало термодинамики. В радикальной формулировке М. Планка (1910 г.) оно имеет вид начального граничного или предельного) условия:

$$\lim S = 0 \text{ При } T \rightarrow 0. \quad (16)$$

Остановимся теперь на втором начале термодинамики для неравновесных процессов и в изолированных термодинамических системах.

Термодинамика условно делится на равновесную и неравновесную (например, диффузия происходит в неравновесной системе). Неравновесная термодинамика, в свою очередь, делится

на линейную и нелинейную. Но об этом мы будем говорить позже. Рассмотрим вначале равновесную термодинамику, которая рассматривает квазистатические процессы, которые протекают бесконечно медленно и состоят из бесконечной последовательности равновесных состояний, предельно мало отличающихся друг от друга (ясно, что это идеализация, а не реальный процесс). Основное преимущество такой идеализации – обратимость процессов, ибо, согласно определению, каждое промежуточное состояние, являясь равновесным, совершенно безразлично к направлению течения процесса. Таким образом, время t как динамический параметр выпадает из теории и процесс становится как бы безинерционным.

Ко второму началу термодинамики относят также и утверждение, что для всякого неквазистатического процесса, происходящего в ТД системе:

$$dS > (1/T) \delta Q', \tag{17}$$

где $\delta Q'$ – количество поглощенного системой тепла при неквазистатическом процессе перехода из одного состояния в близлежащее другое, такое, что $dS = S_2 - S_1$. Это утверждение, сформулированное Клаузиусом в 1865 г., является по существу следствием эмпирических соображений – принципа максимальной работы и максимального поглощения тепла, обсуждение которых мы здесь опускаем. Эти вопросы рассматриваются в начале курса термодинамики (ТД) (И.А. Квасников. Термодинамика и статистическая физика. Теория равновесных систем. МГУ. 1991).

Второе начало ТД определяет не только направление течения реального процесса, но и позволяет исследовать целый ряд свойств равновесных состояний как экстремальных. Так появляется **невозможность самопроизвольного уменьшения энтропии в изолированной системе** (изолированная система не обменивается с окружающим пространством ни частицами, ни энергией, ни информацией). Действительно, в изолированной системе $\delta Q = \delta W = 0$, и неравновесные процессы проходят так, что:

$$dS > 0. \tag{18}$$

Это фактически и определяет направление неравновесного процесса, а равновесное состояние будет соответствовать максимальному значению энтропии.

Согласно этому закону, система сама стремится к состоянию с максимумом энтропии – состоянию глобального термодинамического равновесия. Это состояние, называемое **аттрактором**, характеризуется максимумом хаотичности (хаос – состояние материи, которое характеризуется максимальным беспорядком), а значит (если вспомнить наш разговор о симметрии в лекции 3, второй пример), максимальной симметрией, и является наиболее вероятным состоянием системы.

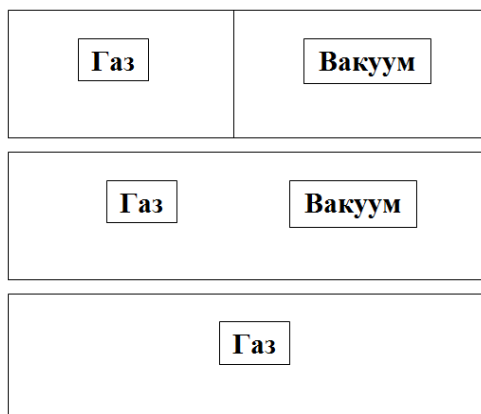


Рис. 7. Газ после убирания перегородки распространяется по всему объему

Это поясняется на рисунке, где газ после убирания перегородки распространяется по всему объему, и симметрия системы увеличивается.

Попытаемся посредством механической модели дать интерпретацию аттрактора. Представьте себе сосуд в виде конуса. Приведем его во вращение, и совершенно произвольно будем опускать на его внутреннюю поверхность шарики. Скатываясь по поверхности конуса, каждый

раз по различным траекториям, они в итоге оказываются на его дне (в глобальном устойчивом состоянии). Если теперь посмотреть сверху на возможные траектории, то они представляют собой систему спиралей, сходящихся в одной точке (дно конуса), это и есть модель аттрактора. На рис. 8 схематически представлена эволюция некоторой переменной величины, имеющей асимптотическую устойчивость, и фазовые траектории, сходящиеся в аттрактор. Таким образом, каковы бы ни были начальные условия, эволюция системы такова, что все пути ведут в аттрактор. Наверняка вы уже вспомнили античное изречение про аттрактор: «Все пути ведут в Рим». Да, именно Рим был своеобразным аттрактором античного мира.

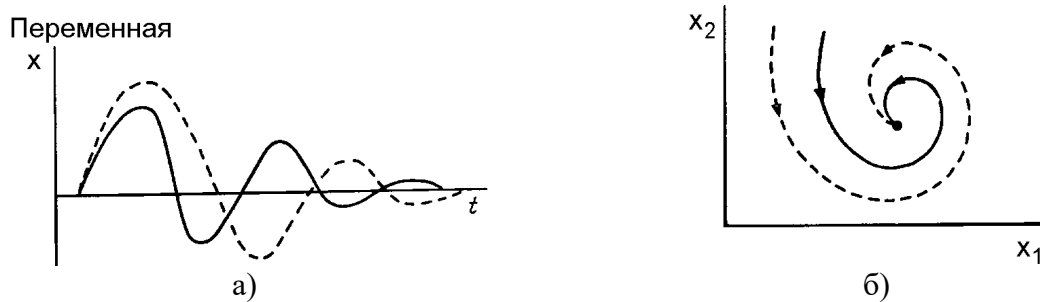


Рис. 8. Два представления об асимптотической устойчивости:

а) временная эволюция состояния; б) фазовые траектории, сходящиеся в аттрактор

Второе начало, в отличие от первого, не является всеобщим законом природы. Тем не менее, второе начало по своему положению занимает уникальное место среди других фундаментальных законов. Дело в том, что II начало говорит о необратимости, однонаправленности процессов в изолированной системе и тем самым обуславливает отличие будущих процессов от прошедших, выделяет направление времени (*стрела времени*); мерой необратимости является энтропия. Вероятностную интерпретацию энтропии впервые дал в 1877 г. Л. Больцман, используя идею определения наиболее вероятного, с термодинамической точки зрения, состояния системы материальных точек. В статистической физике равновесных систем существует формула, определяющая энтропию S (характеристика макросостояния) через статистический вес Γ (характеристика микросостояния):

$$S = k \ln \Gamma, \quad (19)$$

где $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/град – **константа Больцмана**.

Статистический вес Γ определяет полное число микроскопических реализаций данного макроскопического состояния. С точки зрения макроскопического подхода, равновесное состояние является как следствие нулевого начала единственным вне зависимости от того, каким из микроскопических способов из числа Γ оно реализуется. Поэтому все они представляются в этом отношении равноценными.

Таким образом, переход системы из неравновесного состояния в равновесное сопровождается ее переходом в наиболее вероятное состояние, соответствующее максимуму энтропии. Несмотря на то, что константа k не определяет элементарных физических процессов и не входит в основные принципы динамики, важным является следующее обстоятельство: **константа Больцмана устанавливает связь между микроскопическими динамическими явлениями и макроскопическими характеристиками состояния большого коллектива частиц**. Собственно говоря, эту константу впервые ввел М. Планк, как и формулу (16). Тем не менее, константа k носит имя Больцмана «по вполне понятной причине» (слова самого М. Планка). И причина эта в том, что Больцман впервые установил не только пропорциональность между S и $\ln \Gamma$, но и показал, что в итоговом состоянии с максимумом энтропии, т.е. в аттракторе, распределение вероятности частиц по скоростям для идеального классического газа имеет вид:

$$W(v) \sim \exp(-mv^2/2kT), \quad (20)$$

где m – масса частиц, T – температура. Формула (17) с математической точки зрения описывает так называемый нормальный закон распределения случайных величин – закон К. Гаусса $W(x) \sim \exp(-\alpha x^2)$, ее график приведен на рис. 9. Свойствами нормального распределения мы еще воспользуемся, когда будем обсуждать вопрос, связанный с дисперсией аддитивных и неаддитивных величин.

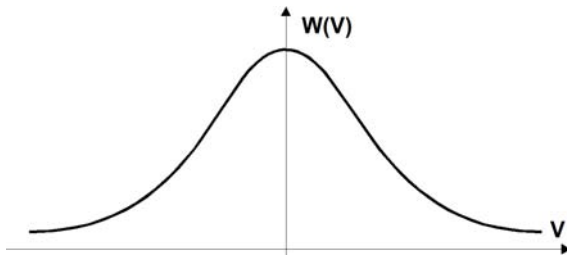


Рис. 9. График функции $W(v) \sim \exp(-mv^2/2kT)$

Из графика на рис. видно, что в состоянии аттрактора – глобального равновесия, в котором система оказалась в конце концов, вероятность встретить частицу с нулевой скоростью максимальна и равна единице, но (и это очень важно!) есть отличная от нуля вероятность встретить частицы и со скоростями, не равными нулю. В дальнейшем мы будем использовать это обстоятельство при обосновании одной из аксиом биологии. Таким образом, состояние максимума энтропии – не застывшее, а некоторым образом подвижное состояние хаоса.

Подведем итог. Состояние с максимумом энтропии наделено следующими свойствами: оно наиболее

- 1) вероятно;
- 2) симметрично;
- 3) устойчиво;
- 4) хаотично.

Интересно отметить, что как в древней китайской философии, так и в буддизме хаосу уделялось особое внимание.

Китайская философия. Хаос – Хунь-Тунь или Чи-ю переходит в Порядок – Хуан-Ди. Были и разрушители Порядка (космического или социального), например, некие злые духи Гун-Гун.

Буддизм. Существенной является периодичность развития миров. Время развития и существования каждого мира (а их больше, чем песчинок в Ганге) ограничено и распадается на несколько этапов. Эти этапы разделяются Хаосом. На каждом из этапов появляется Будда, восстанавливающий Порядок, и тогда может осуществиться (с его помощью) гармония людей с природой и друг с другом. Затем мир опять погружается в Хаос, до появления нового Будды.

Формулировка II начала принадлежит (в различных вариантах) ряду авторов: В. Томпсону (лорд Кельвину) – 1851 г., В. Оствальду – 1851 г., Р. Клаузиусу – 1850 и 1865 гг., К. Каратеодори – 1909 г. Однако значительно раньше ко многим интересным выводам пришел С. Карно. Для постижения «как делается наука» целесообразно узнать о феномене С. Карно. Этот материал можно прочитать в, пожалуй, самом интеллигентном вузовском учебнике «Термодинамика и статистическая физика. Теория равновесных систем», написанном И.А. Квасниковым, влияние которого на одного из авторов (Ю.П. Хапачев), учившего, будучи студентом, одноименный курс по его конспектам лекций, поистине огромно и неопределимо.

В науке, в отличие от искусства, все, что должно быть найдено, будет найдено. Научные результаты, как правило, дублируются в той или иной мере несколькими учеными. В этом смысле познание остановить нельзя. Другое дело гуманитарная культура: литература, живопись, музыка и т.д. Здесь каждый результат неповторим в принципе. «Барышню-крестьянку» мог написать только А.С. Пушкин, вальсы Ф. Шопена – только Ф. Шопен, «Войну и мир» – только Л.Н. Толстой. Страшно себе даже представить, что было бы, погибни А.С. Пушкин на одной из своих ранних дуэлей (а их, с его характером, было достаточно много), пролети ядро на четвертом бастионе чуть левее или правее, и не было бы поручика Л.Н. Толстого. Случись подобные трагедии преждевременно и с другими представителями искусства, у нас не было бы целого мира, на котором выросли и жили и живут многие поколения.

От малых причин бывают
великие последствия...

Козьма Прутков

10. НЕОБХОДИМЫЕ УСЛОВИЯ САМООРГАНИЗАЦИИ. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДИССИПАТИВНЫХ СТРУКТУР. УНИВЕРСАЛЬНЫЙ КРИТЕРИЙ ЭВОЛЮЦИИ ГЛЕНСДОРФА–ПРИГОЖИНА

До середины XX века спор между представителем науки, атеистом и представителем религии о «происхождении нового» был бы формально в пользу последнего. Ведь действительно, представитель религии мог констатировать, что в науке есть закон сохранения (Вишну), есть закон возрастания энтропии, т.е. закон смерти (Шива), но нет никакого закона, объясняющего, как может появиться что-то принципиально новое. Честный представитель науки должен был бы с этим согласиться. Но этого мало, вплоть до 70-х годов XX века можно было услышать достаточно «логичную» критику учения Ч. Дарвина. Подсчитывали, что если эволюция видов идет случайно, то на появление человека из простейших организмов просто не хватит времени, так как это больше, чем возраст нашей Земли. Вывод был однозначен – необходимо присутствие Творца, как при этом его называть, не столь уж важно. И, тем не менее, теологи в этом споре были не правы. Во второй половине XX века оформилось учение о возможности появления принципиально нового упорядоченного состояния из хаоса. И это новое спонтанное возникновение когерентных, *диссипативных* структур из исходного хаотического состояния названо *самоорганизацией*. Оказалось, что для этого должны выполняться **четыре основных необходимых условия: система должна быть открытой, нелинейной и находиться вдали от состояния равновесия, в системе должны быть обратные связи**. Чтобы разобраться в этом непростом вопросе, приведем вначале краткую историческую справку о некоторых основных «виновниках» этого глобального для нашего века учения.

Экспурс в историю открытых систем

XIX век. Теория временной эволюции газа в замкнутой системе (Л. Больцман). Теория устойчивости динамических систем (А. Пуанкаре и А.М. Ляпунов). Первый шаг в теории эволюции открытых биологических систем (Ч. Дарвин). Весьма характерно, что, несмотря на достижения в области термодинамики и электромагнетизма, Больцман считал XIX век веком Ч. Дарвина, настолько высоко он оценил принцип биологической эволюции. На чем же был основан такой вывод Л. Больцмана? Дело, видимо, в том, что Л. Больцман был одним из немногих в то время физиков, кто первым понял важность открытия Ч. Дарвина с позиций теории эволюции открытых неравновесных систем. Таким образом, уже на рубеже XX века стало ясно, что развитие теории неравновесных процессов в физических и биологических системах является одной из важнейших задач естествознания.

XX век. Первый шаг в теории неравновесных процессов был сделан А. Эйнштейном, М. Смолуховским и П. Ланжевеном – они создали теорию брауновского движения (английский ботаник Р. Браун впервые в 1827 г. наблюдал это явление). Причина брауновского движения – толчки со стороны молекул жидкости, т.е. это открытая система. (В отечественной литературе это движение часто неправильно называют броуновским).

Согласно кинетическому уравнению Л. Больцмана, средняя энергия частиц газа в процессе эволюции сохраняется. Это условие необходимо, чтобы в процессе эволюции к равновесному состоянию энтропия, а с ней и степень хаотичности, возрастали. Отсюда следует утверждение, известное как *H-теорема* Л. Больцмана, согласно которой энтропия в необратимых процессах не может убывать. Средняя же энергия брауновских частиц в процессе эволюции не сохраняется,

и *H*-теорема Л. Больцмана уже не справедлива. Заметим, что по уравнению Л. Больцмана сохраняется не точное значение энергии, а лишь ее среднее значение. Таким образом, возможны флуктуации энергии, т.е. система Л. Больцмана в принципе тоже открытая.

В XX веке колоссальный вклад в науку об открытых системах внесли также и математики, вначале упомянутые А.М. Ляпунов, А. Пуанкаре, а позднее А.А. Андронов, А.Н. Колмогоров и Н.С. Крылов. В 1957 г. появилась работа А.Н. Колмогорова об энтропии динамических систем, которую можно считать предтечей науки о самоорганизации. В последние годы работами ряда авторов Брюссельской школы и прежде всего нобелевского лауреата И.Р. Пригожина была развита термодинамика сильно неравновесных систем. Цель и задачи нашего курса не позволяют подробно комментировать ни результаты работ основоположников учения, ни перечислять всех ученых, сыгравших роль в его становлении.

Еще раз напомним, что открытые системы обмениваются с окружающими телами энергией, частицами и (или) информацией. В открытых системах возможно образование **диссипативных структур**. Сложность открытых систем предопределяет существование в них кооперативных (когерентных) движений большого числа частиц, отсюда термин – **синергетика**, введенный Г. Хакеном. Чтобы понять некоторые достаточно общие закономерности возникновения диссипативных структур в процессе самоорганизации, рассмотрим наиболее наглядный пример.

Ячейки Бенара. Представим себе слой жидкости между двумя горизонтальными параллельными плоскостями, линейные размеры которых значительно превосходят толщину слоя жидкости. Если жидкость изолирована, то на нее не действуют никакие внешние силы (кроме сил гравитации) и не происходит обмена частиц, то она произвольно долго пребывает в состоянии равновесия. Это состояние характеризуется полной макроскопической тождественностью различных частей жидкости вне зависимости от их расположения и расстояния между ними. Поэтому, если не принимать во внимание границы, то жидкость внутри нашего «аквариума» однородна и изотропна, а значит, состояние обладает максимумом симметрии. Если создать в такой системе разность температур между верхней (T_1) нижней (T_2) поверхностями путем непрерывного подвода тепла, то тем самым мы выведем систему из состояния равновесия. Пока разность температур $\Delta T = T_1 - T_2$ мала, в системе вследствие теплопроводности установится стационарное состояние, характеризуемое практически линейным изменением температуры, а с ней и плотности, и давления. Однако, как только разность температур превысит некоторое критическое значение $\Delta T > \Delta T_{кр}$, мы увидим, как скачком устанавливается принципиально новое состояние. В жидкости образовались ячейки, называемые ячейками Бенара (рис. 10). В каждой ячейке происходит конвекционное вращение жидкости, причем, если смотреть вдоль горизонтальной оси, то направление вращения жидкости в двух соседних ячейках последовательно чередуется: то по, то против часовой стрелки (рис. 10).

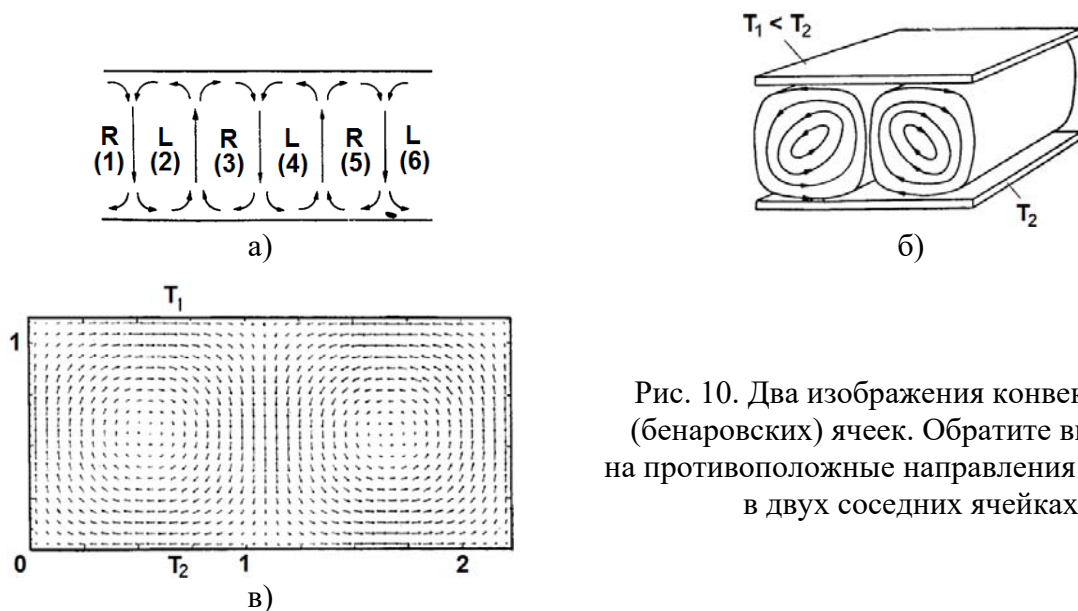


Рис. 10. Два изображения конвективных (бенаровских) ячеек. Обратите внимание на противоположные направления вращения в двух соседних ячейках

Таким образом, происходит качественный переход от бесструктурной однородной и изотропной системы к структурированной, т.е. упорядоченной, сопровождающийся нарушением (уменьшением) симметрии пространства (вспомните наш разговор о симметрии в лекции 3, пример 1). Важно, что этот переход не плавный, а осуществляется скачком, причем, при повторении подобного эксперимента принципиально невозможно предсказать направление вращения жидкости в ячейке. Подобная ситуация является существенной особенностью образования диссипативных структур. Иными словами, в процессе самоорганизации система может реагировать на внешнее ограничение различными способами. С точки зрения развитой математикой теории динамических систем, это означает, что при одних и тех же значениях управляющих системой параметров возможно несколько различных решений, их называют **бифуркационными**. Для иллюстрации рассмотрим простейшую механическую аналогию бифуркации.

На рис. 11 шарик катится по наклонному желобу с раздваивающимся профилем (ущелье, разделенное на два горой). Направление движения шарика после критической точки λ_c (место раздвоения желоба) предсказать заранее принципиально невозможно. После резкого перехода критического состояния (скачок из a в b_1 или в b_2) система менее симметрична. Таким образом, **общим свойством** всех **диссипативных структур является: понижение симметрии, бóльшая упорядоченность и резкое их (скачком) возникновение**. Эти свойства проявляются в явлениях самоорганизации и в других областях: химии, биологии, а также на социальном уровне.

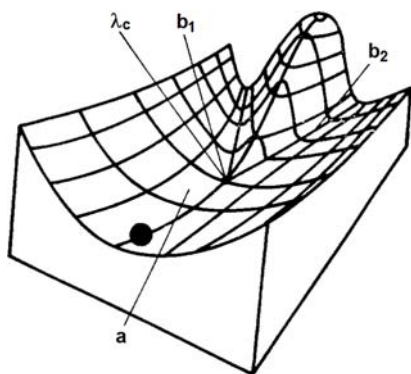


Рис. 11. Механическая иллюстрация бифуркации

Существуют три вида диссипативных структур: **пространственные** (ячейки Бенара, кольца Сатурна и т.д.), **временные** (автокаталитическая реакция Белоусова – Жаботинского) и **пространственно-временные**, возникающие в нелинейных химических реакциях, идущих в тонком слое, при наличии локальных флуктуаций концентрации и диффузии реагентов.

Природа самоорганизации определяется тем, что вдали от состояния равновесия из-за нелинейности система является неустойчивой (в смысле Ляпунова) и поэтому даже малые флуктуации могут привести к новому состоянию, для которого характерным является совокупное движение большого числа частиц. Общая теория процессов самоорганизации строится на основе **универсального принципа эволюции Гленсдорфа-Пригожина**, детальное обсуждение которого выходит за рамки нашего курса. Здесь же только отметим наиболее существенное. Несмотря на то, что величина скорости производства энтропии P не имеет какого-либо общего свойства, в нелинейных системах часть ее P_X , связанная с изменением термодинамических сил X , удовлетворяет неравенству общего характера:

$$\delta_X P / \delta t \leq 0. \quad (21)$$

Это неравенство ввиду большой его общности (не зависит ни от каких предположений о характере связи между силами и потоками в условиях локального равновесия) и называется универсальным принципом эволюции Гленсдорфа-Пригожина. Согласно этому принципу, в любой неравновесной нелинейной системе с фиксированными граничными условиями процессы развиваются в том направлении, при котором скорость изменения производства энтропии, обусловленная изменением термодинамических сил, уменьшается. Знак равенства относится к стационарному процессу.

Согласно Н.Н. Моисееву, можно дать его упрощенную формулировку (для «домохозяек»). **При прочих равных условиях в системе реализуются такие формы организации или поведения объектов, ее составляющих, при которых данная система поглощает извне минимальное количество энергии (для неживой природы) или использует энергию максимально экономно (для живой природы).** Заметим, что в ряде случаев принцип Моисеева дает неверные результаты, не совпадающие с принципом Глендсдорфа–Пригожина.

Детерминизм, неопределенность и самоорганизация динамических систем. В процессе борьбы Л. Больцмана с оппонентами он вынужден был прийти к заключению, что необратимость, следующая из второго начала термодинамики, несовместима с обратимыми законами динамики. Таким образом, «скрепя сердце», Л. Больцман сохранил верность динамике и заключил: «Эволюция системы, запрещаемая термодинамикой не невозможна, а всего лишь невероятна». А. Бергсон фактически «закрепил» неудачу Л. Больцмана, считая, что физика обречена на отрицание времени (точнее, стрелы времени), и лишь повторение одного и того же приводит к становлению.

Если для Л. Больцмана подобный результат являлся драмой, то для А. Бергсона он стал отправной точкой его философии для обновления метафизики. Несмотря на различные мотивы оба они сошлись в одном и том же. Как Л. Больцман, так и А. Бергсон были убеждены, что «приговор», вынесенный классической механикой, окончателен. С этого момента (а на самом деле гораздо ранее – со времен И. Ньютона) и фактически до середины XX века все вроде бы подтверждало правоту физика и философа. Ведь на самом деле и теория относительности, и квантовая теория также отрицали «стрелу времени». Все было бы так, но вмешалась математика, а вернее та ее часть, которая называется механикой динамических систем, или просто динамикой. Этому драматическому событию мы обязаны трудами многих ученых первой величины, и в первую очередь работам А.Н. Колмогорова, В.И. Арнольда, Ю. Мозера, Я.Г. Синая и др.

Свидетельством революционного изменения представлений о детерминизме механических систем является заявление президента Международного союза теоретической и прикладной механики сэра Д. Лайтхилла, сделанное с опозданием, только в 1986 г. Приведенный ниже отрывок взят из [5]: **«Здесь я должен остановиться и снова выступить от имени широкого всемирного братства тех, кто занимается математикой. Мы все глубоко сознаем сегодня, что энтузиазм наших предшественников по поводу великолепных достижений ньютоновской механики побудил их к обобщениям в этой области предсказуемости, в которые до 1960 г. мы все охотно верили, но которые, как мы теперь понимаем, были ложными. Нас не покидает коллективное желание признать свою вину за то, что мы вводили в заблуждение широкие круги образованных людей, распространяя идеи о детерминизме систем, удовлетворяющих законам движения Ньютона, – идеи, которые, как выяснилось после 1960 г., оказались неправильными».**

Сделанное признание вызвано экспоненциальным разбеганием траекторий сильно неустойчивых хаотических систем, описываемом положительными показателями Ляпунова. Однако, это еще не все, чем вызвано столь необычное признание. На одном из аспектов данной проблемы, связанных с самоорганизацией, мы сейчас и остановимся.

Основной проблемой в динамике является проблема интегрирования. Поскольку мы предполагаем уравнениями движения Ньютона или Гамильтона, то естественно, хотелось бы иметь явные аналитические выражения для переменных, т.е. координат или скоростей, как функций времени. В конце XIX века А. Пуанкаре показал, что не все динамические системы похожи друг на друга, как до него считалось. Оказывается, существуют системы двух типов: интегрируемые и неинтегрируемые. Для первых мы можем исключить взаимодействие и свести задачу к задаче о свободном движении. Для вторых – неинтегрируемых необходимо отказаться от описания в терминах траекторий (т.е. фактически детерминизма) и перейти к вероятностному описанию.

Посмотрим, как это получается в рамках гамильтоновой динамики, где центральной, основополагающей величиной является функция Гамильтона $H = E + U$, или гамильтониан, равный сумме кинетической E и потенциальной U энергий. Для консервативных систем, где гамильтониан H явно от времени не зависит [7], он выражается через обобщенные p_i импульсы и координаты r_i следующим образом:

$$H = E(p_1, \dots, p_N) + U(r_1, \dots, r_N). \quad (22)$$

Эта запись гамильтониана в так называемых канонических переменных, где кинетическая энергия зависит только от импульсов, а потенциальная только от координат частиц. Каноническое представление уравнений движения считается по праву апофеозом классической динамики, поскольку в этом представлении они выражаются через единственную величину – гамильтониан.

Чтобы понять, что такое интегрируемая система, мы используем самый простой пример, приводимый в каждом учебнике по теоретической механике. Это одномерный гармонический осциллятор. Для него гамильтониан имеет вид:

$$P = p^2/2m + kr^2/2, \quad (23)$$

где k – некая упругая постоянная, m – масса.

Для данной системы существует, оказывается, так называемое каноническое преобразование, при котором гамильтониан принимает вид:

$$H = \omega \cdot J, \quad (24)$$

где J – переменная действия, а ω определяется через угловую переменную α следующим образом: $\alpha = \omega t + \text{const}$. Таким образом, движение выражается теперь в терминах *циклических переменных* J и α .

Этот результат очень характерен. В новых переменных действие-угол, гамильтониан зависит только от нового импульса – переменной действия. В результате $dJ/dt = -\partial H/\partial \alpha = 0$. То есть переменная действия J является инвариантом движения. Аналогичный результат получается для свободной частицы, когда $dp/dt = -\partial H/\partial r = 0$. Как видим, в данном случае уравнения У. Гамильтона легко интегрируются, поскольку отсутствует потенциальная энергия.

Возможность исключить потенциальную энергию с помощью канонического преобразования к новым *циклическим переменным* – это и есть основная характеристика интегрируемых динамических систем в смысле А. Пуанкаре. Значит, для интегрируемых систем после преобразования гамильтониана в соответствующий вид отсутствует член с потенциальной энергией, т.е. фактически исключается взаимодействие между частицами.

До 1889 г. предполагалось (правда, молчаливо), что все динамические системы интегрируемые, а проблемы, связанные с задачей трех и более тел – чисто технические, вычислительные. Однако А. Пуанкаре в 1889 г. показал, что в общем случае невозможно получить каноническое преобразование, сохраняющее вид гамильтоновых уравнений, которое приводило бы к *циклическим переменным* причем, большинство систем как раз неинтегрируемые.

В чем же смысл столь сильного математического утверждения? Что было бы если бы А. Пуанкаре доказал интегрируемость всех динамических систем?

Это означало бы, что все без исключения динамические системы с любым числом частиц по-существу изоморфны движению свободных, не взаимодействующих никак друг с другом частиц. Это означало бы, что эти частицы никогда не могут выступать как коллектив, то есть когерентно! А это значит, что **не может быть самоорганизации в принципе! Не может, значит, в интегрируемом мире возникнуть и жизнь!**

Однако этого мало. А. Пуанкаре не только доказал неинтегрируемость, но и указал причину неинтегрируемости систем. Это существование резонансов между степенями свободы и возникновение проблемы так называемых «малых знаменателей».

Надо сказать, что эта проблема была известна в астрономии и до А. Пуанкаре. Но именно его теорема показала, что основная трудность, связанная с расходимостью (малые знаменатели стремятся к нулю, а обратная им величина стремиться к бесконечности) в решении задач динамики не может быть устранена и делает невозможным введение циклических переменных для большинства динамических систем, начиная с системы трех тел.

Вот как эту проблему в свое время оценивал М. Борн: «Было бы весьма странно, если бы Природа укрылась от дальнейшего прогресса познания за аналитическими трудностями проблемы многих тел».

С появлением работ А.Н. Колмогорова, продолженных В.И. Арнольдом и Ю. Мозером и появлением КАМ теории (Колмогорова – Арнольда – Мозера), проблема неинтегрируемости и малых знаменателей стала рассматриваться как отправная точка нового развития динамики, и в том числе динамики как когерентных движений, так и хаотических.

КАМ теория рассматривает влияние резонансов на траектории. В разных точках фазового пространства динамической системы существуют резонансы, в других их нет. Резонансы соответствуют рациональным соотношениям между частотами. Поскольку (это классический результат теории чисел) мера рациональных чисел по сравнению с мерой иррациональных чисел равна нулю, то резонансы встречаются крайне редко, большинство точек в фазовом пространстве нерезонансные. Резонансы приводят к периодическим движениям, отсутствие резонансов – к квазипериодическому движению. Следовательно, периодические движения, как правило, исключение из общего случая движений более сложного вида.

Основной результат КАМ теории состоит в том, что существует два принципиально различных типа траекторий. Первые – слегка изменившиеся квазипериодические траектории. Вторые – стохастические траектории, возникающие при разрушении резонансов. КАМ теория не приводит к динамической теории хаоса, но она показывает, что при малых значениях некоторого параметра получается промежуточный режим, в котором сосуществуют траектории двух типов – регулярные и стохастические.

Если теперь обратиться к И.Р. Пригожину, то, как уже было отмечено ранее, из хаотического состояния возможно появление регулярной структуры, то есть возникает самоорганизация.

Остановимся еще на одной важной проблеме. Хорошо известно, что в области естественных наук наиболее фундаментальные открытия совершаются неожиданно. В начале нашего курса мы уже обсуждали, что в ряде случаев происходит научный поиск некоего «А», а в результате находят совершенно неожиданное – «В». Чем неожиданней это «В», тем более значим новый результат. В области математических открытий все обстоит аналогичным образом. В качестве примера приведем с некоторыми купюрами отрывок из статьи В.И. Арнольда, посвященной А.Н. Колмогорову.

«Андрей Николаевич заметил, что в «интегрируемых» задачах надлежащим образом определение фазы на торе меняется со временем равномерно. Он же поставил себе вопрос: так ли это, если система на торе не интегрируема, а лишь имеет интегральный инвариант? Этот вопрос он решил в работе 1953 г. о системах на торе – первой, где появляются малые знаменатели. Вывод А.Н. таков: почти всегда можно ввести равномерно меняющиеся со временем фазы, но иногда возможно перемешивание.

Замечание о перемешивании, относящееся к патологическому случаю, не кажется особенно важным. Но именно оно-то («благодаря») и стало источником знаменитой работы А.Н. Колмогорова о малых знаменателях, опубликованной в 1954 г., где доказано сохранение инвариантных торов при малом изменении функции Гамильтона.

Рассуждения А.Н. Колмогорова, упомянутые им в докладе на Международном математическом конгрессе в Амстердаме в 1954 г., состояли в следующем. В интегрируемых системах движение по инвариантным торам всегда условно-периодично. Следовательно, перемешивание в интегрируемых системах не встречается (*а значит, не может быть никакой самоорганизации*). Чтобы узнать, имеет ли открытое им явление механические приложения, А.Н. Колмогоров решил отыскать движение по торам в неинтегрируемых системах, где в принципе перемешивание могло бы наблюдаться. Естественно начать с теории возмущений, рассмотрев систему, близкую к интегрируемой. Различные варианты теории возмущений многократно обсуждались в небесной механике, а потом в ранней квантовой механике. Но все эти теории возмущений приводят к расходящимся рядам. А.Н. Колмогоров понял, что расходимость можно преодолеть, если вместо разложений по степеням малого параметра использовать метод Ньютона в функциональном пространстве. Таким образом, «метод ускоренной сходимости» А.Н. Колмогорова был придуман вовсе не ради (*но «вопреки»*) тех замечательных приложений в классических проблемах механики, к которым он приводит, а ради исследования возможности реализации специальной теоретико-множественной патологии в системах на двумерном торе.

Поставленную им себе задачу о реализации перемешивания на слабо возмущенных инвариантных торах А.Н. Колмогоров при этом не решил («А» не найдено), так как на найденных им торах его метод автоматически строит равномерно меняющиеся при движении фазовой точки угловые координаты. Вопрос о перемешивании, из которого выросла вся работа ученого, остается нерешенным и сегодня. Значение этого технического вопроса (поиск «А») по сравнению с полученными результатами (найденно неизвестное «В») ничтожно. Сейчас о нем уже никто и не вспоминает, но новая математика возникла при уточнении мелких технических деталей предшествующих работ. Уже из этого ясно, что планирование фундаментальных исследований – бюрократическая бессмыслица, а зачастую – просто обман».

Н.В. Устойчивость перевёрнутого маятника, швейная машинка Капицы и бритва «Нева» Арнольда.

Приведённая задача возникла в теории ускорителей. Один из проектов основывался на устойчивости перевёрнутого маятника с вертикально колеблющейся точкой подвеса (вопрос об устойчивости кругового движения ускоряемых частиц сводился к такому же уравнению).

П.Л. Капица предложил прежде чем тратить миллионы на строительство ускорителя, экспериментально проверить вывод о маятнике. Он переделал электрическую швейную машинку так, что её вращение доставляло вертикальные колебания точки подвеса маятника. Маятник устойчиво стоял вверх ногами, а при небольшом отклонении в сторону начинал качаться вокруг этого вертикального положения, как качается обычный маятник около своего нижнего положения равновесия.

Когда П.Л. Капица был председателем оргкомитета физической олимпиады школьников, а В.И. Арнольд – математической, причём оба оргкомитета заседали (в Институте физпроблем) совместно, П.Л. показал членам этих оргкомитетов свою швейную машинку с маятником, сохранившуюся в соседнем кабинете как реликвия.

Не имея электрической швейной машинки, В.И. Арнольд приспособил для создания вертикальных колебаний точки подвеса маятника электробритву «Нева» (вибрационного типа). Верхнее положение равновесия оказалось неустойчивым, так как длина маятника $l = 20$ см была слишком велика. Пришлось проделать (линеаризованные) вычисления. После уменьшения длины маятника до 10 см его колебания (около верхнего положения равновесия) стали устойчивыми, и тогда В.И. Арнольд доказал эту устойчивость при помощи теории КАМ (уже с 1961 г располагавшей нужной общей теоремой об устойчивости эллиптических неподвижных точек, обосновывающей возможность судить об устойчивости нелинейной системы по её линеаризации).

Видеозапись работы той самой электробритвы есть на сайте «Математические этюды» (<http://etudes.ru>). Ускорители были к тому времени уже построены, так как физиков удовлетворила экспериментальная проверка устойчивости в опытах Капицы со швейной машинкой (несмотря на то, что они не располагали ещё математической теорией КАМ, строго доказывающей эту нетривиальную нелинейную устойчивость).

Видео – Маятник Арнольда на бритве «Нева»

Вставка. Язык сложного.

Пусть точка подвеса маятника совершает колебания в вертикальном направлении, $z = a \cos(\Omega t)$. Если частота Ω этих колебаний достаточно велика, то перевёрнутый вверх ногами маятник (на рисунке $\varphi = 0$) будет устойчиво стоять вверх ногами.



1. Флуктуации. Аддитивные и неаддитивные величины

Состояние реальных систем никогда не остается постоянным, так как они контактируют со сложным и даже непредсказуемым окружением. Это окружение непрерывно или порциями передает системе небольшие количества вещества, импульса или энергии, что и делает невозможным контроль, по крайней мере, ряда параметров состояния со сколь угодно высокой степенью точности. Отсюда в экспериментальных исследованиях появились выражения «экспериментальная погрешность», или «доверительный интервал».

Это вмешательство внешней среды во внутреннюю динамику системы выражается в несовпадении мгновенного состояния системы $X(t)$ со стационарным X , т.е.:

$$X(t) = X + x(t),$$

где величина $x(t)$ называется возмущением.

Рассмотрим иную точку зрения на проблему возмущений. Термодинамика рассматривает макроскопические системы, состоящие из огромного числа взаимодействующих между собой микробъектов. Это означает, что микроскопическое описание таких систем возможно только в статистическом смысле. Отсюда следует, что переменные (параметры), с которыми мы имеем дело в термодинамике, представляют собой либо средние значения по мгновенным состояниям на достаточно большом промежутке времени (средние по времени), либо наиболее вероятные значения, которые могут приниматься этими переменными (средние по ансамблю). Поэтому, если бы мы могли мгновенно измерить параметры состояния системы, то полученные значения, вообще говоря, отличались бы от средних. Эти отклонения являются неотъемлемой сущностью макроскопической системы, генерируются ею постоянно и называются флуктуациями. Написанная выше формула справедлива и в данном случае, однако при этом нужно понимать, что возмущение $x(t)$ теперь обусловлено внутренней динамикой системы.

Таким образом, мы понимаем под флуктуациями случайные, нерегулярные, самопроизвольные отклонения значений макроскопических характеристик системы от их средних значений. Сами же флуктуации обязаны микроскопическому движению частиц статистической системы.

Для характеристики отклонения величины f от ее среднего значения $\langle f \rangle$ используются два параметра:

1. Дисперсия (среднеквадратичное отклонение f от равновесного среднего $\langle f \rangle$):

$$\langle (\Delta f)^2 \rangle = \langle (f - \langle f \rangle)^2 \rangle = \langle f^2 \rangle - \langle f \rangle^2 = 1/\lambda. \quad (24)$$

2. Относительная (безразмерная) флуктуация:

$$\delta_f = (\langle f^2 \rangle - \langle f \rangle^2)^{1/2} / \langle f \rangle. \quad (25)$$

Статистическая система, находящаяся в равновесии, описывается некоторым законом распределения случайных величин. Наиболее часто в физических системах (но и не только в них) реализуется так называемый нормальный закон распределения (закон Гаусса). Причина этого состоит в следующем. Оказывается, что если значения, которые принимает случайная величина, зависят от большого числа различных факторов M , каждый из которых в отдельности мало влияет на эту величину, а ее существенное изменение возможно, когда одновременно меняется большое число параметров $K \leq M$, то рассматриваемая величина подчиняется нормальному закону распределения. Это утверждение представляет собой частный случай центральной предельной теоремы А.М. Ляпунова, доказываемой в теории вероятностей.

Итак, если вероятность обнаружить систему в интервале $(\xi, \xi + d\xi)$ задается распределением Гаусса:

$$W(\xi)d\xi = (\lambda/2\pi)^{1/2} \exp(-\lambda\xi^2/2)d\xi, \quad (26)$$

то дисперсия вероятности ξ :

$$\langle (\Delta \xi)^2 \rangle = (\lambda/2\pi)^{1/2} \int \exp(-\lambda\xi^2/2)d\xi. \quad (27)$$

Таким образом, вероятность $W(\xi)$ можно записать через дисперсию в виде:

$$W(\xi) \sim \exp(-\xi^2/2\langle (\Delta \xi)^2 \rangle). \quad (28)$$

Внутренние параметры ТД системы разделяют на аддитивные (экстенсивные) и неаддитивные (интенсивные). Параметры, зависящие от числа частиц в системе N (энергия, энтропия, объем...), естественно, аддитивные. Параметры, не зависящие от числа частиц в системе (давление, температура...), естественно, неаддитивные. Можно показать, что для гауссового распределения для **аддитивной** величины ξ дисперсия:

$$\langle (\Delta\xi)^2 \rangle \sim N, \text{ а относительная флуктуация } \delta_\xi \sim 1/\sqrt{N}. \quad (29)$$

Для **неаддитивной**

$$\langle (\Delta\xi)^2 \rangle \sim 1/N, \text{ а относительная флуктуация } \Delta\xi \sim 1/\sqrt{N}. \quad (30)$$

Система может отклоняться от своего стандартного состояния X четырьмя различными способами.

1. Отклонение от стандартного состояния остается ограниченным на любом промежутке времени. В математике этот случай соответствует устойчивости по Ляпунову и, если ввести понятие **фазового пространства (пространства состояний)** системы, то устойчивое состояние по Ляпунову будет соответствовать орбитальной устойчивости в фазовом пространстве.

2. Состояние системы стремится к стандартному состоянию по мере стремления времени к бесконечности. Это асимптотическая устойчивость. В терминах фазового пространства этому случаю соответствует асимптотическая орбитальная устойчивость. Такое состояние обязательно подразумевает необратимость, т.е. оно не применимо к консервативным системам. Диссипативные системы устойчивы к возмущениям, действующим на них, что обеспечивает воспроизводимость режима, называемого аттрактором, о котором мы говорили выше.

3. Состояние системы не остается в окрестности стандартного состояния. Про это состояние говорят, что оно неустойчиво. В фазовом пространстве такому состоянию соответствует случай орбитальной неустойчивости. Неустойчивые состояния могут быть как в консервативных, так и в диссипативных системах.

4. Состояние системы остается в некоторой окрестности стандартного состояния, если возмущение не превышает некоторой величины. Это состояние называется локально устойчивым. Однако глобальной устойчивости системы, соответствующей глобальному аттрактору в фазовом пространстве, в этом случае нет.

2. Фракталы, или странные аттракторы

Помимо упомянутых выше способов реагирования системы на внешние возмущения существует еще одна возможность, приводящая к принципиально иному характеру поведения системы – переходу к хаосу. Обычный аттрактор (неподвижные точки или предельные циклы), представляющий собой некоторое множество точек в фазовом пространстве, отражает стремление системы к упорядоченному, предсказуемому движению. Существенно, что при этом размерность аттрактора обязательно меньше размерности фазового пространства, поскольку это множество остается неизменным в процессе движения. Обычные аттракторы в 3-мерном фазовом пространстве имеют размерность ноль (неподвижная точка, единица (линия), двойку (поверхность)). В математике известны, однако, объекты с размерностями, промежуточными между точкой и линией, между линией и поверхностью, между поверхностью и объемом. Такие множества названы множествами **Мандельброта, или фракталами**.

Приведем наиболее простой из таких примеров фрактала – так называемое множество **Кантора**. Рассмотрим отрезок $[0, 1]$ на числовой оси. Разобьем этот отрезок на три равные части и выбросим среднюю. После этого оставшиеся отрезки вновь разделим на три равные части и выбросим среднюю. Неограниченно продолжим эту процедуру. Длина всех выброшенных частей составляет бесконечную геометрическую прогрессию со знаменателем $2/3$, а начальный элемент имеет длину $1/3$. В итоге длина всех выброшенных частей равна 1. Однако в исходном отрезке сохранилось бесконечно много точек, например, $0, 1, 1/4$ и т.д. Но это множество точек не имеет собственной длины, но имеет топологическую размерность 0, и является нигде не плотным совершенным множеством, но оно континуально. Однако размерность такого множества не равна нулю.

Для того, чтобы найти размерность этого множества, обратимся к соотношению, определяющему размерность d всех известных «топологических» многообразий:

$$d = \lim (\ln N_\varepsilon) / \ln(1/\varepsilon) \text{ при } \varepsilon \rightarrow 0, \quad (31)$$

где ε – длина отрезка, составляющая минимальный «объем» множества, а N_ε – минимальное число элементарных объемов, необходимое для полного покрытия данного множества.

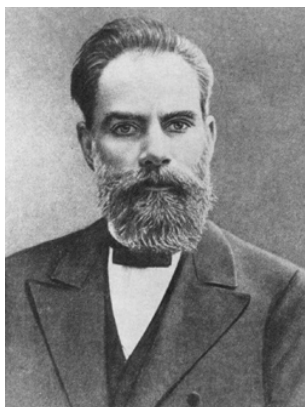
Поясним работу этой формулы примером. Для того чтобы закрыть квадрат со стороной 1, нужно $(1/\varepsilon)^2$ квадратов со стороной ε . Таким образом, имеем $d = [\ln(1/\varepsilon)^2 / \ln(1/\varepsilon)] = 2$, что собственно заранее и предполагалось.

В случае множества Кантора имеем:

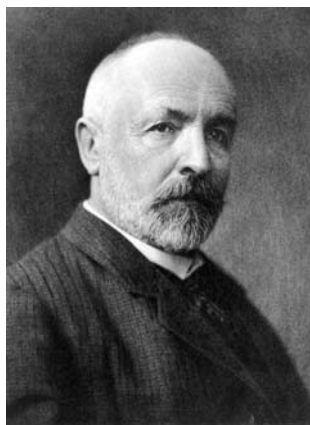
$$d = \ln 2^n / \ln 3^n = \ln 2 / \ln 3 \approx 0,63, \quad (32)$$

то есть множество Кантора имеет промежуточную размерность между точкой ($d = 0$) и линией ($d = 1$).

Подобного рода множества – фракталы, или **странные аттракторы**, реализуют хаотическое поведение системы, когда в ее поведении отсутствует всякого рода детерминизм и упорядоченность, и можно говорить о вероятностном описании.



Алекса́ндр Миха́йлович Ляпуно́в (25 мая (6 июня) 1857, Ярославль – 3 ноября 1918, Одесса) – русский математик и механик, академик Петербургской Академии наук с 1901 года, член-корреспондент Парижской академии наук, член Национальной академии деи Линчеи (Италия) и ряда других академий наук и научных обществ.



Геор́г Ка́нтор (нем. Georg Ferdinand Ludwig Philipp Cantor, 3 марта 1845, Санкт-Петербург – 6 января 1918, Галле (Заале)) – немецкий математик. Он наиболее известен как создатель теории множеств, ставшей краеугольным камнем в математике. Кантор ввёл понятие взаимно-однозначного соответствия между элементами множеств, дал определения бесконечного и вполне упорядоченного множеств и доказал, что действительных чисел «больше», чем натуральных. Теорема Кантора фактически утверждает существование «бесконечности бесконечностей». Он определил понятия кардинальных и порядковых чисел и их арифметику. Его работа представляет большой философский интерес, о чём и сам Кантор прекрасно знал.



Бену́а Мандельбро́т (фр. Benoît B. Mandelbrot; 20 ноября 1924, Варшава – 14 октября 2010, Кембридж) – французский и американский математик, создатель фрактальной геометрии. Лауреат премии Вольфа по физике (1993). В 1975 году Мандельброт опубликовал свою работу «Какова длина побережья Великобритании?» – первое исследование фракталов. Понятие «фрактал» придумал сам Бенуа Мандельброт (от лат. fractus, означающего «сломаный, разбитый»). Используя находящиеся в его распоряжении компьютеры IBM, Мандельброт создал графические изображения, сформированные на основе множества Мандельброта. По словам математика, он не чувствовал себя изобретателем, несмотря на то, что никто до него не создавал ничего подобного.

«Удивительная способность организма концентрировать на себе «поток порядка», избегая таким образом перехода к атомному хаосу, – способность «пить упорядоченность» из подходящей среды, по-видимому, связана с присутствием «апериодических твердых тел» – хромосомных молекул. Последние, без сомнения, представляют наивысшую степень упорядоченности среди известных нам ассоциаций атомов (более высокую, чем у обычных периодических кристаллов)».

Э. Шредингер

«Что такое жизнь с точки зрения физики?»

11. КРИТЕРИЙ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ УПОРЯДОЧЕННОСТИ ЖИВЫХ СИСТЕМ. ЭВОЛЮЦИЯ И ДЕГРАДАЦИЯ. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПЕРЕСТРОЕК

Поскольку мы выяснили основные закономерности самоорганизации в открытых системах, представляет интерес сразу же рассмотреть их особенности для живых организмов, имея в виду их эволюцию. Дадим вначале предельно общее определение этого понятия. Под эволюцией будем понимать процесс изменения, развития в природе и обществе. В физических замкнутых (изолированных) системах, как мы уже обсуждали, эволюция приводит к равновесному состоянию с максимумом энтропии и максимальной степенью хаотичности («смерть»). В открытых системах можно выделить два класса эволюционных процессов.

1. Временная эволюция к неравновесному стационарному состоянию.

2. Процесс эволюции через последовательность неравновесных стационарных состояний, что происходит благодаря изменению *управляющих параметров*.

В принципе мы должны понимать, что *самоорганизация* и *деградация* – *два возможных варианта эволюции*, и чтобы их различать, необходимо ввести новый термин – *«норма хаотичности»*. Отклонение от нее («нормы») в ту или иную сторону, пользуясь медицинским языком, можно трактовать как «болезнь», т.е. деградацию, а значит, восстановление к исходному состоянию – это «лечение», т.е. самоорганизация.

Функционирование организма возможно лишь при некоторой норме хаотичности, которая отвечает существенно неравновесному состоянию, но точки отсчета от равновесного состояния (как, например, в простой физической системе) здесь не существует. Поэтому в биологии, экономике и социологии объективная информация об изменении степени хаотичности еще недостаточна, чтобы делать вывод о наличии процесса самоорганизации или деградации. Здесь и уместно пользоваться терминами «норма хаотичности» и «лечение».

Интересно отметить, что первые сведения об обсуждении эволюционных процессов можно найти еще у Платона. С тех пор, в той или иной мере эта проблема поднималась различными учеными. По нашим современным представлениям, для ее понимания требуется знать еще ряд терминов.

«Динамический хаос» – это состояние, которое означает, что в системе отсутствуют источники флуктуаций, источники беспорядка. В этом его отличие от *«физического хаоса»*.

Существуют два класса нелинейных систем – *динамические* и *стохастические* (статистические). В основе классификации лежит свойство *воспроизводимости* движения по заданным начальным условиям. В динамических системах реализуются воспроизводимые движения, а в стохастических – невозможные (диссипативные). Тем не менее, даже если нет случайных источников, и процесс формально воспроизводим, т.е. движение динамическое, оно может быть столь сложным, что результат оказывается фактически *непредска-*

зумы. Особенностью динамического хаоса является динамическая неустойчивость движения, которая выражается в сильной (экспоненциальной) расходимости близких в начальный момент траекторий. Даже в сравнительно простых динамических системах существуют чрезвычайно сложные движения, которые воспринимаются как хаотические (из-за невозможности предсказания результата). Математическое описание подобного сложного состояния приводит к понятию «**странный аттрактор**».

Динамическая неустойчивость может играть в открытых системах важную **конструктивную роль**. Приведем примеры, взятые нами с небольшими изменениями из статьи Ю.Л. Климонтовича.

Начнем с иллюстративного примера из социологии. Пусть некая международная конференция подошла к концу. Это начальное состояние для ее участников. Рассмотрим два возможных варианта их движения.

1. Участники и после ее окончания перемещаются вместе, не удаляясь друг от друга на значительное расстояние. Например, общий поезд из Кембриджа, где проходила конференция, в Лондон.

2. Участники разъезжаются порознь, кто куда – «экспоненциально разбегаясь». Иными словами, движение становится «динамически неустойчивым».

Возникает вопрос. Какой из этих двух вариантов движения способствует в большей мере использованию полученной на конференции новой информации? Первый вариант полезен в определенной мере, так как позволяет продолжить дальнейшее обсуждение вопросов конференции. Но, ясно, что именно второй вариант, когда имеет место «перемешивание траекторий» в большей мере способствует прогрессу науки. В этом случае участники быстрее передают информацию в различные места и разным слушателям. Этот пример демонстрирует, что динамическая неустойчивость и перемешивание могут и не привести к хаосу, а играть позитивную конструктивную роль.

Примеры из медицины приведем лишь в виде констатации результатов. Рассмотрим отклик живого организма на стресс. У **женских** (в основном) особей степень хаотичности **увеличилась** (степень порядка уменьшилась), у **мужских** (в основном) особей степень хаотичности **уменьшилась** (т.е. произошла некоторая упорядоченность). Возврат в исходное состояние, к «норме хаотичности», подразумевает «лечение». Для женщин это лечение сопровождается уменьшением хаотичности (т.е. имеет место процесс самоорганизации), а у мужчин – возрастанием хаотичности (т.е. фактически происходит деградация). Таким образом, оказывается, что для живого организма смысл понятий самоорганизация и деградация не имеет однозначной связи, соответственно, с увеличением (при самоорганизации) или, напротив, уменьшением (при деградации) степени упорядоченности.

Оказывается, что всего существует три типа «больных». Первый тип (мужской) – уменьшение степени хаотичности (избыточная упорядоченность), второй тип (женский) – не слишком большое увеличение степени хаотичности. Третий тип (суперженский) – значительное увеличение степени хаотичности. Вспомните, многие женщины от стресса впадают в истерику, для мужчин это крайне редко.

«Мягкие» и «жесткие» математические модели

Этот раздел является упрощенной и краткой «выжимкой» из брошюры, изданной к Всероссийской конференции «Математики и общество. Математическое образование на рубеже веков» (Дубна, 18–22 сентября 2000 г.), представляет собой текст доклада, прочитанного академиком В.И. Арнольдом в 1997 г. на семинаре при Президентском совете РФ. В докладе рассказано о применениях теории дифференциальных уравнений в таких науках, как экология, экономика и социология.

Примером жесткой модели является таблица умножения. Простейший пример мягкой модели – принцип «чем дальше в лес, тем больше дров». Возможность полезной математической теории мягких моделей открыта относительно недавно. Далее на простейших примерах будет показано, как эта теория может применяться в экономических, экологических и социологических моделях.

1. Математические модели перестройки

Перейдем теперь к еще одному очень важному разделу, формирующему в определенном смысле «нелинейное» мышление, так необходимое исследователям (да и не только им) в наше время. Примерно с 1970 г. в печати появились сведения о создании новой области математики, сопоставимой (как считали сами авторы) лишь изобретениям Ньютона, дифференциального и интегрального исчисления. Подобные прогнозы, конечно, оказались слишком преувеличены. Эта новая математика, названная теорией катастроф, возникла как симбиоз двух различных разделов математики: теории гладких отображений Х. Уитни и теории бифуркаций динамических систем А. Пуанкаре и А.А. Андронова. Под термином «катастрофы» понимают скачкообразные изменения, возникающие в виде внезапного отклика системы на плавное изменение внешних условий. В теории катастроф численно решаются различные задачи: от эмбриологии до экономики, и от геометрической и физической оптики до геологии. Существенно, что поскольку решения всегда численные, то нельзя сформулировать какие-либо общие закономерности катастроф. Однако частным случаем теории катастроф является теория перестроек, которая была создана задолго до нашей перестройки 1985 г. Вот в этой-то науке оказывается возможным сделать ряд важнейших качественных выводов, одинаковых для любой нелинейной системы.

Считается, что система находится в устойчивом состоянии, условно признанном «плохим», так как в пределах «видимости» существует более предпочтительное, «лучшее» состояние. Рассмотрим вначале ситуацию перестройки с точки зрения «домохозяйки». Как вы увидите, это не такой уж и плохой уровень.

Предположим, что наша домохозяйка решила сделать уборку квартиры. Ей кажется, что состояние квартиры плохое (ясно, что это достаточно условное понятие, другой бы еще и месяц не убирал). Итак, уборка начинается, все двигается, что-то переворачивается, короче, по сравнению с первоначальным плохим состоянием, оно вначале еще сильнее ухудшается, но постепенно пыль вытерта, полы вымыты, все расставлено на свои места, и состояние стало лучше, чем было до уборки. Через некоторое время наша домохозяйка решила переклеить в комнате обои. Ну не нравятся ей старые и все тут. Что происходит при этом? Старые отрываются, везде пыль, беспорядок, т.е. состояние ухудшилось гораздо сильнее, чем при обычной уборке. Но, в конце концов, обои переклеены и, естественно, состояние гораздо лучше, чем было после обычной уборки. Что же общего в этих примерах? Любая домохозяйка понимает эти два очевидных результата. Во-первых, если хочешь путем «перестройки» улучшить состояние, то с неизбежностью сначала должен попасть в худшее состояние. Во-вторых, степень ожидаемого улучшения состояния сопоставима с предварительным ухудшением. Ну вот, пожалуй, и все, что может предсказать разумная домохозяйка о закономерностях перестроек. Чтобы узнать эти закономерности подробнее, надо уже обратиться к науке.

Рассмотрим ситуацию, когда под «плохим» состоянием мы понимаем либо «административную систему», либо «болезнь человека», а под «хорошим» состоянием – соответственно «рыночную экономику» и «состояние здоровья в норме».

И государство, и человек – типичные нелинейные системы с обратными связями. Это существенно, ибо *управление без обратных связей всегда приводит систему к катастрофе*. Под обратными связями в общем случае понимается следующее. Пусть есть какая-либо система, имеющая вход и выход. На выходе системы есть сигнал (совершенно неважно как он возник). Если есть устройство, которое сигнал с выхода системы передает на вход, то это устройство и есть обратная связь. Если сигнал обратной связью передается в том же виде, каким он был на выходе, то это положительная обратная связь; если обратная связь переворачивает сигнал – это отрицательная обратная связь. В ряде случаев достаточно уничтожить лишь одну обратную связь, и система устремляется к катастрофе. Человек, как государство – это достаточно сложные системы с переменными обратными связями.

Вернемся к нашей ситуации. На рис. 12 по оси Y отложены – для государства «благополучие граждан», для человека «состояние здоровья», а по оси X , соответственно, «предприимчивость граждан» и «самоподдерживающиеся колебания СФРЕ». Здесь мы не имеем возможности конкретизировать, что такое структурно-функциональные рабочие единицы (СФРЕ). Можно посмотреть их определение в части IV нашей книги «Концепции современного естествознания». На графике пунктиром изображена линия катастрофы (смерти для человека).

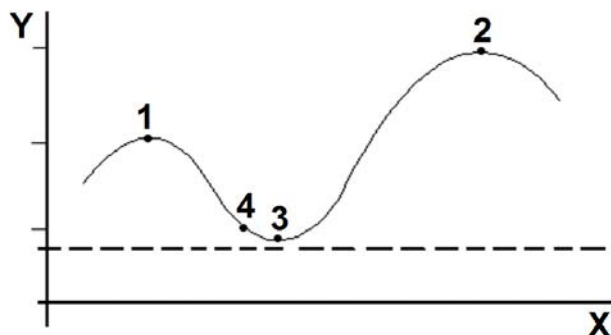


Рис. 12. Перестройка системы.
Точки: 1 – начальное плохое состояние;
2 – хорошее состояние; 3 – самое плохое состояние; 4 – максимум сопротивления

Итак, закономерности следующие. Цитируем по книге В.И. Арнольда «Теория катастроф».

1. Постепенное движение в сторону лучшего состояния сначала приводит к ухудшению. Скорость ухудшения при равномерном движении к лучшему состоянию увеличивается.

2. По мере движения от худшего состояния к лучшему сопротивление системы изменению ее состояния возрастает.

3. Максимум сопротивления обязательно предшествует самому плохому состоянию, через которое нужно пройти для достижения лучшего состояния. После прохождения максимума сопротивления состояние продолжает ухудшаться.

4. По мере приближения к самому плохому состоянию сопротивление, начиная с некоторого момента, начинает уменьшаться, и как только самое плохое состояние пройдено, полностью исчезает, и система сама втягивается в лучшее состояние.

5. Величина ухудшения, необходимая для перехода в лучшее состояние, сравнима с итоговым улучшением и увеличивается по мере совершенствования системы. Слабо развитая система может перейти в лучшее состояние почти без предварительного ухудшения, в то время как сильно развитая система в силу своей устойчивости на постепенное непрерывное улучшение не способна.

6. Если систему удастся сразу, скачком, перебросить из плохого состояния достаточно близко к хорошему, то дальше она сама будет эволюционировать в нужном направлении.

С этими объективными закономерностями функционирования нелинейной системы нельзя не считаться. Так, например, выбор «лечения» должен быть таким, чтобы максимальное ухудшение не пересекало линию «смерти», при пересечении которой перестройка прерывается, и система устремляется к катастрофе. При кардинальных изменениях в экономике страны, заговоры, путчи и прочие неприятности для правителя возможны раньше самого плохого состояния, в максимуме сопротивления. В самом же плохом состоянии опасности уже нет, всем настолько плохо, что не только не бунтуют, но даже и не плачут, а смеются (согласно историческому анекдоту о Чингисхане).

Выше сформулированы лишь простейшие качественные выводы, но они представляются не только более важными, но и более надежными (чем любые количественные для конкретной модели), ибо мало зависят от деталей функционирования системы.

В следующих пунктах мы сохраним оригинальный текст Владимира Игоревича Арнольда.

2. Оптимизация как путь к катастрофе

Простейшая модель роста $x' = kx$ предложена Мальтусом (для роста населения Земли). Она ведет, как хорошо известно, к экспоненциальному (т.е. очень быстрому) росту населения x с течением времени. Эта жесткая модель применима (разумеется, с оговорками), например, к раз-

витию науки в 1700–1950 гг. (измеряемому, скажем, числом научных статей) (рис. 13). Продолжение экспоненциального роста науки в следующий век быстро привело бы к исчерпанию бумаги и чернил, причем число ученых должно было бы достичь половины населения земного шара.

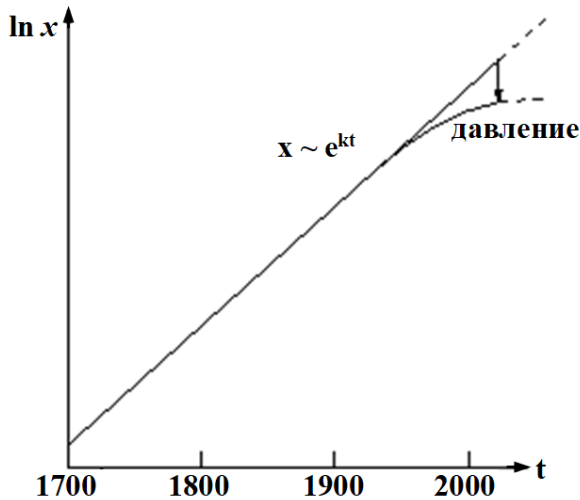


Рис. 13. Рост науки

Ясно, что общество (во всех странах) не может этого допустить, и, следовательно, развитие науки должно быть подавлено (что мы и наблюдаем во многих странах; в России реформирование академической науки происходит как раз сейчас).

Аналогичные явления насыщения происходят в любой популяции (и, вероятно, вскоре произойдут с человечеством в целом): когда население становится слишком большим, мальтузовская жесткая модель с постоянным коэффициентом роста k перестает быть применимой. Естественно, при слишком больших x конкуренция за ресурсы (пищу, гранты и т.д.) приводит к уменьшению k , и жесткая модель Мальтуса должна быть заменена мягкой моделью:

$$x' = k(x)x$$

с зависящим от населения коэффициентом размножения. Простейшим примером является выбор $k(x) = a - bx$, что приводит к так называемой **логистической модели** (рис. 14).

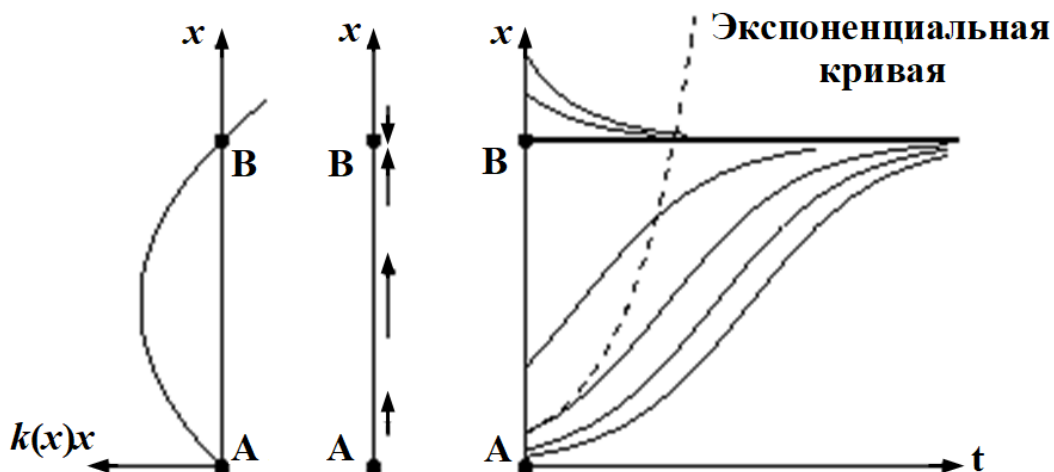


Рис. 14. Логистическая модель $x' = ax - bx^2$, например, $x' = x - x^2$

Выбором системы единиц x и t можно превратить коэффициенты a и b в 1. Подчеркну, однако, что выводы, которые будут сделаны ниже, остаются (с точностью до числовых значений констант) справедливыми и при любых значениях коэффициентов a и b и даже для широкого класса моделей с различными (убывающими с x) функциями $k(x)$. Иными словами, дальнейшие выводы относятся ко всей мягкой модели, а не к специальной жесткой логистической модели.

На рис. 14 слева изображен график функции $k(x)x$, положительной между точками A и B . В центре изображено векторное поле \dot{x} на изображающей всевозможные состояния системы оси x . Оно указывает скорость эволюции состояния. В точках A и B скорость равна нулю: это стационарные состояния. Между A и B скорость положительна (население растет), а за точкой B – отрицательна (население убывает). Справа изображена результирующая зависимость населения от времени при разных начальных условиях.

Модель предсказывает, что с течением времени устанавливается стационарный режим B , который устойчив: большее население уменьшается, меньшее – увеличивается.

Логистическая модель удовлетворительно описывает многочисленные явления насыщения. Вблизи A , когда население мало, она очень близка к мальтузианской модели. Но при достаточно больших x (порядка $1/2$ при нашем выборе коэффициентов) наблюдается резкое отличие от мальтузианского роста (обозначенного на рис. 14 пунктиром): вместо ухода x на бесконечность население приближается к стационарному значению B . Население Земли сейчас превышает 7 миллиардов. Стационарное значение (по разным оценкам) 16–20 миллиардов человек.

Логистическая модель является обычной в экологии. Можно себе представить, например, что x – это количество рыб в озере или в мировом океане. Посмотрим теперь, как скажется на судьбе этих рыб рыболовство с интенсивностью c :

$$\dot{x} = x - x^2 - c.$$

Вычисления показывают, что ответ резко меняется при некотором критическом значении квоты вылова c . Для нашей жесткой модели это критическое значение есть $c = 1/4$, но аналогичные явления имеют место и для мягкой модели:

$$\dot{x} = x - k(x)x - c$$

(критическое значение c в этом случае максимум функции $k(x)x$).

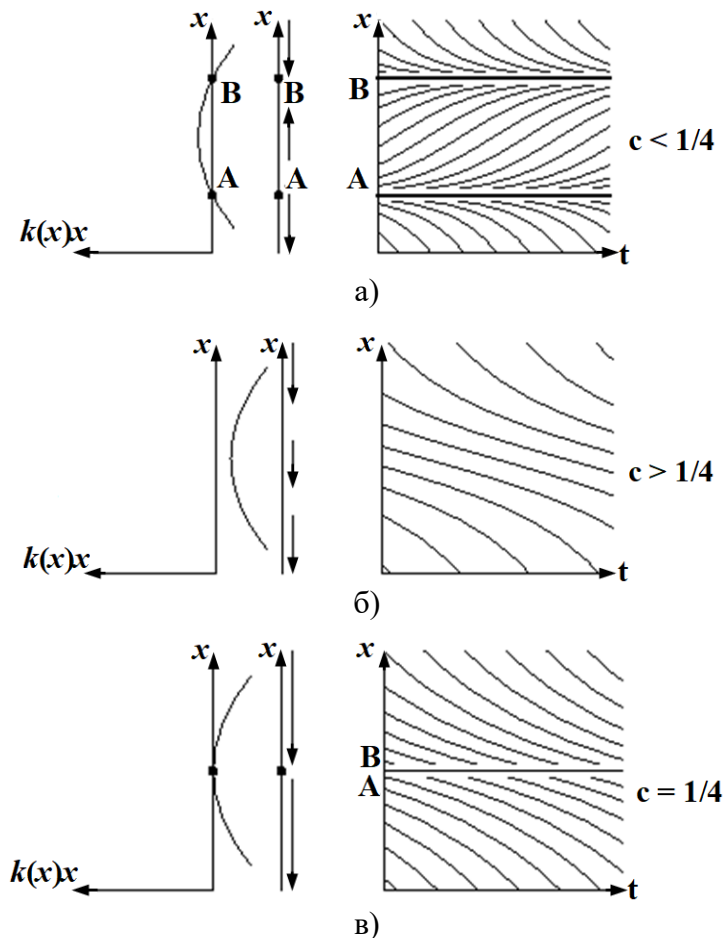


Рис. 15. Недолов (а), перелов (б) и оптимизация (в) рыболовства

Ход эволюции числа рыб x с течением времени t изображен на рис. 16. Если квота c мала, то изменения (по сравнению со свободной популяцией, для которой $c = 0$) состоят в следующем.

Система имеет два равновесных состояния, A и B . Состояние B устойчиво: популяция в этом случае несколько меньше, чем необлавливаемая, но она восстанавливается при малых отклонениях x от равновесного значения B .

Состояние A неустойчиво: если вследствие каких-либо причин (скажем, браконьерства или мора) размер популяции упадет хоть немного ниже уровня A , то в дальнейшем популяция (хотя и медленно, если отличие от A невелико) будет уничтожена полностью за конечное время.

По моему мнению, состояние науки в России в настоящее время описывается примерно точкой A : оно еще стационарно, но, как говорят физики, квазистационарно в том смысле, что небольшое встряхивание может легко привести к необратимому уничтожению.

При больших критических квотах вылова c популяция x уничтожается за конечное время, как бы велика она ни была в начальный момент.

Это – судьба мамонтов, бизонов, многих китов: экологи подсчитали, сколько видов погибает *ежедневно* под влиянием деятельности человека, и эти цифры ужасают. Модели этого рода описывают также банкротство фирм, концернов и государств. Опасность уничтожения в нашей модели появляется тогда, когда неустойчивое состояние A приближается к устойчивому состоянию B , т.е. когда величина x опускается примерно до половины исходной стационарной величины необлавливаемой популяции.

Население России, мне кажется, еще не понизилось до этого смертельно опасного уровня, но, по-видимому, движется к нему. Наука же в России находится в настоящее время именно в таких условиях «перелома». Например, заработная плата главного научного сотрудника в Математическом институте им. Стеклова РАН (каковым я являюсь) составляет менее 100 долларов в месяц. Это раз в сто меньше зарплаты моих коллег в США (и раз в 50 меньше, чем во Франции). Понятно, что в таких условиях величина c (скорость убыли числа ученых в России) ограничивается в основном дискриминационными мерами, принимаемыми Западом (например, США) для охраны своих рабочих мест от наплыва лучше подготовленных иностранных аспирантов и докторантов (в основном из Китая и из России).

Из сказанного видно, что выбор значения параметра c является чрезвычайно важным моментом управления эксплуатацией популяции x . Стремясь к увеличению квоты эксплуатации c , разумная планирующая организация не должна превосходить критический уровень (в нашем случае $c \leq 1/4$). Оптимизация приводит к выбору именно критического значения $c = 1/4$, при котором эксплуатируемая популяция еще не уничтожается, но доход от эксплуатации за единицу времени достигает максимально возможного значения $c = 1/4$ (большой доход в нашей популяции *в течение длительного времени* невозможен, так как максимальная скорость прироста даже и неэксплуатируемой популяции есть $1/4$).

Из нижней части рис. 6 мы видим, что произойдет при таком «оптимальном» выборе, $c = 1/4$. Какова бы ни была начальная популяция $x > 1/2$, с течением времени она выйдет на стационарный режим $A = B = 1/2$. Эта стационарная популяция, однако, неустойчива. Небольшое случайное уменьшение x приводит к полному уничтожению популяции за конечное время.

Следовательно, *оптимизация параметров плана может приводить* (и приводит во многих случаях, из которых наша модель – лишь простейший пример) *к полному уничтожению планируемой системы вследствие возникающей из-за оптимизации неустойчивости*.

Наша мягкая модель, при всей своей очевидной примитивности, позволяет, однако, предьявить способ борьбы с указанным злом. Оказывается, устойчивость восстанавливается, если заменить жесткое планирование **обратной связью**. Иными словами, решение о величине эксплуатации (квоты вылова, налогового пресса и т.д.) следует принимать не директивно ($c = const$), а в зависимости от достигнутого состояния системы:

$$c = kx,$$

где параметр k («дифференциальная квота») подлежит выбору.

В этом случае модель принимает вид (рис. 16):

$$x' = x - x^2 - kx.$$

При $k < 1$ с течением времени устанавливается стационарное состояние B , которое устойчиво. Средний многолетний "доход" $c = kx$ в этом состоянии оптимален, когда прямая $y = kx$ проходит через вершину параболы $y = x - x^2$, т.е. при $k = 1/2$. При этом выборе дифференциальной квоты k средний "доход" $c = 1/4$ достигает максимального возможного в нашей системе значения. Но, в отличие от жестко планируемой системы, система с обратной связью устойчива и при оптимальном значении коэффициента k (небольшое случайное уменьшение по отношению к стационарному уровню $x = B$ приводит к автоматическому восстановлению стационарного уровня силами самой системы).

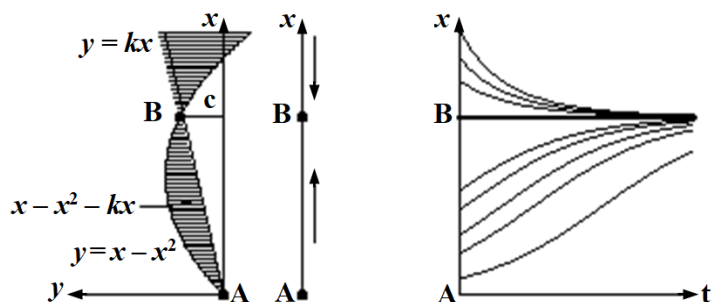


Рис. 16. Устойчивая система с обратной связью

Более того, небольшое отклонение коэффициента от оптимального значения $k = 1/2$ приводит не к самоуничтожению системы (как это было при небольшом отклонении от оптимального жесткого плана c), а лишь к небольшому уменьшению "дохода".

Итак, введение обратной связи (т.е. зависимости принимаемых решений от реального состояния дел, а не только от планов) стабилизирует систему, которая без обратной связи разрушилась бы при оптимизации параметров.

Все сказанное выше останется справедливым и для мягкой модели (с соответствующим пересчетом коэффициентов). Следует подчеркнуть, что именно эта независимость от деталей жесткой модели (которые, как правило, не слишком хорошо известны) делает выводы мягкого моделирования полезными.

Попытки заменить мягкое моделирование жестким обычно приводят к иерархии все более сложных и громоздких математических построений, исследование которых доставляет прекрасный материал для большого количества диссертаций, но реальная ценность которых зачастую не превосходит в сущности простых (хотя без математики и не очевидных) выводов, основанных на анализе именно простейших моделей, подобных описанной выше.

3. Опасность многоступенчатого управления

Явление, описываемое в этом разделе, хорошо известно в теории управления техническими системами. Оно наблюдается в чрезвычайно общей ситуации, но здесь я опишу его в самой простой модели, заменяя лишь технические термины человеческими.

Пусть производство какого-либо продукта x управляется некоторым руководителем, принимающим решение о скорости производства:

$$x' = y.$$

В свою очередь, поведение руководителя y управляется руководителем второго ранга, принимающим решение о том, как нужно менять скорость производства:

$$y' = z.$$

В свою очередь, поведение руководителя второго ранга z управляется руководителем третьего ранга и т.д. вплоть до генерального руководителя (ранга n).

Генеральный руководитель в нашей модели реализует обратную связь: его решение основывается не на желании выполнить приказ начальства (как у руководителей предыдущих рангов), а на интересах дела. Например, он может желать достичь уровня X величины x

и будет влиять на руководителя предыдущего ранга в положительную сторону, если уровень x не достигнут, и в отрицательную – если он превзойден.

Например, для $n = 3$ простейшая модель этого рода имеет вид

$$\begin{aligned}x' &= y, \\y' &= z \\z' &= -k(x - X).\end{aligned}$$

Эту систему можно переписать в виде линейного дифференциального уравнения порядка n :

$$x^{(n)} = -k(x - X).$$

Уравнения этой (жесткой) модели легко решаются в явном виде. Устойчивость желаемого стационарного состояния ($x = X, y = z = \dots = 0$) определяется тем, отрицательны ли вещественные части корней λ характеристического уравнения:

$$\lambda^n = -k.$$

Эти корни – комплексные числа, изображенные на рис. 17. Эти корни образуют на плоскости комплексного переменного λ вершины правильного n -угольника. Если $n > 3$, некоторые вершины обязательно лежат в (неустойчивой) правой полуплоскости ($Re(\lambda) > 0$). При $n = 1$ корень $\lambda = -k$ лежит в устойчивой полуплоскости, а при $n = 2$ корни $\lambda_{1,2} = \pm i\sqrt{k}$ лежат на границе устойчивости.

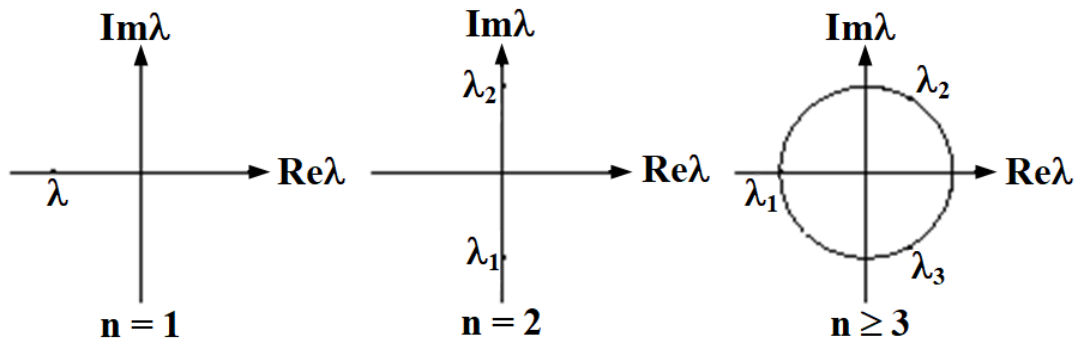


Рис. 17. Неустойчивость многоступенчатого управления

Вывод. Многоступенчатое управление, описываемое нашей моделью при $n > 3$, неустойчиво. Двухступенчатое управление приводит к периодическим колебаниям, но не вызывает катастрофического нарастания колебаний, происходящего при трех- и более ступенчатом управлении.

Настоящую устойчивость обеспечивает только одноступенчатое управление, при котором управляющее лицо более заинтересовано в интересах дела, чем в поощрении со стороны начальства.

Эти выводы, сделанные выше на основании анализа простейшей жесткой модели, на самом деле выдерживают проверку на структурную устойчивость, исключая лишь случай $n = 2$: двухступенчатое управление может оказаться как устойчивым, так и неустойчивым, в зависимости от деталей организации дела, которыми мы выше пренебрегли при составлении нашей самой простой модели.

Длительное и, по-видимому, устойчивое функционирование системы многоступенчатого управления в СССР объяснялось, вероятно, неисполнением директивных указаний и существованием «теневой» системы заинтересовывания управляющих различных рангов в интересах дела. Без такой реальной заинтересованности (которая в современных условиях уже не обязательно обеспечивается коррупцией) многоступенчатое управление всегда ведет к разрухе.

К счастью, необходимость в независимости Центробанка уже хорошо понята, но многоступенчатое («административное») управление сохраняется во многих других случаях.



Владимир Игоревич Арнольд (12 июня 1937, Одесса – 3 июня 2010, Париж) – советский и российский математик, автор работ в области топологии, теории дифференциальных уравнений, теории особенностей гладких отображений и теоретической механики. Один из крупнейших математиков XX века. Академик РАН.

Научная деятельность: соавтор теоремы Колмогорова – Арнольда – Мозера о стабильности интегрируемых гамильтоновых систем. Развивал математику (теория динамических систем, теория катастроф, топологию, алгебраическую геометрию), классическую механику и теорию сингулярностей.

В.И. Арнольд опубликовал более 400 статей и большое количество учебников и монографий. Более тридцати его книг были многократно переизданы и переведены на многие языки мира.

В.И. Арнольд – основатель большой научной школы, среди его учеников: И.А. Богаевский, Р.И. Богданов, А.Н. Варченко, В.А. Васильев, А.Б. Гивенталь, В.В. Горюнов, С.М. Гусейн-Заде, А.А. Давыдов, В. М. Закалюкин, М.Э. Казарян, А.Г. Кушниренко, С.К. Ландо, А.И. Нейштадт, Н.Н. Нехорошев, А.С. Пятли, В.Д. Седых, А.Г. Хованский, А.Н. Шошитайшвили, А. Варченко и многие другие.

Награды:

1957 – премия Московского математического общества.

1965 – Ленинская премия (вместе с академиком А.Н. Колмогоровым) за цикл работ по проблеме устойчивости гамильтоновых систем.

1982 – премия Краффорда от Шведской королевской академии наук (совместно с Луисом Ниренбергом).

1992 – премия имени Н.И. Лобачевского РАН.

1994 – премия Харви (Harvey Prize), Технион (Хайфа).

1999 – орден «За заслуги перед Отечеством» IV степени за большой вклад в развитие отечественной науки, подготовку высококвалифицированных кадров и в связи с 275-летием Российской академии наук.

2001 – премия Вольфа (Wolf Prize) по математике.

2001 – премия Дэни Хайнемана в области математической физики.

2007 – Государственная премия России за выдающийся вклад в развитие математики.

2007 – Чернский приглашённый профессор.

2008 – премия Шао за обширный и важный вклад в математическую физику (совместно с Л.Д. Фаддеевым).

В 1992 году сделал пленарный доклад на Европейском математическом конгрессе.

Звания:

Академик Российской академии наук.

Профессор Московского государственного университета.

Иностраный член Национальной академии наук США, Французской академии наук, Лондонского королевского общества, Национальной академии деи Линчеи, почётный член Лондонского математического общества, иностранный член Американского философского общества, а также Американской академии искусств и наук.

Почётный доктор университетов Пьера и Марии Кюри (Париж, 1979), Уорика (Ковентри), Утрехта, Болоньи, Торонто, Комплутенсе (Мадрид).

Президент Московского математического общества (с 1996 года).

Член редколлегии журнала «Успехи математических наук».

В 1995–1998 гг. занимал должность вице-президента Международного математического союза, в 1999–2002 являлся членом его исполнительного комитета.

Председатель попечительского совета Независимого Московского университета.

Главный научный сотрудник Математического института им. В.А. Стеклова РАН.

Профессор Университета Париж–Дофин.

Часть II. ХИМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Широко простирает химия
руки свои в дела человеческие...

М.В. Ломоносов

12. НЕКОТОРЫЕ АКСИОМЫ ХИМИИ. ВРЕМЯ ЖИЗНИ АКТИВИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА КАК ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ ХИМИЧЕСКАЯ КОНСТАНТА

1. Химические реакции и их энергетика

Превращение одного или нескольких исходных веществ в отличающиеся от них по химическому составу или строению вещества называется химической реакцией.

Химические реакции, в отличие от ядерных, не изменяют ни общего числа атомов в системе, ни изотопного состава элементов. Химические реакции происходят при физическом контакте реагентов как самопроизвольно, так и при воздействии: температуры (нагревание), катализаторов, излучений, в том числе и ионизирующих, электрического тока, механических напряжений, а также в низкотемпературной плазме.

Характеристиками химических реакций являются: равновесная степень превращения (которая определяется из законов термодинамики), скорость реакции, глубина протекания (определяемая либо степенью превращения – отношение количества вещества, вступившего в реакцию, к исходному, либо выходом реакции – отношение количества результирующего продукта к исходному).

Реакции, сопровождающиеся выделением теплоты, называются экзотермическими, поглощением теплоты – эндотермическими.

Катализ – это ускорение или возбуждение химической реакции веществами катализаторами, которые участвуют в реакции, но не входят в состав конечных продуктов. Катализатор не сдвигает химического равновесия в реагирующей системе, он в равной мере ускоряет как прямую, так и обратную реакции. Вещества, замедляющие реакцию, называются ингибиторами.

Реакции, проходящие под воздействием излучения оптического диапазона длин волн, называются фотохимическими. Причина их прохождения – изменение электронного строения молекул при возбуждении, которое сопровождается также и изменением их химических свойств. Особое положение занимают радиационно-химические реакции, происходящие из-за поглощения веществом энергии ионизирующего излучения. Реагируя с молекулами среды и друг с другом, радиационно-химические реакции приводят к образованию относительно долгоживущих свободных радикалов, ионов-радикалов, а также различных стабильных продуктов.

Реакции, характеризующиеся переносом зарядов через границу между электродом и электролитом (электродные процессы), всегда идут в двух направлениях: катодном и анодном. Химическое превращение в катодном процессе называется электровосстановлением, в анодном – электроокислением.

Химические превращения, инициированные или ускоренные механическим воздействием (напряжениями), называются механо-химическими. Эти реакции возможны как в жидкостях (кавитация, действие сдвиговых напряжений на растворы и расплавы полимеров), так и в твердых телах (например, при измельчении – диспергировании, действии ударных волн или высокого давления в сочетании с деформацией сдвига).

2. Теория активированного комплекса

Теория АК – простейший и исторически первый вариант статистической теории химических реакций, – была разработана в 30-х годах XX века Э. Вигнером, М. Поляни, Г. Эйрингом и М. Эвансом. Эта теория основана на трех предположениях, или трех аксиомах.

1. Переход химической системы из начального состояния в конечное связан с образованием *активированного комплекса* или *переходного состояния*. Двойное название указывает на его вещественно-энергетическую сущность. Для простейшей химической реакции:



это означает, что АК это уже не $A + B$, но еще не $C + D$.

2. Существует термодинамическое равновесие между реагентами химической реакции и АК.

3. Скорость химической реакции отождествляется со скоростью распада (временем жизни) АК – τ .

Все три предположения строго обосновать нельзя, и их следует в определенном смысле считать *аксиомами химии*.

С учетом наших знаний о фундаментальных физических константах мы можем уже определить время жизни АК. Действительно, мы знаем, что поскольку элементарный акт химической реакции идет на микроуровне, то обязательно должна присутствовать константа М. Планка \hbar , размерность которой *энергия*×*время*. Далее, поскольку результат химической реакции фиксируется нами на макроуровне, то обязательно должна быть связь между «микро» и «макро», а значит, должна присутствовать константа Л. Больцмана k , размерность которой *энергия/температура*. Далее, любая домохозяйка (опять обращаемся к ее здравому смыслу) знает, что соль быстрее растворяется в горячем супе, нежели в холодном, аналогично и сахар в чае, т.е. время жизни АК тем меньше, чем выше температура. Следовательно, температура T должна стоять в знаменателе формулы, определяющей времени жизни АК – τ . Сопоставив размерность констант \hbar , k и температуры T , получим единственно возможное соотношение:

$$\tau = \hbar/kT. \quad (33)$$

При обычных для химических реакций температурах $\tau \approx 10^{-13}$ сек, поэтому пока еще не удалось никому наблюдать активированный комплекс. Если же это станет возможным, то необходимость в аксиоме № 1 отпадет, и ее утверждение станет доказанным фактом.

Как видно из (33), время жизни АК не зависит от участвующих в реакции реагентов и конечных продуктов реакции. Поэтому (и это очень важный результат!) величину τ следует рассматривать как своеобразную *фундаментальную химическую «константу»* ». ([2] Хапачев Ю.П. Фундаментальные константы химии и биологии // Российский химический журнал. Вып. 3. (Журнал Российского химического общества им. Д.И. Менделеева). – 2000. – Т. 44. – С. 3–6).

Согласно первой аксиоме, равновесие между реагентами и АК характеризуется константой K , через которую выражается константа скорости реакции χ :

$$\chi = K (kT/h) = K/t,$$

$$K = \frac{F_{\text{АК}}}{F_{\text{р}}} \exp\left(-\frac{U}{kT}\right),$$

где $F_{\text{АК}}$ и $F_{\text{р}}$ – отнесенные к единице объема (удельные) статистические суммы АК и реагентов, соответственно; U – изменение потенциальной энергии системы при переходе от реагентов к АК.

Величину U можно интерпретировать как энергию активации, если пренебречь слабой (по сравнению с экспоненциальной) температурной зависимостью статистической суммы и множителя kT/h . Тогда

$$\chi = \frac{kT}{h} \exp \frac{\Delta S}{k} \exp \frac{-\Delta H}{kT},$$

где ΔS и ΔH – изменение энтропии и энтальпии активации при переходе от реагентов к АК.

Возвращаясь теперь к объяснению реакционной способности веществ, можно сказать, что характеристикой реакционной способности служит энергия активации, которая практически соответствует высоте потенциального барьера на поверхности потенциальной энергии ППЭ.

Для теоретической оценки относительных изменений высоты потенциального барьера в реакционных сериях разработаны относительно простые методы. Такой подход к оценке относительных скоростей применяют для любого физико-химического процесса, если высота потенциального барьера, разделяющего исходное и конечное состояния, достаточно высока по сравнению с величиной kT .

Поставим теперь следующий вопрос. Как вы думаете, у кого биохимические реакции идут быстрее, у гения или у обычного человека, если они находятся в одном помещении? Отталкиваясь от формулы (33), вы должны сделать вывод, что скорость прохождения реакций у обоих испытываемых одинакова, поскольку для обеих одинакова температура. Но если эксперимент говорит об обратном, скажем, у гения они идут быстрее, то что это значит? Ответ достаточно тривиален. Из курса школьной химии вы знаете, что увеличение скорости химических реакций возможно в присутствии катализаторов. Следовательно, у гения **возможно** существуют какие-то дополнительные (или их некоторый избыток) **функциональные носители**, называемые **ферментами**, которые и убыстряют реакцию. А наличие этих дополнительных функциональных носителей или их избыток определяется уже другими, **информационными носителями**. Но об этих характеристиках мы поговорим несколько позже.

Самоорганизация – процесс упорядочения элементов одного уровня в системе за счёт внутренних факторов, без внешнего специфического воздействия (изменение внешних условий может также быть стимулирующим либо подавляющим...)

Самоорганизация – Википедия

13. САМООРГАНИЗАЦИЯ НА ХИМИЧЕСКОМ УРОВНЕ. КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ХИМИИ

1. Реакция Белоусова – Жаботинского

Явления самоорганизации, приводящие к образованию пространственных и пространственно-временных диссипативных структур, могут возникать при протекании некоторых нелинейных химических реакций, в которых продукты реакции являются ее катализаторами и ускоряют протекание самой реакции. Это приводит к тому, что скорость образования продукта реакции нелинейно зависит от концентраций реагирующих компонентов.

Некоторая типичная химическая реакция протекает по следующей символической схеме:



где A и B – реагирующие между собой компоненты, C и D – продукты реакции, k – константа скорости, зависящая в общем случае от температуры и давления. Опыт показывает, что даже после длительного ожидания реагенты A и B не исчезают полностью. Это значит, что для реакции (а) существует величина, называемая константой равновесия и характеризующаяся определенным значением отношения

$$c_C c_D / (c_A c_B),$$

устанавливаемым по истечении большого промежутка времени (c с соответствующим индексом означает концентрацию данного компонента). Химическая система пребывает в состоянии детального равновесия, то есть наряду с реакцией (а) протекает соответствующая обратная реакция:



В равновесии в соответствии с принципом детального равновесия обе реакции протекают с одинаковыми скоростями.

Однако мы можем поддерживать постоянные концентрации продуктов C и D путем постоянного удаления их из реакционного объема, реализуя тем самым открытую систему в неравновесном состоянии. В такой системе устанавливаются постоянные концентрации компонент A , B , C и D , причем их отношение уже не определяется константой равновесия. Такое состояние химической системы называется стационарным неравновесным состоянием, при котором детальное равновесие уже не имеет места.

Если в такой системе существует некоторый химический механизм, усиливающий случайные изменения скоростей прямой или обратной реакций, то возникает потенциально неустойчивое состояние. Одним из наиболее характерных упомянутых механизмов является автокатализ, когда продукт реакции увеличивает скорость ее протекания.

Рассмотрим теперь на примере конкретной реакции влияние неравновесных условий на режимы ее поведения.

Говоря о концептуальных проблемах химии, нельзя не остановиться на **самоорганизации на химическом уровне**, которую можно наблюдать, например, в так называемой реакции Белоусова–Жаботинского. Прежде всего, следует рассказать об экспериментальном открытии знаменитой реакции, открывшей новую эпоху в химических автокаталитических реакциях. Эта реакция была открыта Б.П. Белоусовым в 1951 г. в ходе простого эксперимента – окисления лимонной кислоты броматом калия в присутствии сульфата церия и серной кислоты. Церий, металл переменной валентности, играет в ней роль маятника: он появляется то в восстановительной



то в окисленной форме



Эти реакции автокаталитические. Свободный ион брома действует как сильный ингибитор (замедлитель) реакции (34). Поэтому вначале протекает только реакция (34), пока все ионы Ce^{4+} не восстановятся до Ce^{3+} . Затем протекает реакция (35), и процесс повторяется сначала. Вследствие этого раствор периодически меняет окраску, становясь то голубым (избыток ионов церия Ce^{4+}), то красным (избыток ионов Ce^{3+}). Получаются, таким образом, химические часы на основе своеобразного (окислительно-восстановительного) химического маятника.

Б.П. Белоусов послал статью о своем открытии в научный журнал и получил отказ с формулировкой рецензента «Такого в химических процессах не бывает...». Вторая посылка статьи в 1957 г. – опять отказ. Первая публикация была осуществлена автором только в 1959 г. в малоизвестном «Сборнике рефератов по радиационной медицине». Признание пришло лишь через несколько лет, когда аспирант Института биологической физики А.М. Жаботинский по рекомендации своего руководителя профессора С.Э. Шноля исследовал ряд аналогичных колебательных химических реакций. Работа А.М. Жаботинского и А.Н. Заикина была напечатана в 1970 г. в журнале «Nature» и вызвала сенсацию. Полный же текст статьи Б.П. Белоусова был напечатан только после его смерти в 1981 г. Такова судьба открытий...

На видео «из первых рук» вы посмотрите фрагмент лекции профессора МГУ С.Э. Шноля, с демонстрацией реакции Белоусова – Жаботинского.



Борис Павлович Белоусов (19 февраля 1893, Москва – 12 июня 1970, там же) – советский химик и биофизик. Лауреат Ленинской премии (1980).

Родился в 1893 году. Вместе с братьями был вовлечен в революционную деятельность и в возрасте 12 лет арестован. Был вынужден эмигрировать с семьей в Швейцарию. В Цюрихе увлекся химией. Прослушал полный университетский курс химии, но не смог выкупить диплом из-за отсутствия средств.

В 1914 г. возвратился в Россию, однако в действующую армию не попал из-за недостатка веса.

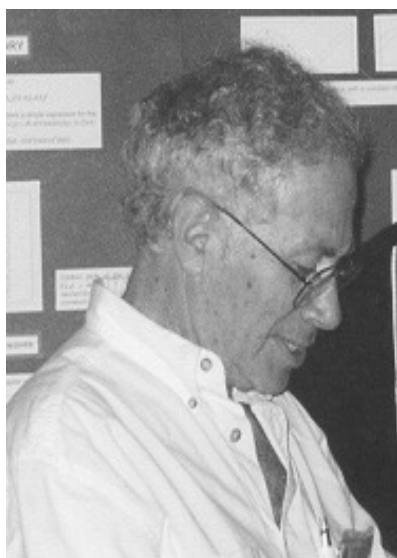
Поступил на работу в химическую лабораторию завода Гужона (завод «Серп и молот»). Занимался работами в области военной химии. С 1923 г. по рекомендации академика П.П. Лазарева преподавал химию в Высшей военно-химической школе РККА.

Как военный химик Б.П. Белоусов занимался с 1933 г. работал старшим преподавателем Академии химической защиты им. С.К. Тимошенко. В 1938 г. вышел в отставку в звании комбрига. В последующие годы работал в закрытом медицинском институте разработкой способов борьбы с отравляющими веществами, составов для противогазов, газовых анализаторов, препаратов, снижающих воздействие радиации на организм.

В 1951 г. при исследовании окисления лимонной кислоты броматом в присутствии катализатора (сульфат церия), обнаружил концентрационные колебания ионов церия. Так была открыта колебательная реакция, которая является одной из первых работ в области нелинейной химической динамики. Исследование механизма реакции Белоусова с 1961 г. проводил А.М. Жаботинский, поэтому класс колебательных реакций называют реакцией Белоусова – Жаботинского. Впоследствии эта работа была признана как научное открытие и занесена в Государственный реестр открытий СССР под № 174.

Скончался в Москве 12 июня 1970 года.

В 1980 году Борису Павловичу Белоусову посмертно была присуждена Ленинская премия: «за обнаружение нового класса автоволновых процессов и исследование их в нарушении устойчивости возбудимых распределённых систем». Премия также получили А.М. Жаботинский, А.Н. Заикин, Г.Р. Иваницкий и В.И. Кричевский.



Анатóлий Мáркович Жаботи́нский (17 января 1938, Москва – 16 сентября 2008, Бостон) – советский и американский биофизик, физико-химик. Лауреат Ленинской премии (1980).

Родился 17 января 1938 г. в Москве. Сын физика, доктора технических наук Марка Ефремовича Жаботинского (1917–2003) и историка физики, популяризатора науки Анны Михайловны Ливановой, автора книг «Физики о физиках» (1968), «Три судьбы. Постигание мира» (1969), «Ландау» (1978, 1983).

В 1955 г. поступил в МГУ, а после окончания – в аспирантуру к проф. С.Э. Шнолю. Вначале Жаботинский собирался изучать ритмическое поведение в метаболизме глюкозы, однако Шноль сообщил ему, что требуемые исходные материалы были в дефиците, и предложил заняться формулой Белоусова, с которой два предыдущих аспиранта не достигли большого успеха.

В 1961 г. А.М. Жаботинский исследовал механизм реакции Белоусова – Жаботинского, открытой Б.П. Белоусовым в 1951 г.

Попытки Жаботинского установить личный контакт с Белоусовым оказались безуспешными. Даже после публикации результатов работы Жаботинского и получения превосходных отзывов о ней со стороны Белоусова они так никогда не встретились лицом к лицу, несмотря на то, что работали лишь в нескольких километрах друг от друга. Жаботинский всегда подозревал, что Белоусов, который работал в секретном военном институте и в годы сталинских «чисток» потерял много друзей, опасался всяческих неформальных отношений.

Из-за своего еврейского происхождения, а также из-за того, что он позволял себе свободные критические высказывания на политические темы, Жаботинский был в СССР «невъездным» – ему был запрещен выезд за пределы Советского Союза. Лишь на закате «Перестройки» ему удалось приехать в США с 10-дневным лекционным курсом. В июле 1991 г. профессор университета Брендайса Ирвинг Эпстайн по просьбе Жаботинского продлил его пребывание в США еще на год. После этого Жаботинский в СССР–Россию никогда уже не вернулся.

В 1991–2008 гг. Жаботинский работал адъюнкт-профессором университета Брандейса, штат Массачусетс.

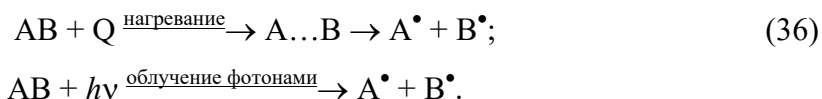
Для тех, кто хочет более подробно ознакомиться с основными принципами химического взаимодействия и в частности с катализом, его критериями и сущностью, а также с химической эволюцией и биогенезом, рекомендуем прочесть II часть нашей книги «Концепции современного естествознания» [1], где соответствующие разделы написаны доктором химических наук, профессором Т.И. Орановой.

2. Катализ, его критерии и сущность

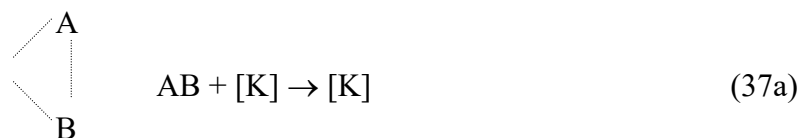
Каталитические реакции крайне разнообразны и многочисленны. Это основная часть реакций и, по существу, главный предмет исследования современной химии.

Тип механизма реакций, очевидно, не может служить критерием отношения процесса к катализу. Каталитические реакции происходят и по свободно-радикальному механизму (стеночный катализ или гетерогенно-гомогенные реакции; катализ с развитием цепи на поверхности проводников и полупроводников; гомогенный катализ в растворах), и по ионному механизму (гомогенный кислотно-основной катализ в растворах, гетерогенный катализ с гетеролизом связей), и посредством циклического переноса валентных электронов в переходном комплексе типа мультиплетного.

Главным критерием катализа является способ активации. По способу активации молекул реагента все химические реакции между валентно-насыщенными молекулами можно разделить на две большие группы. Поскольку физическая сущность активации состоит в полном разрыве ($AB \rightarrow A^\bullet + B^\bullet$) или значительном расслаблении ($AB \rightarrow A \dots B$) исходных химических связей, активация может быть осуществлена следующим образом. Во-первых, путем подачи в реакционную систему энергии извне:



Во-вторых, путем предварительного химического взаимодействия молекул с квантово-механической системой бертоллидного типа:



(согласно мультиплетной теории)



(согласно цепной теории, где L – символ кристаллической решетки).

Некаталитическая реакция происходит в результате подачи энергии извне (36). В каталитической химии активация молекул и инициирование реакций вызываются слабыми химическими взаимодействиями, уменьшающими энергию исходных связей (37).

Несмотря на то, что два способа активации реагентов – энергетический и химический (каталитический) принципиально различны, они представляют собой лишь крайности. В чистом виде каталитическая активация практически не встречается: при низких температурах реакции почти не изучены, а те лучшие процессы катализа, которые осуществляет природа в живых организмах, представляют собой совмещение каталитической и энергетической активации, но с явным преобладанием первой.

Различие каталитической и некаталитической реакций заключается и в присутствии в каталитической реакции стадии, которой нет в стехиометрической – стадии регенерации каталитического центра. То есть, каждая стадия любого каталитического процесса является «обычной» стехиометрической реакцией.

Таким образом, каталитические реакции являются более общими, базовыми реакциями по отношению ко всем другим химическим реакциям.

Сущность катализа

1. Катализ представляет собой наиболее общий и распространенный способ осуществления термодинамически возможных реакций. Он заключается в понижении активационного барьера посредством непрерывного уменьшения электронных зарядов и, следовательно, энергии исходных связей при неполновалентном химическом взаимодействии реагентов с катализаторами.

2. В качестве катализаторов преимущественно выступают соединения бертоллидного типа. В соответствии с этим, основным содержанием катализа является взаимодействие дальтонидной¹ (молекулы реагента) и бертоллидной² (катализатора) форм химической организации вещества.

Каталитически активна не вся поверхность катализатора, а только небольшая ее часть – активные центры, которыми могут быть отдельные рентгеноаморфные осколки кристаллов, небольшие участки макромолекул, например, высокополимерных аминокислот в белках. Согласно мультиплетной теории А.А. Баландина, минимальное число атомов в активном центре равно двум. По теории активных ансамблей Н.И. Кобозева – оно может быть равно и единице.

3. Следствием неполновалентного взаимодействия молекул реагента с любым катализатором являются четыре эффекта, характеризующие всю картину катализа.

3.1. Первый эффект – инициирование реакции, то есть появление возможности перераспределения исходных связей или генерирование свободных радикалов.

3.2. Второй эффект – химическая ориентация реакции, то есть выбор того или иного направления реакции, которое зависит от химической природы как реагента, так и катализатора.

3.3. Третий эффект – матричный эффект. Он заключается:

а) в предоставлении катализатором своей поверхности – матрицы для реакции (поверхность твердого катализатора, стенка сосуда или структурная единица раствора, например, сольватный комплекс), а это увеличивает число встреч молекул реагента и вероятность благоприятной конфигурации активного комплекса;

б) в том влиянии, которое оказывает геометрический фактор на инициирование и ориентацию реакции.

3.4. Четвертый эффект, являющийся результатом взаимодействия реагента с катализатором, состоит в рекуперации энергии химической реакции. Эта энергия не сразу отдается внешней среде, а захватывается той частью катализатора, которая лишь несет активный центр, представляя утяжелитель или агграватор. Последний выполняет роль энергетической ловушки, энергия которой идет на возбуждение активного центра. При этом активность центра по мере усложнения агграватора возрастает по экспоненциальному закону.

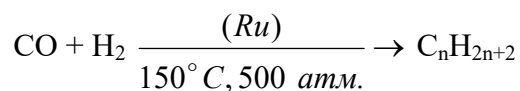
¹ Дальтониды – соединения постоянного состава, подчиняющиеся стехиометрическим законам.

² Бертоллиды – соединения переменного состава.

4. Все четыре эффекта появляются одновременно и обязательно во взаимной обусловленности. Они как бы усиливают друг друга. В различных случаях катализа они играют разную роль, выступая то один, то другой на первый план.

5. Неверно определять катализ лишь как ускорение реакции в присутствии веществ, остающихся после реакции химически неизменными.

Потенциальные барьеры сдерживают многие реакции, и до вмешательства катализатора они ни практически, ни идеально самопроизвольно не идут. Например, реакция



при $n \approx 1500$ не происходит в отсутствие катализатора. Каталитическое вмешательство эту реакцию вызывает (первый эффект), направляет по пути окислительно-восстановительных реакций (второй эффект) и заставляет идти в направлении образования длинных углеродных цепей (третий эффект).

О скорости реакции как критерии оценки эффективности катализатора можно вести речь лишь в аспекте зависимости константы скорости от энергии активации и предэкспоненциального члена по уравнению Аррениуса:

$$K = A e^{E/kT}$$

или в аспекте основного уравнения константы скорости теории абсолютных скоростей реакции.

Кроме того, накоплен фактический материал и о необратимых химических изменениях (например, самоприспособление) функционирующих катализаторов (об этом подробнее в следующем разделе об эволюционном катализе).

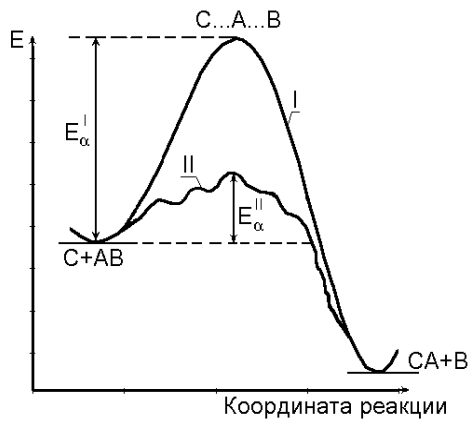
6. Неверно говорить об «отрицательном катализе», как это иногда допускается. Использование добавок, замедляющих протекание реакции, или ингибирование, имеет совершенно иную природу по отношению к катализу.

Катализ и ингибирование можно и должно рассматривать рядом как методы управления процессами. Но по механизму действия катализаторы и ингибиторы совсем различны. Нет таких ингибиторов, которые повышали бы потенциальный барьер реакций, увеличивая при взаимодействии с реагентами энергию исходных связей, подобно тому, как катализаторы снижают этот барьер, уменьшая энергию связей.

7. Деление катализа на три типа: гомогенный, гетерогенный и ферментативный, соответствует происхождению и месту расположения каталитически активного центра. В первых двух случаях речь идет об искусственных системах, содержащих катализатор в гомогенном растворе или газе (гомогенный катализ) и на поверхности раздела фаз (гетерогенный катализ).

В третьем случае имеется в виду катализ белковыми молекулами ферментов, функционирующих в живом организме или выделяемых из него. С точки зрения фазового состава фермента в растворе, учитывая большие размеры белковых молекул, можно говорить о микрогетерогенности ферментативного процесса.

Особенность биохимических превращений заключается в том, что одностадийный процесс заменяется множественным превращением через несколько переходных состояний и метастабильных промежуточных продуктов с минимальной энергией активации. Следующая схема иллюстрирует различие сечения поверхности потенциальной энергии «неживых» и «живых» превращений.



Различие сечения поверхности потенциальной энергии «неживых» и «живых» превращений:

- I – одностадийный химический процесс с энергией активации E_{α}^I ;
- II – многостадийный биохимический процесс с энергией активации E_{α}^II

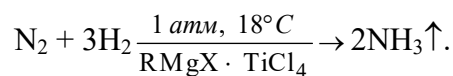
Кроме того, в ферментативном катализе превращаемая молекула не только подвергается воздействию нескольких активных групп фермента, но и сама участвует в изменении их ориентации, замыкает цепь перераспределения связей, то есть система самоорганизуется.

Подобные явления самоорганизации наблюдались и с неорганическими катализаторами (ряд сплавов на основе палладия).

8. Развитие металлокомплексных катализаторов подтвердило, что все три типа катализа представляют собой единую категорию явлений. Практически все известные гетерогенно-каталитические реакции могут происходить и под влиянием гомогенных комплексных катализаторов и наоборот. Активный центр фермента также в большом числе случаев представляет собой комплекс металла, и причины особой селективности искусственных комплексов металлов и ферментов оказались аналогичными: это пространственное строение и расположение окружающих атом или ион металла лигандов.

(В биохимии лиганд – это химическое соединение (часто, но не всегда, малая молекула), которое образует комплекс с той или иной биомолекулой (чаще всего белком, но иногда, например, с ДНК) и производит те или иные биохимические эффекты. В случае связывания лиганда с белком лиганд обычно является малой сигнальной молекулой, связывающейся со специфическим участком связывания на белке-мишени (например, на рецепторе). В случае связывания лиганда с ДНК лиганд обычно также является малой молекулой или ионом, или белком, который связывается с двойной спиралью ДНК).

Например, используя комплексные металлоорганические катализаторы, удалось (Вольпин М.Е. и др.) связать атмосферный азот до аммиака в нормальных условиях, то есть воспроизвести биохимический процесс:



9. Обычно главными функциональными макромолекулами считаются белки, ведь именно их природа выбрала в качестве внутриклеточных катализаторов. Однако, как было обнаружено американцами Т. Чеком и С. Альтманом в работе, удостоенной Нобелевской премии, РНК также может играть роль катализатора. Вполне резонно предположить, что и ДНК каталитически активны.

10. Существуют реакции, в которых катализатором превращения исходных веществ служит один из продуктов – *автокаталитические реакции*. Например, кислота, образующаяся при гидролизе эфиров, катализирует этот гидролиз. Скорость автокаталитических реакций в течение некоторого времени (период индукции) весьма мала, однако по мере накопления продукта-катализатора растет, достигает максимума и снова уменьшается вследствие израсходования исходного вещества.

Автокаталитический характер имеют самосопряженные и некоторые колебательные реакции, играющие большую роль в биохимии.

На наш взгляд, эти процессы требуют более пристального внимания и излагаются ниже.

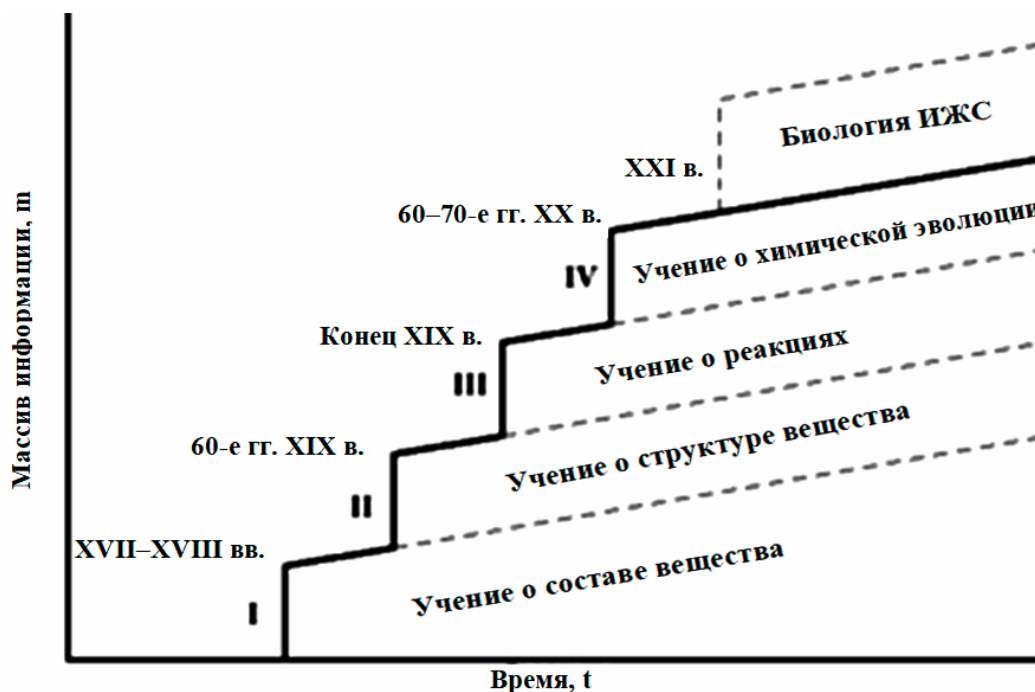
Всякий необходимо причиняет пользу,
употребленный на своем месте. Напротив того:
упражнения лучшего танцмейстера в химии неуместны;
советы опытного астронома в танцах глупы.

Козьма Прутков

14. КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ХИМИИ. ХИМИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ И БИОГЕНЕЗ

1. Концептуальные системы химии

На основе историко-методологического анализа развития научной химии В.И. Кузнецов установил, что существуют определенные закономерности этого развития. Согласно В.И. Кузнецову, вся история химии укладывается в рамки развития и появления новых концептуальных систем, представляющих собой совокупность законов, теорий, взглядов, характеризующих уровень знания химического явления.



Развитие концептуальных систем по В.И. Кузнецову.
ИЖС – искусственные живые системы

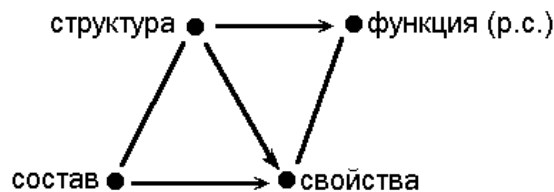
От времени возникновения атомно-молекулярного учения, когда, собственно, и возникла научная химия, до настоящего времени в химической науке четко выделяются четыре концептуальные системы: учение о составе веществ, учение о структуре, учение о реакциях, учение о химической эволюции. В качестве основного критерия концептуальных систем выбран способ решения основной проблемы химии – проблемы генезиса свойств и реакционной способности, который и определяет переход от одной концептуальной системы к другой.

Длительное время центральной проблемой химизма было соотношение состава и свойства, стремление объяснить все многообразные свойства химических соединений их элементарным составом:

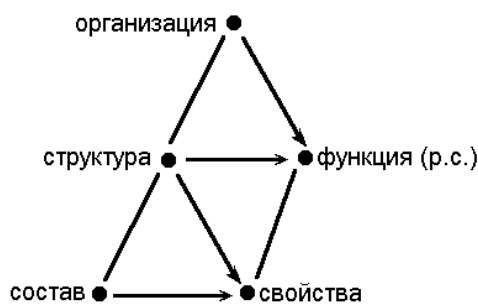
состав • → • свойства.

В последующий период центральным понятием химии стало строение (структура), именно на его основе нашли свое объяснение разнохарактерные свойства многочисленных химических соединений, был открыт путь к синтезу новых веществ.

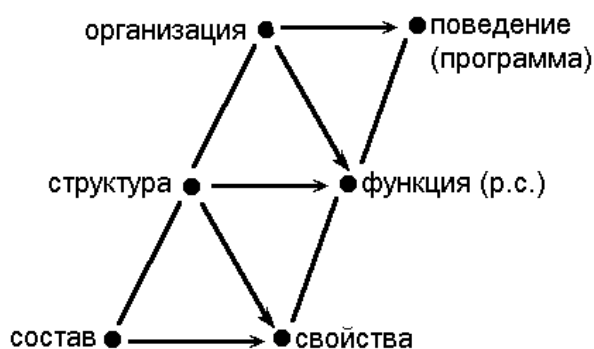
Появление представлений о структуре привело к дифференциации понятия свойства с выделением нового понятия – реакционной способности (р.с.), или более общей функции как производного, и от понятия структуры, и от понятия свойств:



Реакционная способность, в свою очередь, потребовала учета еще и кинетических факторов, от которых она зависит, по меньшей мере, в такой же степени, как и от структурных факторов. Категориальная схема при переходе к кинетическим теориям дополняется понятием организации, которое, аналогично понятию структуры, является атрибутом химической системы (но уже более сложной, чем молекула кинетической системы):



Дальнейший переход к изучению и теоретическому описанию систем высшего уровня организации, например, открытых самоорганизующихся каталитических систем, можно предусмотреть на основе логического завершения этой схемы:



Теперь появилось новое понятие поведения, которое выражает нечто иное по сравнению с понятиями свойств и реакционной способности. Именно с этим связаны проблемы химии, лежащие в основе четвертой концептуальной системы. Она исследует вопрос о поведении сложных предбиологических систем, об уровнях их организации. Узловым вопросом здесь в настоящее время является детерминация поведения систем в зависимости от их организации.

Каждая концептуальная система подготавливается всем предыдущим развитием химии и основывается на всех предыдущих системах.

Относительно новое учение о химической эволюции (IV концептуальная система) возникло на базе современных представлений химической кинетики, термодинамики и катализа (относится к III системе), а именно: теорий активированного комплекса или переходного состояния, термодинамики необратимых процессов и эволюционного катализа.

Истоки этой новой концептуальной системы находятся все же непосредственно в каталитической химии. Работы Гуотми, Каннигема, Борескова и многих других заложили эмпирические основания идей самоприспособления или самодвижения состава и структуры катализаторов в сторону повышения уровня организации. Теоретическую интерпретацию этих идей дал А.П. Руденко в разработанной им теории саморазвития открытых каталитических систем.

Из схемы видно, что эта концептуальная система, являясь предпосылкой фундаментального объяснения механизма биогенеза, представляет собой своего рода верхнюю границу химии (границы справа нет), при которой она себя исчерпывает в отношении дальнейшего развития собственных концептуальных систем. Она создает научно-теоретическую и экспериментальную базу для обоснования биологических закономерностей, построения теоретической биологии.

2. Химическая эволюция и биогенез

Главная проблема современного естествознания – вопрос о происхождении жизни непосредственно связана с химической эволюцией. Эволюция химических неравновесных систем представляет собой путь, ведущий к пространственной, временной и пространственно-временной упорядоченности. В данном параграфе мы попытаемся рассмотреть принципы возникновения, развития и самоорганизации химических систем и выделить те признаки, которые усиливаются и начинают доминировать по мере приближения химических систем к биологическим.

В основе химической и биологической эволюции лежит морфогенез, т.е. направленное развитие структур. Под химической эволюцией обычно понимают происхождение и прогрессивное развитие химической организации вещества в целом, во всех ее проявлениях.

Химическая организация вещества по Кузнецову может выступать:

- 1) в форме дальтонидных соединений;
- 2) в форме бертоллидных соединений;
- 3) в форме переходного состояния или активированного комплекса.

Ю.А. Жданов определяет химические вещества как дискретные точки в континууме переходных состояний.

Исходя из этого, различают два аспекта химической эволюции:

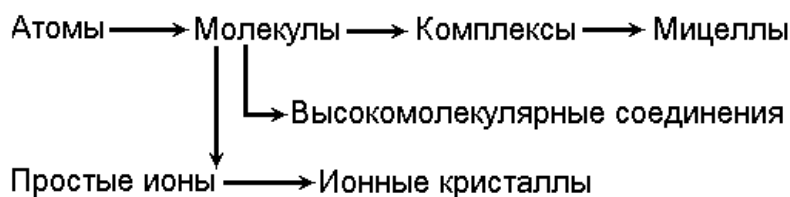
- 1) молекулярно-структурный;
- 2) функциональный (кинетический).

Молекулярно-структурная эволюция

В этом случае в результате обобщения различных подходов к химической эволюции (геохимического, космохимического, биогеохимического и биохимического) разрабатывают схемы эволюционной иерархии, которые указывают на различные направления развития вещества, например:

Молекулы типа $A_2, A_3, \dots, A_n \rightarrow$ Атомные кристаллы

или в более общем виде:



Таким образом, согласно общим представлениям о ступенях организации вещества, наиболее высокоорганизованным признается вещество – носитель жизни, а затем и сознания. В земных условиях такой высшей ступенью организации являются сложные органические соединения – белки, ферменты, нуклеиновые кислоты и т.д.

Химическая эволюция в направлении живого в молекулярно-структурном аспекте представляется в виде стадий:

I – простейшие неорганические и органические вещества (H_2O , CO_2 , CO , CH_4 , NH_3 , HCN , CH_2O , H_3PO_4 , H_2S и др.);

II – малые биомолекулы или мономеры (аминокислоты, пурины, пиримидины, карбоновые кислоты, спирты, моносахариды и др.);

III – сложные органические вещества и биополимеры (белки, нуклеотиды, полисахариды, липиды и др.);

IV – надмолекулярные комплексы биополимеров;

V – живая клетка (или внеклеточные организмы – вирусы).

В опытах по биогенезу было показано, что почти все молекулярные составляющие живого вещества могут быть синтезированы абиогенно из простейших веществ с привлечением реальных для условий первичной Земли источников нехимической энергии (ультрафиолетовых лучей, электрических разрядов, радиоактивных излучений, тепла вулканических извержений, ударных волн и пр.).

То есть период химической подготовки – период интенсивных и разнообразных превращений, о которых можно лишь строить осторожные гипотезы, сменился периодом биологической эволюции.

Из вышесказанного можно сделать следующие выводы:

1. В пределах общего направления химической эволюции выделяется главное, или магистральное, ведущее от уровня химических элементов к живой материи. Все остальные направления можно отнести к побочным или тупиковым направлениям.

2. Направленность химической эволюции отчасти заключена в самом химическом – отборе элементов и структур, которые обладают наибольшей сложностью, т.е. имеют наибольшие эволюционный потенциал, информационную емкость и интегративную способность (см. далее), и отчасти обусловлена средой.

3. В ходе эволюции отбирались те структуры, которые обеспечивали наиболее совершенные виды связей³ (в том числе и обратной связи) и регулирования.



³ Здесь имеется в виду не только химическая связь, но и всякая иная, обеспечивающая взаимоотношения между системами, подсистемами и элементами систем.

Последовательность форм эволюции вещества

Первой и наиболее простой из этих структур можно назвать различные фазовые границы. Они служили основой химической и физической адсорбции, которая:

- а) вносила элементарное упорядочение во взаимное расположение частиц;
- б) увеличивала концентрацию последних;
- в) служила фактором появления каталитического эффекта.

Вторым структурным фрагментом называют группировки, обеспечивающие процессы переноса электронов и протонов. Сюда относят полупроводниковые цепи и структуры, ответственные за так называемое трансгидрирование, или перенос водорода. Этот тип структурных фрагментов связан с необходимостью привлечения углерода, а также других органо-генов⁴, способных образовывать двойные связи и служить донорами и акцепторами электронов. Эти группировки также служат началом окислительно-восстановительного или кислотно-основного катализа.

Третий структурный фрагмент, необходимый для эволюционирующих систем, – это группировки, ответственные за энергетическое обеспечение. Сюда входят окси-оксо-группы, фосфорсодержащие и другие фрагменты с макроэргическими связями. Высказывалось предположение, что эти структурные единицы тоже выполняют роль катализатора по отношению к ряду реакций, но, скорее всего, их назначение состоит в снятии термодинамических запретов путем сопряжения реакций диспропорционирования и разрушения макроэргических связей с ферментативными реакциями.

Следующим фрагментом эволюционирующих систем является уже развитая полимерная структура типа РНК или ДНК, выполняющая ряд функций, свойственных перечисленным структурам, и главное – роль шаблона или каталитической матрицы, на которой осуществляется воспроизведение себе подобных структур.

Одним из очень важных структурных фрагментов биохимических систем служит структура порфина, или точнее порфириновые структуры, уже содержащие металло-азот-углеродные связи. Известно, что порфириновые соединения, содержащие железо, магний, медь, цинк, кобальт, играют выдающуюся роль в качестве жизненно важных фрагментов.

⁴ К элементам-органогенам относят С, Н, О, N, Р, S, общая массовая доля которых в организмах составляет 97,4 %. За ними следуют 12 элементов, которые принимают участие в построении многих физиологически важных компонентов биосистем: Na, K, Ca, Mg, Fe, Si, Al, Cl, Cu, Zn, Co. Их массовая доля в организмах равна примерно 1,6 %. Вместе с тем полагают, что в живых организмах могут присутствовать почти все химические элементы. Так, в сыворотке крови человека в концентрациях от 10⁻⁴ мг/мл и выше было обнаружено 76 элементов (анализ на инертные газы и большинство актиноидов не проводился).

Какой я химик, я политэконом.
Что там «Основы химии»,
вот «Толковый тариф» – это другое дело.
Д.И. Менделеев

15. ТЕОРИЯ САМОРАЗВИТИЯ ОТКРЫТЫХ КАТАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

1. Критерии сложности в химии

Эволюционный потенциал – показатель возможности дальнейшего развития, связанного с тем или иным химическим элементом (соединением), иначе – реакционная способность (способность вступать в разнообразные типы реакций). Характеризуется следующими признаками:

- 1) количество атомов, составляющих молекулу;
- 2) многообразие элементов, входящих в нее. Для органических соединений производным признаком является многообразие функциональных групп;
- 3) сложность основного элемента (или элементов), на базе которого построено химическое соединение;
- 4) длина цепи;
- 5) каталитическая активность.

Интегративность – способность вмещать и удерживать в себе противоположные качества служит основой самосохранения структурной целостности соединения.

Критерии сложности химических соединений могут быть дополнены формальными критериями, в особенности информационными.

Существует определенное соответствие между многообразием и характером его интеграции. Указанные стороны сложности лежат в основе двух разновидностей информационного подхода к описанию сложности – через разнообразие (Эшби) и через упорядоченность (Шеннон).

Ю.А. Жданов установил связь между информационной стороной природных процессов и отражением. Сущность отражения, по Жданову, сводится к ассимиляции внешних условий в ходе химической эволюции. Одной из наиболее существенных форм отражения на химическом уровне является способность органической молекулы образовывать переходное состояние во всех его проявлениях, чтобы использовать именно этот момент наибольшей активности для формирования самого себя по объекту отражения и одновременно преобразовывать этот объект. То есть критериями оценки повышения уровня организации химических систем служат повышение их свойств отражения, динамичности, появления свойств кодирования и передачи информации, дистанционного воздействия и обратной связи. Количественной мерой всего этого может служить удельная *информационная емкость* химических систем.

Всеми перечисленными критериями сложности в высшей степени обладают на элементарном уровне углерод, а среди химических соединений – белки. Рассмотрим это более подробно.

Число известных соединений углерода почти в десять раз превышает число соединений всех остальных элементов, причем он способен интегрировать наибольшее как количественное, так и качественное многообразие элементов.

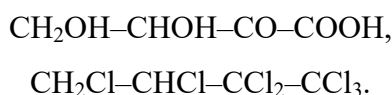
Атомы углерода в одном и том же соединении способны выполнять роль и акцептора, и донора электронов. Они образуют почти все типы связей, какие знает химия:

- а) менее, чем одноэлектронная и одноэлектронные (например, при хемосорбции углеводородов на графите);
- б) двухэлектронные (например, в этане);

- в) трехэлектронные (в бензоле);
- г) четырехэлектронные ($>C=C<$);
- д) шестиэлектронные ($-C\equiv C-$ связи)

со всевозможными промежуточными значениями зарядов связей. Сюда относятся и кумулированные связи $C=C=C=C=C=C=C$, и сопряженные связи $C-C=C-C=C-C$, имитирующие полупроводящие свойства или $C\equiv C-C\equiv C-C\equiv C$, обладающие еще более высокой π -электронной проводимостью. Среди углерод-углеродных связей можно встретить чисто ковалентные, почти чисто ионные и ионоидные с самыми различными значениями зарядов атомов: $C^{\delta+}$, $C^{\delta-}$.

Атомы углерода в одной и той же молекуле могут иметь самые разные степени окисления:



Углерод является единственным элементом, у которого валентность и координационное число равны. Углерод обладает уникальной способностью к образованию прочных цепей, циклов и других структурных скелетов, составленных из углеродных атомов.

Следует отметить различие физического и химического характера усложнения химических элементов. Речь идет о том, что с увеличением порядкового номера атомы как физические образования неуклонно усложняются, в то время как химически они могут упрощаться. Например, сложность химических элементов (учитывая приведенные критерии) возрастает с увеличением порядкового номера до углерода, а затем убывает, а в некоторых случаях не изменяется (все лантаноиды и актиноиды химически являются очень сходными).

Феномен углерода с этих позиций состоит в том, что это такой элемент, физическая природа которого еще не переусложнена, в силу чего он оказывается максимально способным к разнообразным химическим превращениям. В то же время углерод и его соединения достаточно стабильны при обычных температурах.

Физическая сложность химических элементов с определенного момента становится даже препятствием к их устойчивому существованию. Сложные (радиоактивные) атомы оказываются внутренне нестабильными образованиями, способными к непрерывному самопроизвольному распаду.

В этом отношении вызывает интерес попытка С.А. Щукарева использовать критерий биогенности (биохимическую характеристику элементов) для более глубокого понимания специфических свойств элементов.

Проведенный им сравнительный анализ достаточно полного набора биогенных элементов показал, что их особенности зависят от электронной корреляции и кайносимметрии (симметрии, появляющейся при вхождении в атом добавочного внешнего электрона). Кайносимметричные электроны придают атомам первого и второго периода известную жесткость (малую поляризуемость) электронной оболочке, большие потенциалы возбуждения валентных состояний и ионизации и целый ряд других свойств, ведущих к химическому замораживанию реакций при обычных температурах; этому же способствуют малые массы атомов, а также низкие заряды их ядер.

Все эти свойства важны для сохранения устойчивости (при невысоких температурах) сложных скелетов органических соединений. Постепенное вырождение кайносимметрии, где развиваются вторично-периодические свойства, придало новое направление отбору: более тяжелые атомы (в частности, атомы и катионы металлов) оказались биогенно необходимыми катализаторами, побуждающими органические молекулы к реакции в живых клетках.

Белковые тела имеют массу сходств с другими веществами. Но есть признак, которым кроме них не обладает, по-видимому, ни одно другое вещество. Это совместимость основных химических функций, принадлежащих в условиях *in vitro* разным веществам. Белковые тела в процессе жизнедеятельности, *in vivo*, совмещают в себе функции и реагентов, и катализаторов, и растворителей, и реакционных аппаратов (сосудов). Они совмещают в себе и такие противоположные функции, как кислотность и основность, способность быть донором

и акцептором электронов. Белки обладают тончайшей химической индивидуальностью. Это типичные дальтониды, ибо они изменяют свою специфичность при малейшем изменении состава. И вместе с тем для них характерна лабильность химических связей.

Полифункциональность белковых тел обусловлена рядом факторов: их элементным составом, строением отдельных звеньев и способом связи последних в единую систему. Белковые тела обладают самыми различными функциональными группами, какие только знает органическая химия. Здесь имеются активные карбонильные и карбоксильные группы, аминокгруппы, легко омыляемые эфирные связи, подвижные водородные атомы, а часто и металлоорганические группировки со всевозможными типами, в том числе и многоцентровыми связями между металлом и органическим остовом. Особая форма химической организации белковых тел придает последним исключительную подвижность межатомных связей вплоть до свободного перемещения π -электронов вдоль полипептидной цепи.

Все это вместе взятое создает предпосылки для протекания в живых организмах таких реакций, которые характеризуются минимальными значениями энергии активации, исключительной селективностью и легкостью вовлечения в процесс жизнедеятельности веществ, находящихся в окружающей среде.

Совмещение функций реагентов с функциями катализаторов в одном процессе является важным показателем развития вещества. Считается доказанным, что формирование веществ – носителей жизни на Земле – происходило именно путем накопления определенных органических катализаторов в процессе химической и биологической эволюции и отбора тех из них, которые обладали известной стабильностью и проявляли автокаталитические функции. Так, ион железа, катализирующий распад перекиси водорода, активируется в миллионы раз, попадая в состав порфиринового ядра. Получившийся таким образом комплекс – гем начинает катализировать реакции, ведущие к образованию самого порфирина.

По самым последним сообщениям, биохимики осуществили дарвиновскую эволюцию на молекулярном уровне. В результате таких экспериментов удается получать макромолекулы с желаемыми свойствами проводя циклы селекций (отбора), амплификации⁵ и мутации на молекулах РНК вируса Q_{β} , содержащего всего четыре гена.

2. Теория саморазвития открытых каталитических систем (эволюционный катализ)

Автором этой теории является А.П. Руденко.

Рассмотрение молекулярной химической эволюции как ряда последовательных изменений и усложнений молекул определенных веществ (при актуалистическом подходе) оставляет без внимания самое главное в содержании эволюции: динамику направленных изменений объектов эволюции, движущие силы изменений и естественного отбора, взаимосвязь объектов с окружающей средой. Поэтому А.П. Руденко полагает, что в химической эволюции следует выделять прежде всего процессы, в которых осуществляется эволюция, а затем уже рассматривать результаты этих процессов, т.е. эволюционные изменения в веществе объекта эволюции, к которым они приводят.

С таких позиций химическая эволюция – самоусложняющийся сложный химический процесс, в котором происходят направленные и взаимосвязанные изменения механизма реакций и веществ.

Такая связь между процессами и веществами с ведущей ролью процессов существует лишь в химических системах, представляющих собой промежуточный реакционный комплекс в ходе его образования и распада на продукты. Ввиду этого, объекту химической эволюции должны быть присущи черты активного комплекса некоторой реакции, являющейся

⁵ Амплификация – процесс производства потомства, размножение или, более точно, копирования унаследованных генов.

главным (базисным) процессом в эволюции, объединяющим все другие внутренние процессы и их изменения и обеспечивающим:

- а) цельность объектов эволюции;
- б) преемственность последовательных эволюционных изменений;
- в) неразрывность ее самой во времени.

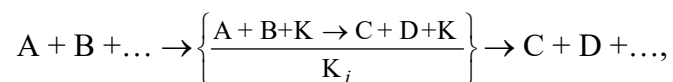
Это возможно, если существует обязательная зависимость всех процессов и изменений, совершающихся в объектах эволюции, от энергии базисной реакции, что реализуется в результате образования единого кинетического континуума веществ и реакций, составляющих элементарный (неделимый) объект эволюции.

Из этого следует, что химическая эволюция возможна только в элементарных открытых химических системах, существующих за счет обмена веществ и энергии базисной реакции, и должна представлять собой последовательные изменения этих систем. Могут изменяться как конституционная сфера систем (состав, строение, надмолекулярная структура), так и кинетическая сфера (характер, скорость, механизм взаимодействия и превращения веществ, входящих в систему, и его сложность).

Для того, чтобы базисная реакция выполняла свою организующую функцию, она должна быть одной и той же в ходе всей химической эволюции, то есть происходящие при эволюции изменения в конституционной и кинетической сферах должны быть связаны только с изменениями внестехиометрических компонентов этой реакции, ее катализатора. То есть катализ и только он служит основой химической эволюции. Отсюда видно, что единственным видом химических систем, способным к химической эволюции, являются элементарные открытые каталитические системы (ЭОКС).

Эволюционирующие системы заведомо многомолекулярны, так как включают в себя и компоненты базисной реакции, и катализаторы, и вспомогательные структурирующие вещества, и другие вещества, вступающие в реакцию с катализаторами во внутренних сопряженных системах.

Динамическое существование ЭОКС описывает модель со стационарным катализатором (проявление классического катализа):



где A, B, C, D – компоненты и продукты базисной каталитической реакции, K_i – катализатор и другие внестехиометрические компоненты системы { }.

Устойчивость неравновесного порядка взаимодействия компонентов химических систем определяется интенсивностью обмена веществ и энергии I :

$$I = af = \frac{\kappa}{\alpha} \frac{kT}{h} \frac{[\Delta G]}{N_A} \rightarrow \max,$$

где

$$a = \frac{n}{t} = \frac{1}{t^*} = \kappa \frac{kT}{h}$$

– абсолютная каталитическая активность, измеряемая числом каталитических актов в единицу времени, $f = \Delta G / \alpha N_A$ – элементарное сродство базисной реакции, ΔG – потенциал Гиббса, N_A – число Авогадро, α – стехиометрический коэффициент, k – константа Больцмана, h – постоянная Планка, T – температура, $0 \leq \kappa \leq 1$ – безразмерная переменная, пропорциональная абсолютной каталитической активности.

Саморазвитие ЭОКС возможно лишь при соблюдении трех условий:

- 1) при постоянно протекающей базисной реакции, поддерживающей своей энергией существование каталитической системы,
- 2) при наличии комплекса таких постоянных условий, как температура, объем или давление, приток реагентов, удаление продуктов реакции и избытка тепла,

3) при наличии комплекса переменных условий, приводящих к нарушениям стационарности открытой системы, но не к прекращению ее функций, то есть не к полной дезактивации катализатора. В этот комплекс входят факторы внешней среды и прежде всего случайные примеси к реагентам. При этом оптимальными оказываются условия осуществления каталитических реакций в жидкой фазе в водной среде, обеспечивающие максимальное разнообразие возможных эволюционных изменений ЭОКС⁶.

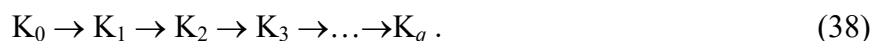
Механизм саморазвития рассматривается при этом как изменение природы (состава и структуры) центра катализа под влиянием этих последних факторов. Если вероятность этого изменения $p = 0$, то очевидно можно считать, что катализ протекает идеально, то есть без изменения катализатора. Если же $p = 1$, то катализатор становится реагентом и вносится в реакцию в стехиометрических количествах. Реальный же катализ имеет место только при неравенстве $0 < p < 1$. Следовательно, и саморазвитие каталитических систем возможно при наличии этого неравенства. Это означает, что одной из основ саморазвития ЭОКС должен быть статистический фактор.

Саморазвитие каталитических систем возможно, кроме того, лишь в тех случаях, когда изменения природы центров катализа ведут к изменению абсолютной каталитической активности этих центров по отношению к базисной реакции, то есть когда вступает в действие кинетический фактор.

Как отмечает В.И. Кузнецов, в высшей степени интересным представляется анализ взаимосвязи этих двух факторов, осуществленный А.П. Руденко. Рассматривая абсолютную каталитическую активность одного центра катализа a как число каталитических актов, происходящих за единицу времени, Руденко показывает, что a в принципе остается неизменной при $p = 0$, но при $0 < p < 1$ за одну стадию изменения центра катализа a может измениться как в сторону увеличения ($a_1 < a_2$), так и в сторону уменьшения ($a_1 > a_2$). При этом оба события будут равновероятны и о направленном развитии системы не может быть речи. Но навстречу статистическому идет кинетический фактор, вносящий направленность в изменение системы. Дело в том, что в случае $a_1 < a_2$ сразу же возрастает интенсивность базовой реакции, увеличивается частота каталитических актов и при равной вероятности единичных событий $a_1 < a_2$ и $a_1 > a_2$ вероятность цепи прогрессивных изменений центра катализа $\Pi_{\text{пр.}}$ оказывается больше вероятности цепи регрессивных изменений $\Pi_{\text{рег.}}$ за один и тот же промежуток времени и при одной и той же элементарной вероятности изменений центра катализа. $\Pi_{\text{пр.}}/\Pi_{\text{рег.}}$ всегда оказывается больше единицы.

При взаимодействии с факторами внешней среды ЭОКС реагируют как единое целое. Проявляя свой гомеостазис, ЭОКС как бы приспосабливаются к действию внешней среды и несколько изменяют свой устойчивый порядок функционирования. При этом возможны обратимые и необратимые изменения ЭОКС и механизма осуществления базисного обменного процесса, зависящего от природы катализатора и типа реакции. При обратимых изменениях затрагивается кинетическая сфера ЭОКС, и после прекращения действия возмущающего фактора система возвращается к прежнему порядку функционирования. При необратимых изменениях природы ЭОКС затрагивается конституционная сфера (катализатор), и система приобретает новый устойчивый порядок функционирования. Так как возможность дальнейшего существования ЭОКС определяется интенсивностью процесса, отличной от нуля ($af > 0$), то при создании условий многократных последовательных изменений ЭОКС базисный процесс будет продолжаться, а ЭОКС существовать лишь при таких изменениях, при которых $a > 0$. Такие изменения являются эволюционными, а изменения, когда $a = 0$ – неэволюционными. В последнем случае ЭОКС перестают существовать и распадаются. Следовательно, сам базисный процесс, на котором существуют ЭОКС, автоматически отбирает эволюционные изменения от неэволюционных и выявляет цепи генеалогически связанных форм ЭОКС:

⁶ Эти выводы получили подтверждение в работе О.В. Эстерле, показавшего методами классической теоретической физики существование максимума вероятности химических, фазовых и других превращений элементов при 310 К.



При таком первичном естественном отборе эволюционных изменений ЭОКС от неэволюционных и происходит выявление процессов химической эволюции среди всех других неорганизованных процессов химии.

Необратимые изменения наследуются, так как они сопряжены с изменением наследственного порядка функционирования ЭОКС. Реакция ЭОКС как единого целого на воздействия факторов внешней среды, вызывающая их приспособление к изменениям внешних условий, есть не что иное, как примитивная форма отражения системой «внешнего мира» на физико-химическом уровне, сопровождаемая определенным ее поведением.

Учитывая это, цепи эволюционных изменений ЭОКС (38) должны быть связаны с такими последовательными изменениями механизма, в которых адекватно изменяется наследственный порядок функционирования при сохранении целостности системы и основных черт механизма, и при росте объема эволюционной информации. А так как основой поведения ЭОКС являются присущие ей свойства, а факторы внешней среды лишь вызывают ту или иную ее реакцию, то реализация цепей (38) действительно является саморазвитием ЭОКС, а не случайными ее изменениями, вызываемыми внешними силами.

Возможность реализации длинных цепей саморазвития ЭОКС (38), то есть возможность химической эволюции, определяется соблюдением четырех феноменологических принципов развития, выводимых из сути своего явления.

1. Вероятностный (статистический) принцип связывает возможность эволюции с существованием потенциальных путей дальнейших изменений природы ЭОКС после каждого предыдущего эволюционного изменения, которые зависят от природы самих ЭОКС и внешних условий.

2. Кинетический принцип связывает возможность эволюции с продолжением динамического существования ЭОКС после каждого изменения их природы и абсолютной каталитической активности (активность катализатора может уменьшаться или увеличиваться, но не должна становиться равной нулю).

3. Термодинамический (энергетический) принцип связывает возможность длительной эволюции с эндергоническим характером эволюционных изменений ЭОКС и способностью базисной реакции производить в системе полезную работу, направленную против равновесия, а также с тенденцией роста КПД базисного процесса и устойчивого неравновесия ЭОКС при длительной эволюции.

4. Информационный (генетический) принцип связывает возможность длительной эволюции с существованием однозначной связи между изменениями природы ЭОКС и абсолютной активности их катализаторов, обеспечивающей запоминание эволюционной информации в физико-химических системах, и ее выражение в изменении наследственного порядка функционирования ЭОКС. Объем информации при эволюции должен обязательно увеличиваться, то есть каждое эволюционное изменение должно быть качественно неповторимым и отличаться новизной.

Можно вывести ряд следствий из этих принципов, уточняющих условия химической эволюции и их ограничения. В частности, если не выполняется вероятностный принцип, развитие ЭОКС прекращается, но сама система не гибнет, а продолжает существовать на достигнутом уровне. Если не выполняется кинетический принцип, то не только прекращается развитие ЭОКС, но и ее существование. Если же не выполняются термодинамический и информационный принципы, то существование и развитие ЭОКС может некоторое время продолжаться, затем система деградирует.

Направленность химической эволюции, ее причины, механизм действия естественного отбора по величине абсолютной каталитической активности и эволюционных характеристик, включающих ее значение, определяет основной закон эволюции ЭОКС. Он проявляется как принцип саморазвития, самоорганизации и самоусложнения ЭОКС. Согласно основному закону, с наибольшей скоростью и вероятностью осуществляются те пути эволюционных изменений, на которых происходит максимальное увеличение абсолютной каталитической активности или же других эволюционных свойств, зависящих от кинетического параметра a .

3. Общая теория химической эволюции и биогенез

Так как ЭОКС – единственно возможные объекты химической эволюции, все выводы теории эволюционного катализа об эволюции ЭОКС целиком относятся к химической эволюции вообще.

Принцип последовательного формирования все более и более сложных новых свойств и функций ЭОКС на разных этапах химической эволюции, преобладание этих признаков и эволюционных закономерностей на всех этапах эволюции и неразрывность химической и биологической эволюции дает возможность фундаментального обоснования всех свойств и функций живых организмов, биохимических механизмов и специфических закономерностей биологической эволюции на основе общей теории химической эволюции и биогенеза.

Согласно этой теории, очередность формирования новых обобщенных свойств и функций ЭОКС при преодолении вероятностных и кинетических пределов и их характер строго детерминированы и не зависят от природы базисной реакции и исходной природы катализатора ЭОКС, т.е. на какой бы базе ни проходила прогрессивная химическая эволюция, приводящая к жизни, она должна пройти все естественные этапы при формировании всей совокупности обобщенных свойств и функций. Последние, в отличие от фундаментальных, определяющих саму возможность существования и эволюции систем, приобретаются ими в ходе эволюции. При формировании каждого из таких обобщенных свойств завершается один этап эволюции и начинается другой.

Наиболее важное значение для перехода из неживого в живое имеет формирование новых функций ЭОКС при преодолении кинетических пределов развития. Существуют два кинетических предела (КП) – температурный и концентрационный. При преодолении первого КП происходит формирование свойства умножения каталитических функций (свойство однородного роста); при преодолении второго КП формируются свойства точной пространственной редукации ЭОКС в целом (свойство размножения). Формирование свойства самовоспроизведения ЭОКС в целом, приобретаемое при преодолении II КП, является рубежом перехода неживого в живое. Все же другие свойства, характерные для живых организмов, но также присущие и саморазвивающимся ЭОКС, постепенно развиваются и формируются на стадии химической эволюции и переходят в готовом виде к живым системам как их первичные (фундаментальные) свойства. Это: особенности вещественного состава, структурной и функциональной организации систем, способ существования и тип основного метаболизма, цельность систем, динамический тип устойчивости, реакции на воздействия внешней среды и механизм приспособления к ним, наследственный порядок функционирования всей системы в целом, механизм запоминания, хранения и наследования эволюционной генетической информации, способность совершать полезную работу внутри системы, направленную против равновесия, и устойчивое неравновесие системы, свойства однородного роста и т.д. Другими словами, при достижении II КП ЭОКС ни по вещественному составу и структуре, ни по поведению и функциям не отличаются от простейших живых систем, кроме отсутствия функции самовоспроизведения.

Преодоление II КП является рубежом и других существенных изменений в ходе эволюции. В результате этого перехода резко возрастают темп и характер эволюции и тип естественного отбора.

Кинетические пределы объективно делят ход химической эволюции на два этапа: этап первичной химической эволюции (от нулевого пункта до первого КП) и этап добиологической (предбиологической) химической эволюции (от первого до второго КП); после второго КП начинается биологическая эволюция.

При преодолении общего предела химической эволюции химическая форма движения выходит за свои рамки; хотя она исчерпывает себя в химии, но продолжает служить основой более высокой формы биологического движения.

Согласно сказанному, физико-химическим критерием перехода от неживых ЭОКС к живым служит преодоление второго КП, связанное с формированием функции размножения систем. Это

свойство является единственным специфическим свойством живых систем, возникающим при преодолении второго КП, в отличие от всех остальных фундаментальных и обобщенных свойств, переходящих к живым системам от ЭОКС. Развитие и усовершенствование этого свойства лежит в основе последующей биологической эволюции⁷.

(Источник: http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=6696292&lfrom=202213444. **Рождение сложности. Эволюционная биология сегодня. Неожиданные открытия и новые вопросы / Александр Марков. Астрель, Corpus. – М., 2015**)

4. Самая главная химическая реакция

Жизнь на Земле основана на способности автотрофных организмов производить органику из углекислого газа (CO_2). Поэтому тот химический процесс, в ходе которого CO_2 включается в состав органических соединений, «фиксация CO_2 », по праву считается одним из важнейших (если не самым важным) в живой природе.

Большинство организмов использует для фиксации CO_2 циклическую последовательность химических реакций, известную под названием «цикл Кальвина». Ключевой фермент цикла Кальвина называется «рубиско» (это сокращенный вариант труднопроизносимого полного названия «рибулозобисфосфат карбоксилаза/оксигеназа»). Рубиско – самый распространенный в мире фермент. Он присоединяет молекулу CO_2 к органическому веществу, которое называется рибулозобисфосфат (сокращенно – RuBP). Таким образом, молекула углекислого газа оказывается включенной в состав органических соединений.

Недавно выяснилось, что у архей способ фиксации CO_2 отличается от классического цикла Кальвина. Главное отличие состоит в том, что у архей в этом процессе непосредственное участие принимают рибонуклеотиды. Это хорошо согласуется с теорией РНК-мира. Фиксация CO_2 – один из древнейших биохимических процессов, который должен был появиться еще в то время, когда все функции в живых организмах выполнялись молекулами РНК, рибонуклеотидами и их производными. Поэтому следовало ожидать, что и фиксация CO_2 изначально должна была идти под контролем и при активном участии этих молекул.

В цикле Кальвина участвует специальный фермент, ответственный за синтез RuBP. Этот фермент есть у растений и автотрофных бактерий, однако у архей он отсутствует. Поэтому до самого последнего времени было неясно, откуда архей берут RuBP, вещество, абсолютно необходимое для фиксации CO_2 .

Эту загадку удалось разгадать японским биохимикам в 2007 году. Оказалось, что RuBP образуется у архей не из других фосфорилированных сахаров, как в цикле Кальвина, а из молекулы, являющейся составным блоком РНК и выполняющей «по совместительству» множество других функций в живой клетке, – аденозинмонофосфата (АМФ). АМФ – это рибонуклеотид, состоящий, как и все рибонуклеотиды, из азотистого основания (в данном случае аденина), сахара (рибозы) и одного остатка фосфорной кислоты.

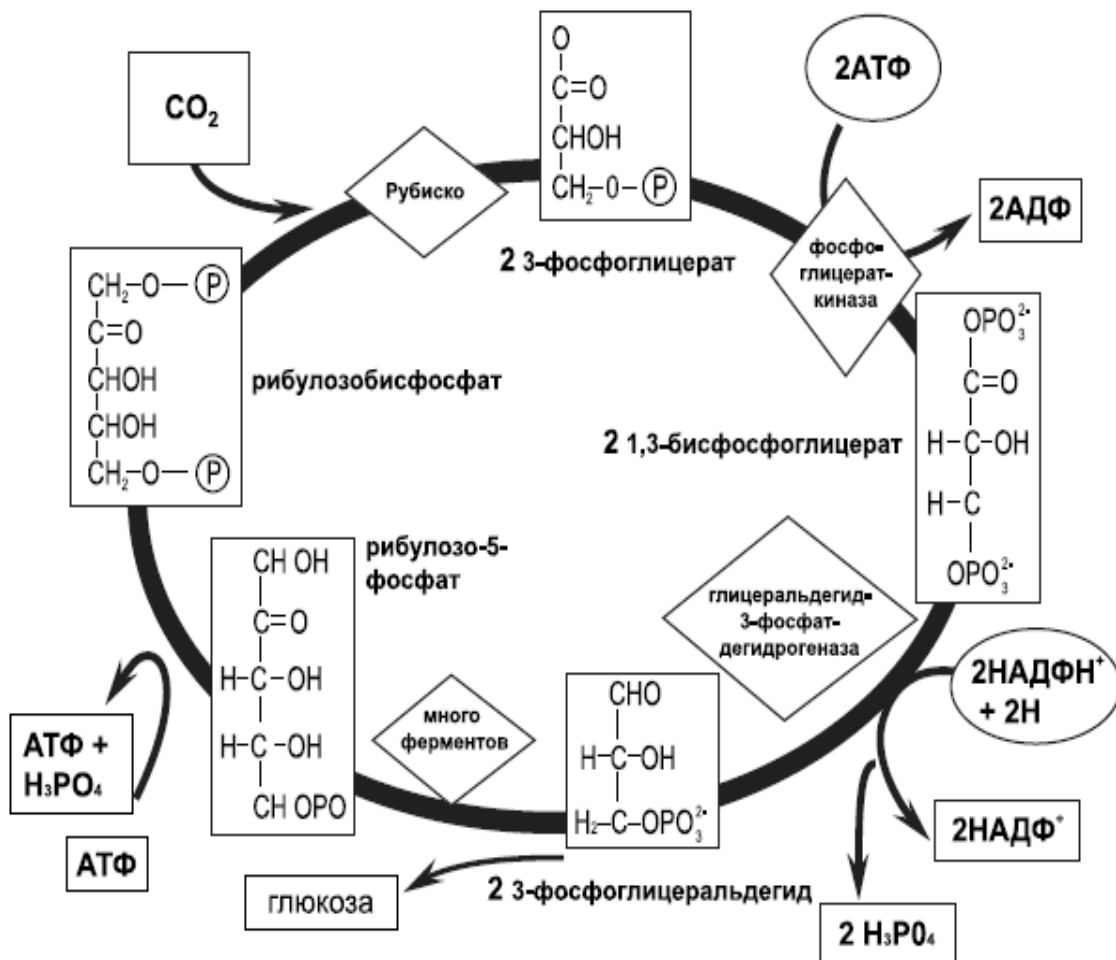
Есть все основания полагать, что этот способ фиксации CO_2 эволюционно древнее, чем цикл Кальвина. Неслучайно он обнаружен именно у архей – организмов, которых многие специалисты считают самыми архаичными формами жизни.

(Источник: **Takaaki Sato, Haruyuki Atomi, Tadayuki Imanaka. Archaeal Type III RuBisCOs Function in a Pathway for AMP Metabolism // Science. – 2007. – V. 315. – P. 1003–1006**)

⁷ В отличие от А.П. Руденко Д.С. Чернавский главным отличительным свойством живых систем от неживых называет наличие и наследование биологической информации у первых, а способность к авторепродукции может реализовываться и в неживой природе в существенно неравновесных условиях. Теоретически рассматривая проблему происхождения жизни, он пришел к выводу о возможности пути непрерывной эволюции и постепенного накопления биологической информации, причем синтез белка в первичных условиях основан, по его мнению, не на принципах генетической информации, а следует законам гетерогенного катализа.

В течение первого миллиарда лет существования прокариотной биосферы (примерно от 4,1 до 3,2 млрд лет назад) одни за другими появлялись новые формы микробов и новые способы получения энергии. В числе первых, по-видимому, появился бескислородный (аноксигенный) фотосинтез (? – 3,2–3,7 млрд лет назад). Его освоили бактерии – предки нынешних зеленых, пурпурных и цианобактерий.

Аноксигенные фотосинтезирующие бактерии научились использовать энергию солнечного света при помощи особых светочувствительных молекул – бактериохлорофиллов и связанных с ними белковых комплексов. Молекулярная «машина», необходимая для осуществления эффективного аноксигенного фотосинтеза, устроена довольно сложно (хотя и намного проще, чем та, что используется оксигенными фотосинтетиками, появившимися позже). По-видимому, эффективный фотосинтез возник не сразу. Начиналось все с того, что некоторые микробы научились немного «подкармливаться» солнечным светом при недостатке других источников энергии. Для такой «подкормки» не нужны сложные молекулярные комплексы – достаточно одного-единственного светочувствительного белка. Недавно выяснилось, что подобные архаичные, простые и малоэффективные способы утилизации солнечного света до сих пор очень широко распространены в мире прокариот. Стало ясно, что способность к росту за счет энергии солнечного света (фототрофность) распространена в живой природе гораздо шире, чем считалось до сих пор.



Цикл Кальвина – важнейший биохимический процесс в живой природе, в ходе которого неорганический углерод вводится в состав органических молекул

Часть III. ЖИВЫЕ СИСТЕМЫ

Они, повторяю, не сказали ни слова правды, а от меня вы услышите всю правду. Только, клянусь Зевсом, афиняне, вы не услышите разнаряженной речи, украшенной, как у них, разными оборотами и выражениями, я буду говорить просто, первыми попавшимися словами – ведь я убежден в правоте моих слов, – и пусть никто из вас не ждет ничего другого; да и не пристало бы мне в моем возрасте выступать перед вами, афиняне, наподобие юноши, с сочиненной речью.

Платон

Биология, физика и химия – концептуальные разделы естествознания, которые позволяют изучать структуру и функции живых информационных систем вплоть до людей (Номо) современного типа. Сведения, касающиеся их видовой принадлежности, происхождения и эволюции, получены при исследованиях в области палеоантропологии, генетики, а также в эволюционной психологии и позволяют ответить на многие вопросы, давно интересующие человека разумного. Часть таких ответов будет представлена в последующих лекциях. В то же время, не являясь специалистами и уж тем более высокими профессионалами в этих областях знаний, авторы не претендуют на полное и всеобъемлющее изложение данных по эволюционной биологии человека или детальный анализ представлений об антропогенезе. Кроме того, авторы не владеют в должной мере научным языком **генетиков, антропологов и, особенно, эволюционистов – психологов**, поэтому стиль изложения с многочисленными заимствованиями из публикаций настоящих специалистов может вызвать у многих из них ироническую улыбку. В этой связи уместно напомнить указ Петра Первого: «Пехотному офицеру, проезжающему мимо кавалерийской части, надлежит спешиться и провести коня под уздцы, дабы видом своим не вызывать насмешки настоящих кавалеристов». «Просим как, профессионалов, так и обычных читателей считать, что в этой части авторы спешились».

Неудивительно, что случай имеет над нами такую огромную власть; ведь то, что мы живем, – тоже случайность.

Сенека

16. ЭВОЛЮЦИЯ.

АКСИОМЫ БИОЛОГИИ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ КОНСТАНТЫ

«Людвиг Больцман назвал XIX столетие веком Дарвина. Он полагал, тем самым, что теория эволюции Дарвина, основанная на принципе естественного отбора, является наиболее значительным открытием XIX века. Такой вывод может показаться неожиданным.

Действительно, XIX век был богат великими открытиями в естествознании, в частности в физике. Ведь XIX век – это век термодинамики, созданной в значительной мере трудами Сади Карно, Рудольфа Клаузиуса и Вильяма Томсона. Это век электромагнитной теории Майкла Фарадея и Джеймса Максвелла.

В XIX веке были заложены и основы современной молекулярно-кинетической теории материи. Одним из ее основателей, наряду с Джеймсом Максвеллом, был сам Людвиг Больц-

ман. Именно он предложил первое кинетическое уравнение для описания необратимых процессов в газах. Оно описывает, в частности, установление равновесного состояния в газе.

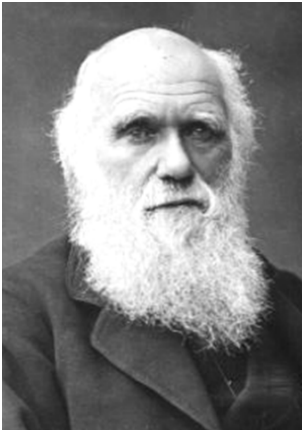
При этом Больцман фактически радикально изменил модель макроскопической среды – разреженного газа. Вместо модели частиц газа, движение которых описывается системой обратимых уравнений Гамильтона, он использовал модель сплошной среды в шестимерном фазовом пространстве координат и компонент импульса.

Больцман также ввел впервые и статистическое определение одной из основных характеристик термодинамики – энтропии. Он доказал знаменитую *H*-теорему Больцмана о возрастании энтропии во внешне замкнутой системе. Переоценить заслуги Больцмана просто невозможно. И все же именно Больцман определил XIX век как век Дарвина. Тем самым на первое место он поставил теорию биологической эволюции.

В чем же дело?

Во времена Больцмана не существовало каких-либо математических моделей биологической эволюции. Больцман, однако, был уверен, что развитая им теория временной эволюции газа будет обобщена и на открытые системы. Теория эволюции Дарвина была первым шагом в теории эволюции открытых систем. Больцман был одним из немногих, кто понял важность этого «первого шага». Это и определило его оценку теории Дарвина как величайшего открытия XIX века.

Таким образом, уже на пороге XX столетия стало ясно, что задача развития теории неравновесных процессов в физических и биологических системах является одной из важнейших в естествознании. Оказалось, однако, что от понимания важности проблемы до ее даже далеко неполного решения потребовалось почти целое столетие» (Климонтович Ю.Л. Введение в физику открытых систем. – М.: Янус-К, 2002. – 284 с.).



Чарлз Роберт Дарвин (12.02.1809 – 19.04.1882) – английский натуралист и путешественник, одним из первых пришедший к выводу и обосновавший идею о том, что все виды живых организмов эволюционируют во времени и происходят от общих предков. В своей теории, развернутое изложение которой было опубликовано в 1859 г. в книге «Происхождение видов», основным механизмом эволюции Дарвин назвал естественный отбор. Позднее развивал теорию полового отбора. Ему также принадлежит одно из первых обобщающих исследований о происхождении человека. Генетика, как наука, тогда еще не существовала.



Грегор Иоганн Мендель (20.07.1822 – 06.01.1884) – австрийский биолог и ботаник, монах-августинец, аббат. Основатель учения о наследственности, позже названного по его имени менделизмом. Открытие им закономерностей наследования моногенных признаков (эти закономерности известны теперь как законы Менделя) стало первым шагом на пути к современной генетике.

Важнейшим аргументом креационистов является утверждение о невозможности самопроизвольного развития сложных структур из простых на основе случайных изменений. Часто при этом приводят второе начало термодинамики, согласно которому невозможен самопроизвольный рост упорядоченности, а сам собой возрастает только хаос.

Подобные рассуждения избыточны логическими ошибками: аналогии не соответствуют объясняемому феномену, а физические законы привлекаются не к месту, то есть делается попытка применить их за пределами установленной для них области применимости. Ранее мы уже говорили, что второе начало термодинамики справедливо только для изолированных систем, которые не получают энергии из внешней среды. Живые организмы, напротив, всегда получают энергию извне и, расходуя часть этой энергии на повышение упорядоченности внутри себя, создают при этом упорядоченный хаос снаружи. Поэтому никакого противоречия между развитием жизни и вторым началом термодинамики просто не существует. О возможности самоорганизации – самопроизвольного рождения порядка из хаоса мы уже говорили ранее, там же была показана возможность экспериментальной проверки и теоретически обосновано само явление самоорганизации для самых разных типов открытых неравновесных систем. Обо всем этом мы уже говорили ранее в соответствующих лекциях.

Кроме того, говоря о «случайности», якобы лежащей в основе предполагаемых механизмов эволюции, креационисты занимаются откровенным передергиванием. Они спекулируют на многозначности и расплывчатости термина «случайность». В действительности эволюция основана не на случайностях, а на вполне строгих закономерностях (о которых мы еще будем говорить). Даже мутации, которые до недавнего времени действительно было принято считать случайными, на самом деле далеко не всегда таковы (см. главу «Управляемые мутации» в книге А.В. Маркова «Рождение сложности» [21]). Дарвиновский механизм естественного отбора сам по себе вполне достаточен для того, чтобы придать эволюционному процессу упорядоченность. Пусть даже первичные изменения (мутации) происходят случайно – благодаря действию отбора запоминание системой произошедших изменений происходит уже не случайно, а строго закономерно. Это избирательное запоминание и производит новую информацию и новую сложность. Следует заметить, что математикам (и не только им) хорошо известна так называемая *S*-теорема Ю.Л. Климонтовича, представляющая собой строгое математическое доказательство того, что новая информация (или «отрицательная энтропия», упорядоченность) порождается сочетанием случайного изменения состояния системы с последующим необходимым (избирательным) запоминанием результатов изменения. Иными словами, эволюционный механизм, предложенный Дарвином, является совершенно адекватным и достаточным объяснением самопроизвольного усложнения живых систем в ходе эволюции – как с точки зрения биологии, так и с точки зрения физики и математики (См. Борисов Н.М. Эволюция, случайность, энтропия (о том, как Дарвин и Клаузиус оказались правыми одновременно) <http://evolbiol.ru/evidence10.htm#borisov1>).

Основная задача биологии состоит в том, чтобы понять все явления живой природы исходя из научных законов, учитывая при этом, что ***целому организму присущи свойства, в корне отличающиеся от свойств частей, его составляющих.***

Как это ни странно, но мы не можем пока дать строгого определения жизни и не можем сказать, как и когда она возникла. Максимум того, что пока возможно – это перечислить и описать те признаки, которые отличают ее от неживой материи и высказать научные гипотезы о ее происхождении и эволюции. Перечислим некоторые основные признаки живых систем: питание, дыхание, раздражимость, подвижность, выделение, размножение, рост изнутри (кристаллы растут с поверхности). Перечисленные признаки – лишь наблюдаемые проявления главных свойств живой материи, то есть ее способность извлекать, превращать и использовать энергию, получаемую извне. Они вам известны из курса школьной биологии и не нуждаются в комментариях. Кроме них существуют, конечно, и другие, не менее «главные».

«Общепринятого определения жизни не существует (в биологии вообще с определениями трудно – обычно, чем строже определение, тем хуже оно работает). Одни ученые полагают, что жизнь – скорее процесс, чем структура, и определяют ее, например, как «процесс сохранения неравновесного состояния органической системы извлечением энергии из среды». Такому определению могут соответствовать и системы, не имеющие четких пространственных границ, – автокаталитические циклы, «живые растворы». Другие подчеркивают обязательную дискретность живых объектов и считают, что понятие «жизнь» неотделимо от понятия «организм». Третьи подчеркивают информационную природу жизни и определяют ее как способность некоего фраг-

мента информации («репликатора») к самокопированию с использованием ресурсов внешней среды. Под это определение подходят не только биологические вирусы, но и компьютерные и даже распространяющиеся в обществе слухи, верования и т.п. Но это, пожалуй, чересчур широкий взгляд на жизнь» (Марков А.В. Рождение сложности. Эволюционная биология сегодня. Неожиданные открытия и новые вопросы. Астрель Corrus. – М., 2015).

Нам известна только одна жизнь – земная, и мы не знаем, какие из ее свойств являются обязательными для любой жизни вообще. Рискнем, однако, несколько таких свойств все-таки назвать. В этой лекции они будут сформулированы в виде аксиом. Кроме того, предварительно сформулируем два основных положения, которые (рискнем опять предположить) являются общими для любого варианта жизни. Это, во-первых, наличие наследственной информации, во-вторых – активное осуществление функций, направленных на самоподдержание и размножение, а также на получение энергии, необходимой для выполнения всей этой работы.

Все живое на Земле справляется с перечисленными задачами при помощи трех классов сложных органических соединений: ДНК, РНК и белков. ДНК взяла на себя первую задачу – хранение наследственной информации. Белки отвечают за вторую: они выполняют все виды активных «работ». Разделение труда у них очень строгое. Белки не хранят наследственную информацию, ДНК не совершает активной работы (в биологии, в отличие от физики, почти не бывает правил без исключений, в данном случае исключения тоже есть, но очень редкие и не делающие погоды¹).

Молекулы третьего класса веществ – РНК – служат посредниками между ДНК и белками, обеспечивая считывание наследственной информации. При помощи РНК осуществляется синтез белков в соответствии с записанными в молекуле ДНК «инструкциями». Некоторые из функций, выполняемых РНК, очень похожи на функции белков (активная работа по прочтению генетического кода и синтезу белка), другие напоминают функции ДНК (хранение и передача информации). И все это РНК делает не в одиночку, а при активном содействии со стороны белков. На первый взгляд, РНК кажется «третьей лишней». В принципе нетрудно представить себе организм, в котором РНК вовсе нет, а все ее функции поделили между собой ДНК и белки. Правда, таких организмов в природе не существует.

Тем, кто совсем позабыл школьный курс биологии и напрочь не помнит, что такое транскрипция, трансляция, рибосомы, каково химическое строение белков и к какому классу биополимеров относится словосочетание «двойная спираль», могут подсмотреть необходимую информацию, например, вот здесь:

<http://www.fizhim.ru/student/files/biology/biolections/lection05.html> или здесь:

<http://vadim-blin.narod.ru/axiomatica/main.htm>.

¹ Полезно знать, откуда взято употребление фразы «Исключение подтверждает правило». Эту фразу, которая, очевидно, нелогична, применяют совершенно неверно. Выражение это образовалась как парафраз из речи Цицерона в защиту Луция Корнелия Бальба старшего. Обвиняли его в том, будто бы он получил римское гражданство незаконно. Дело слушалось в 56 г. до н.э. Бальб был уроженцем Гадеса (совр. название Кадис), служил под началом Помпея, с которым сошелся и был дружен; Помпей и был спонсором его гражданства. Подоплека обвинения была, как и в большинстве тогдашних громких дел, политической. Хоть сам Бальб был активен политически, но удар, безусловно, направлялся на триумвиров Первого триумvirата (Цезаря, Красса и Помпея). В защиту Бальба выступали не только Цицерон, но и Помпей и Красс. Дело было выиграно. В своей речи Цицерон приводит такой аргумент. В некоторых межгосударственных соглашениях о взаимном признании Рима с соседними странами был пункт, явно исключающий двойное гражданство: жители тех стран не могли стать римскими гражданами, не отказавшись сперва от своего. Гражданство Бальба было двойным; это и была формальная сторона обвинения. Цицерон говорит, что, поскольку в некоторых соглашениях такое исключение есть, то те соглашения, в которых его нет, подчиняются противоположному правилу, а именно позволяют двойное гражданство. Иными словами, если существует исключение, то должно быть и правило, из которого это исключение сделано, даже если это правило явно никогда не формулировалось. Таким образом, существование исключений подтверждает существование правила, из которого эти исключения делаются. Не исключения подтверждают правило, а существование исключений подтверждает существование правила!

Приведем теперь один принципиально важный пример, который мы называем «нулевой аксиомой биологии». Нулевой потому, что в свое время Б.М. Медников предложил биологическую аксиоматику, состоящую из четырех аксиом [16]. Эти аксиомы мы изложим позже «нулевой».

Нулевая аксиома

В 1847 г. Л. Пастер сделал фундаментальное открытие, которое долгое время не находило объяснения и по достоинству было оценено фактически в последние годы. Л. Пастер обнаружил, что в живых организмах аминокислоты и сахара являются оптически активными. То есть, они вращают плоскость поляризации (двойку векторов напряженности электрического \mathbf{E} и магнитного \mathbf{H} полей вокруг вектора скорости \mathbf{v}) падающего на них оптического излучения. Удивительным оказался при этом следующий факт. Все природные аминокислоты – левосторонние стереоизомеры, т.е. плоскость \mathbf{EH} вращается влево (рис. 18а). Все природные сахара – правосторонние стереоизомеры, т.е. плоскость \mathbf{EH} вращается вправо (рис. 18б).

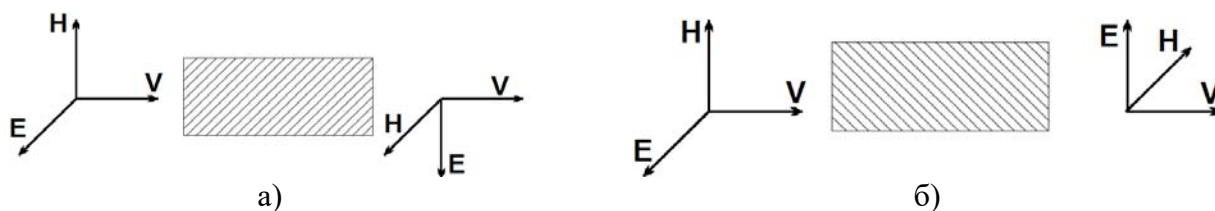


Рис.18. Вращение плоскости поляризации в оптически активной среде:
а) левосторонний стереоизомер; б) правосторонний стереоизомер

При искусственном синтезе этих биохимических соединений образуются смеси оптически неактивные (в них равное количество лево- и правовращающих молекул), что является, с термодинамической точки зрения, наиболее выгодным состоянием. Поэтому открытие Л. Пастера представляет собой не только один из важных признаков, отличающих живое от неживого, но и требует объяснения указанной асимметрии. Другими словами, любая научная гипотеза, делающая попытки объяснить происхождение жизни, должна включать в себя объяснение условий, при которых из первоначально симметричной системы возникла *киральная система* – система с *нарушенной симметрией* (вспомните наш разговор о симметрии в лекции 3, третий пример).

Одно из таких первых объяснений принадлежит Л.Л. Морозову и было сделано в начале 80-х годов XX века (в настоящее время появились и другие теории (см. [17])). Вы теперь достаточно подготовлены, чтобы понять его. Вкратце выводы Л.Л. Морозова следующие. Нет никаких механизмов (*вообще-то это не совсем так*), в результате которых кiralно чистые системы могли сформироваться эволюционным путем. Тогда, как вы знаете, остается еще возможность формирования системы с нарушенной (сниженной) симметрией в результате бифуркации при самоорганизации.

Таким образом, возникновение жизни следует рассматривать как «благоприятную» катастрофу, происшедшую в точке бифуркации. Ясно, что при таком подходе теория объяснения жизни должна перейти в область физики конденсированного состояния и кооперативных явлений. Кроме того, самовоспроизведение на молекулярном уровне кiralно чистых систем, являясь проблемой физической теории, становится еще одним признаком живого.

В настоящее время эволюционные теории происхождения жизни заменяются теориями скачка, основанными на теории бифуркаций и катастроф. Тем самым появляется, в принципе, возможность рассчитать время происхождения жизни. Совокупность указанных представлений сформировала представление о «биологическом взрыве».

Сформулируем теперь нулевую аксиому в следующем виде (Хапачев Ю.П. Фундаментальные константы химии и биологии // Российский химический журнал (Журнал Российского химического общества им. Д.И. Менделеева). – 2000. – Т. 44. – Вып. 3. – С. 3–6.).

Аксиома 0. Естественное происхождение жизни связано с появлением киральной асимметрии ее основных носителей, что проявляется в отборе определенных форм киральных носителей.

В такой формулировке утверждение аксиомы функционально, т.е. не зависит от того, на основе каких носителей устроена жизнь (это может быть и не наша земная жизнь). Важно следующее. Если жизнь возникла в процессе самоорганизации, то с необходимостью возникает отбор определенных форм (левых или правых) киральных носителей. При искусственном возникновении этого могло и не быть, если, конечно, не предположить, что те, кто создавал нашу с вами жизнь, специально нарушил соотношение между правыми и левыми киральными формами, дабы мы, созрев до нынешнего понимания самоорганизации, так и не могли бы решить вопрос о том, как и кем все-таки она создана.



Луи Пастёр (27.12.1822 – 28.09.1895) – французский микробиолог и химик, член Французской академии (1881). Пастер, показав микробиологическую сущность брожения и многих болезней человека, стал одним из основоположников микробиологии и иммунологии. Его работы в области строения кристаллов и явления поляризации легли в основу стереохимии. Также Пастер поставил точку в многовековом споре о самозарождении некоторых форм жизни в настоящее время, опытным путём доказав невозможность этого (см. Зарождение жизни на Земле). Его имя широко известно в ненаучных кругах благодаря созданной им и названной позже в его честь технологии пастеризации².

Перейдем теперь к формулировке остальных аксиом биологии, впервые сформулированных Б.М. Медниковым. (Медников Б.М. Аксиомы биологии. *Biologia axiomatica*. – М.: Знание. 1982. – 136 с.).

² Изобретатель консервов Николя Аппер.

«Ладзаро Спалланцани, воодушевленный открытиями Левенгука, обнаружил, что микробы тоже размножаются – делятся пополам, давая начало таким же микроорганизмам. Мало того, когда он кипятил бульон и плотно закрывал его крышкой, никаких микробов там не появлялось. Конечно, это был чисто научный спор о зарождении живых существ, так сказать, исследование начала начал, но и кое-какая практическая польза из этого вышла. Об опытах Спалланцани прознал французский повар по имени Николя Аппер. В микробах, происхождении жизни, витализме и прочих энтелехиях он ничего не понимал, зато отлично разбирался в мясных подливках и бульонах, которые Спалланцани использовал в качестве питательной среды. А как раз в это время Наполеон ввиду грядущих военных кампаний был обеспокоен вопросами снабжения армии. Ведь армейская кухня вынуждена была вести за собой в обозе целые стада и грабить население – а это для дальновидного военачальника ненадежные и неудобные способы снабжения. Поэтому Наполеон в 1804 г. подал в Сенат прошение об учреждении премии тому, кто изобретет способ долгого хранения продуктов. Сенат, естественно, так и сделал (Наполеон к этому времени уже был пожизненным Первым консулом), учредив внушительную по тем временам премию в 12 тыс. франков. И Аппер решил во что бы то ни стало ее получить. Повар подумал, что ученый монах подкинул неплохую идею: сделать жаркое, прокипятить его, положить в чистую банку и хорошенько закупорить. Так были изобретены консервы, и изобретателем их по сей день считается Аппер. А нам с вами нужно хорошо понимать, что люди с практической сметкой даже из самого отвлеченного теоретического знания могут извлечь пользу – если, конечно, эти теории покоятся на реальных законах природы». А.В. Марков (там же).

Первая аксиома

Дж. фон Нейман, опираясь на результаты работ Н. Винера по кибернетике и К. Шенона по теории информации, поставил в свое время следующую задачу. Возможно ли построить такую машину, которая, следуя заложенной в ней инструкции, сама создала бы точную копию самой себя? Иными словами, возможно ли построить саморазмножающийся автомат? Задача была решена, и при этом выяснилось следующее. Во-первых, создать такую машину можно, но существует определенный порог сложности, ниже которого она не может воспроизвести себе подобную. Предельная сложность, кстати, оказалась не столь уж и большой, порядка миллиона бит, т.е. машина должна состоять не меньше чем из 10000 элементов. Другой вопрос, конечно, что это за элементы, как их скомпоновать и т.д., но важнее, как мы увидим, другое.

Казалось, все просто на пути «биологического» размножения аппаратов. Но оказалось, и это получалось из решения задачи, «дочерняя» машина будет бесплодной, как мул, ибо в ней нет уже программы с воспроизводством. Поэтому для появления третьего поколения, в «материнской» машине надо предусмотреть копирующее устройство, передающее по наследству еще и копию программы. Таким образом, согласно Дж. фон Нейману, по наследству передается не структура, а описание структуры и инструкция по ее изготовлению. В итоге, весь процесс размножения состоит из двух различных операций: копирования программы, называемой *генотипом*, и конструирования собственно организма – *фенотипа*. В итоге первую аксиому можно сформулировать в следующем виде.

Аксиома 1. Все живые организмы должны быть единством фенотипа и генотипа (программы для построения фенотипа), передающегося по наследству от поколения к поколению.

В такой формулировке эта аксиома также функциональна. Она не связана с какими-либо конкретными химическими веществами, обуславливающими жизнь. В земных условиях основа фенотипа – белки, основа генотипа – нуклеиновые кислоты. Здесь мы не останавливаемся на открытой недавно особой форме наследственности. Так называемые прионные белки способны передавать информацию о своей пространственной форме от одного белка к другому без участия ДНК. В другой галактике или планетной системе жизнь может быть построена на другой структурной основе, но по единому для всей Вселенной принципу аксиомы 1. То есть принцип раздельного копирования фенотипа и генотипа остается незыблемым. Жизнь же на основе только одного фенотипа или одного генотипа невозможна, так при этом нельзя обеспечить ни самовоспроизведения самой структуры, ни ее самоподдержания.

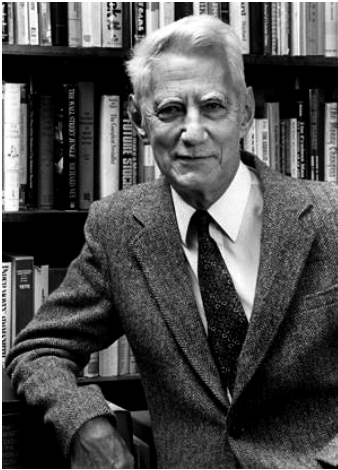


Джон фон Нейман (28.12.1903 – 8.02.1957) – венгеро-американский математик еврейского происхождения, сделавший важный вклад в квантовую физику, квантовую логику, функциональный анализ, теорию множеств, информатику, экономику и другие отрасли науки.

Наиболее известен как человек, с именем которого связывают архитектуру большинства современных компьютеров (так называемая архитектура фон Неймана), применение теории операторов к квантовой механике (алгебра фон Неймана), а также как участник Манхэттенского проекта и как создатель теории игр и концепции клеточных автоматов.



Норберт Вйнер (26.11.1894 – 18.03.1964) – американский учёный, выдающийся математик и философ, основоположник кибернетики и теории искусственного интеллекта.



Клод Элвуд Шеннон (30.04.1916 – 24.02.2001) – американский инженер, криптоаналитик и математик. Считается «отцом информационного века». Является основателем теории информации, нашедшей применение в современных высокотехнологических системах связи. Предоставил фундаментальные понятия, идеи и их математические формулировки, которые в настоящее время формируют основу для современных коммуникационных технологий. В 1948 г. предложил использовать слово «бит» для обозначения наименьшей единицы информации (в статье «Математическая теория связи»). Кроме того, понятие энтропии было важной особенностью теории Шеннона. Он продемонстрировал, что введённая им энтропия эквивалентна мере неопределённости информации в передаваемом сообщении.

Статьи Шеннона «Математическая теория связи» и «Теория связи в секретных системах» считаются основополагающими для теории информации и криптографии. Клод Шеннон был одним из первых, кто подошёл к криптографии с научной точки зрения, он первым сформулировал её теоретические основы и ввёл в рассмотрение многие основные понятия. Шеннон внёс ключевой вклад в теорию вероятностных схем, теорию игр, теорию автоматов и теорию систем управления – области наук, и входящие в понятие «кибернетика».

Вторая аксиома

В 1927 г. на III Всесоюзном съезде зоологов, анатомов и гистологов в Ленинграде выдающимся биологом Н.К. Кольцовым фактически была четко сформулирована вторая аксиома биологии. Этот принцип остается до сих пор незыблемым, хотя с тех пор представления о природе наследственных молекул кардинально изменились. Сформулируем ее также в функциональном виде.

Аксиома 2. *«Наследственные молекулы» синтезируются матричным путем. В качестве матрицы, на которой строится ген будущего поколения, используется ген предыдущего поколения.*

В 50-х годах XX века структура «наследственной молекулы» была расшифрована будущими Нобелевскими лауреатами Ф. Криком и Дж. Уотсоном, которые также показали, что в ней самой заложена способность к матричному копированию. Веществом наследственности для нашей жизни оказались *дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК)*, а для некоторых вирусов – *рибонуклеиновая кислота (РНК)*.

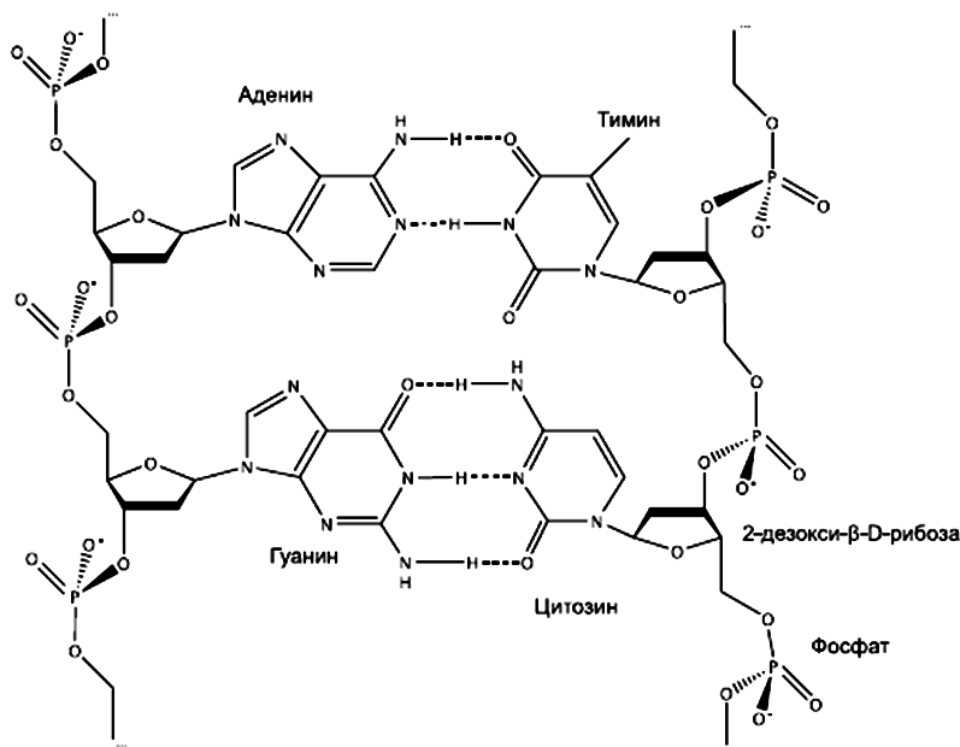
Таким образом, вторая аксиома постулирует, что жизнь (в своей статике) – это матричное копирование с последующей самосборкой копий. Сам принцип матричного копирования основан на свойстве *комплементарности* нуклеотидных остатков. Комплементарность же обусловлена определенным видом химической связи, так называемой водородной связи. ~~Роль «копировальной бумаги» играют так называемые транспортные РНК (т-РНК). Они~~

~~«подходят» к ДНК, и на них, согласно принципу комплементарности, создаются соответствующие фрагменты, затем, уже в другом месте, опять же, согласно комплементарности, от этой транспортной РНК создается новая ДНК, тождественная первоначальной.~~

РНК – полимер, состоящий из множества похожих «кирпичиков» – рибонуклеотидов, каждый из которых, в свою очередь, собран из трех частей. Первая из них – фосфорная кислота (фосфат), неорганическое вещество, которого довольно много в земной коре и океанах. Вторая – азотистое основание. В состав РНК входят четыре азотистых основания: А (аденин), У (урацил), Г (гуанин) и Ц (цитозин); соответственно, существует четыре вида рибонуклеотидов. Азотистые основания могли синтезироваться из неорганических молекул (таких как CO, HCN и NH₃ еще в протопланетном облаке. Их находят и в метеоритах. Третья – сахар рибоза – образуется в ходе автокаталитической реакции Бутлерова.

Четыре составных блока молекулы РНК – нуклеотиды аденозин (аденин + рибоза), гуанозин (гуанин + рибоза), уридин (урацил + рибоза) и цитидин (цитозин + рибоза), к каждому из которых присоединено по одному остатку фосфорной кислоты. АТФ (главная энергетическая молекула живой клетки) представляет собой аденозин с тремя фосфатами.

В молекуле ДНК урацила нет, вместо него там Т (тимин) причем, взаимно комплементарны А–Т и Г–Ц. Таким образом, молекулы ДНК (как и РНК) способны к самокопированию, правда, для этого нужны катализаторы – белки или рибозимы. Наследственная информация, хранящаяся в ДНК в виде последовательности нуклеотидов, может «переписываться» на РНК (так создаются матричные РНК, мРНК) и обратно. Точность копирования обеспечивается в значительной мере автоматически – благодаря особому свойству нуклеотидов, которое называют свойством комплементарности: против каждого нуклеотида исходной молекулы (матрицы) в синтезируемой копии (реплике) может встать только один, строго определенный нуклеотид из четырех возможных. Например, против гуанина (Г всегда становится цитозин (Ц), напротив урацила (У) или замещающего его в молекуле ДНК тимина (Т) – только аденин (А). Когда на этой реплике синтезируется новая реплика, она окажется точной копией исходной молекулы.



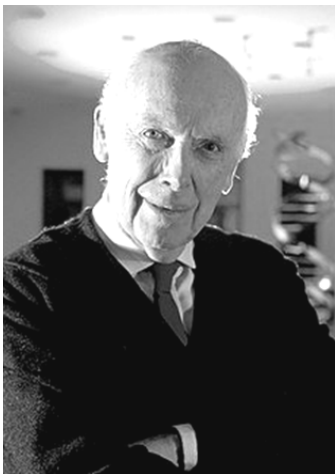
Фрагмент двойной цепи ДНК. По краям – «скелеты» одиночных цепей, составленные из остатков дезоксирибозы и фосфорной кислоты. В центре – две пары азотистых оснований, соединенных друг с другом по принципу комплементарности. Между аденином (А) и тиминном (Т) образуются две водородные связи, между гуанином (Г) и цитозином (Ц) – три. Поэтому аденин может склеиться только с тиминном, а гуанин – только с цитозином

Генетический код – это универсальный для всех живых существ способ, посредством которого первичная структура белковой молекулы (последовательность аминокислот) «кодируется» в молекуле ДНК (или РНК). Каждая аминокислота кодируется тремя нуклеотидами (кодоном, или триплетом). Нуклеотидов в ДНК всего 4, поэтому они могут образовывать $4^3 = 64$ разных триплетов. Аминокислот в белках всего 20, поэтому генетический код «избыточен»: многие аминокислоты кодируются не одним, а несколькими взаимозаменяемыми кодонами. Считывание генетической информации происходит в два этапа. Сначала информация «переписывается» с ДНК на РНК (транскрипция). Эту операцию осуществляет специальный фермент – ДНК-зависимая РНК-полимераза. Полученная в результате транскрипции молекула РНК, содержащая «инструкцию» по синтезу белка, называется матричной РНК (мРНК). Выполнение этой «инструкции», то есть синтез белка (трансляция), осуществляется рибосомами. Подробнее это можно прочитать в книге Марокова А.В. «Рождение сложности».



Никола́й Константи́нович Ко́льцо́в (3(15).07.1872 – 02.12.1940) – русский биолог, основатель русской советской школы экспериментальной биологии, автор основополагающей идеи матричного синтеза хромосом. Член-корреспондент Петербургской академии наук с 1916 г. (Академии наук СССР – с 1925 г.), академик ВАСХНИЛ (1935 г.). Заслуженный деятель науки РСФСР (1934 г.).

Известные ученики: И.А. Рапопорт, Н.В. Тимофеев-Ресовский, В.П. Эфроимсон, Н.П. Дубинин.

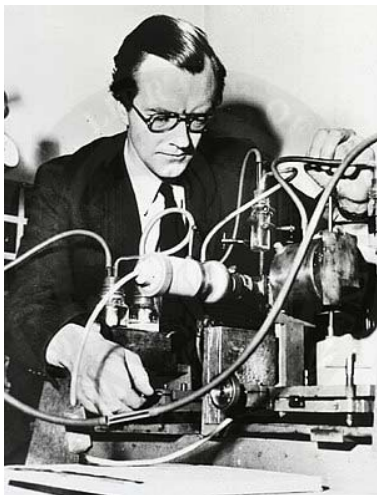


Джеймс Дьюи Уотсон (род. 6.04.1928) – американский биолог. Лауреат Нобелевской премии по физиологии и медицине 1962 г. – совместно с Фрэнсисом Криком и Морисом Х.Ф. Уилкинсом за открытие структуры молекулы ДНК.

В 1952 г. Уотсон и Крик стали работать над моделированием структуры ДНК. Используя правила Чаргаффа и рентгенограммы Розалинд Франклин и Мориса Уилкинса – они построили двухспиральную модель. Результаты работы опубликовали 30 мая 1953 года в журнале Nature.



Фрэнсис Крик (08.06.1916 – 28.07.2004) – британский молекулярный биолог, биофизик и нейробиолог. Лауреат Нобелевской премии по физиологии и медицине 1962 г. – совместно с Джеймсом Д. Уотсоном и Морисом Х.Ф. Уилкинсом с формулировкой «за открытия, касающиеся молекулярной структуры нуклеиновых кислот и их значения для передачи информации в живых системах»



Морис Хью Фредерик Уилкинс (15.12.1916 – 05.10.2004) – английский физик и молекулярный биолог, лауреат Нобелевской премии по физиологии и медицине 1962 г. (совместно с Джеймсом Уотсоном и Фрэнсисом Криком) «за открытия, касающиеся молекулярной структуры нуклеиновых кислот и их значения для передачи информации в живой материи». Внёс вклад в такие области научного знания, как фосфоресценция, разделение изотопов, оптическая микроскопия и рентгеновская дифракция, а также усовершенствовал радар. Морис Уилкинс широко известен благодаря работе по определению структуры ДНК в Королевском колледже Лондонского университета (King's College London).



Розалинд Франклин (25.07.1920 – 16.04.1958) – английский биофизик и учёный-рентгенограф, занималась изучением структуры ДНК.

Розалинд Франклин известна в большей степени своей работой над получением рентгенограмм структуры ДНК. Сделанные ею снимки отличались особой чёткостью и, по некоторым сведениям, послужили основанием для выводов о структуре ДНК, сделанных и опубликованных впоследствии в журнале «Nature» работавшими в Кавендишской лаборатории Кембриджского университета Джеймсом Уотсоном и Фрэнсисом Криком.

После завершения работы над своей частью исследования ДНК Франклин начала первую в своём роде работу по исследованию вирусов табачной мозаики и полиомиелита. Скончалась от рака в 1958 г., за четыре года до вручения Нобелевской премии за исследование нуклеиновых кислот.

Третья аксиома

Установлено, чтобы вызвать единичную *мутацию* – наследственное изменение генетической программы – требуется подвести к ДНК *минимальную энергию* $E_{min} \sim 2,5 \div 3$ эВ. Средняя же энергия теплового движения молекул, окружающих ДНК при обычных для живого организма температурах, составляет примерно $E_{cp} = 0,025$ эВ. То есть, при физиологических температурах ДНК оказывается достаточно стабильной. Но проблема не так проста, как кажется на первый взгляд. Как вы уже знаете, скорости молекул при хаотическом движении неодинаковы даже в состоянии термодинамического равновесия. Они подчиняются распределению Максвелла. Следовательно, всегда существуют молекулы с такими скоростями, энергия которых достаточна для того, чтобы нарушить структуру гена и вызвать мутацию (важно, что это результат того, что $E_{cp} > E_{min}$). Такие изменения генетических программ (и это фактически следствие распределения Максвелла) обладают следующими свойствами.

Они случайны, непредсказуемы и не направлены. Поэтому эти мутации только случайно могут оказаться адаптированными, приспособительными.

Но не температура играет доминирующую роль в процессе мутагенеза. Гораздо большее значение имеют кванты жесткого излучения (ультрафиолет, рентгеновские лучи, гамма-кванты), быстрые элементарные частицы и молекулы веществ, способные реагировать с ДНК (химические мутагены).

В том случае, когда мутацию вызывает квант или частица, начинает проявлять себя принцип неопределенности Гейзенберга. Дело здесь в том, что так называемый *радиус эффективного обмена* (размер области, до которой необходимо довести энергию для мутации

гена), впервые измеренный Н.В. Тимофеевым–Ресовским и К. Циммерманом, составляет $R_{eff} \approx 10^{-7}$ см. Поскольку размеры области известны (это микромир), то импульс известен лишь с неопределенностью порядка константы \hbar , следовательно, процесс мутагенеза и в этом случае также вероятностен. Аналогичная вероятностная картина возникает и при рассмотрении других мутагенов. Подводя итог, можем сформулировать следующий принцип.

Аксиома 3. В процессе передачи от поколения к поколению генетические программы, в результате многих причин, изменяются случайно и ненаправленно, и лишь случайно эти изменения оказываются приспособительными.

Как вы видели, эта аксиома основана на важнейших принципах статистической физики и принципе неопределенности В. Гейзенберга. Получается, что третья аксиома напрямую зависит от физических принципов, и ее существование обусловлено наличием двух характерных параметров E_{min} и R_{eff} , которые являются своеобразными **фундаментальными биологическими константами** ([2] Хапачев Ю.П. Фундаментальные константы химии и биологии // Российский химический журнал (журнал Российского химического общества им. Д.И. Менделеева). – 2000. – Т. 44. – Вып. 3. – С. 3–6., а также [24]). Здесь важно понять, что эти параметры являются фундаментальными константами, и притом не численными, а смысловыми. То есть, для осуществления случайного и ненаправленного изменения генетических программ важно не их численное значение (для жизни не на основе ДНК, а на какой-либо другой основе численные значения этих констант наверняка другие), а смысловое: **«минимальная энергия для осуществления мутации»** и **«эффективное расстояние для осуществления мутации»**.

Представим себе, что $E_{min} = 0$. Тогда мутации происходят от любой частицы со сколь угодно малой энергией, т.е. идут слишком быстро, и данный организм не способен размножаться. Аналогичный вывод получим, если $R_{eff} = 0$. Если же $E_{min} = \infty$ (что аналогично если $R_{eff} = \infty$), то мутации вообще невозможны, а значит, вид не сможет измениться и приспособиться к возможным изменениям среды. В обоих случаях жизнь не сможет существовать.

Мы уже говорили, что в биологии весьма часто бывают исключения из правила. Сформулированная выше третья аксиома справедлива в первом приближении. Остановимся на некотором исключении из этого правила. Пожалуй, лучше всего привести текст А.В. Маркова из его книги «Рождение сложности» [21].

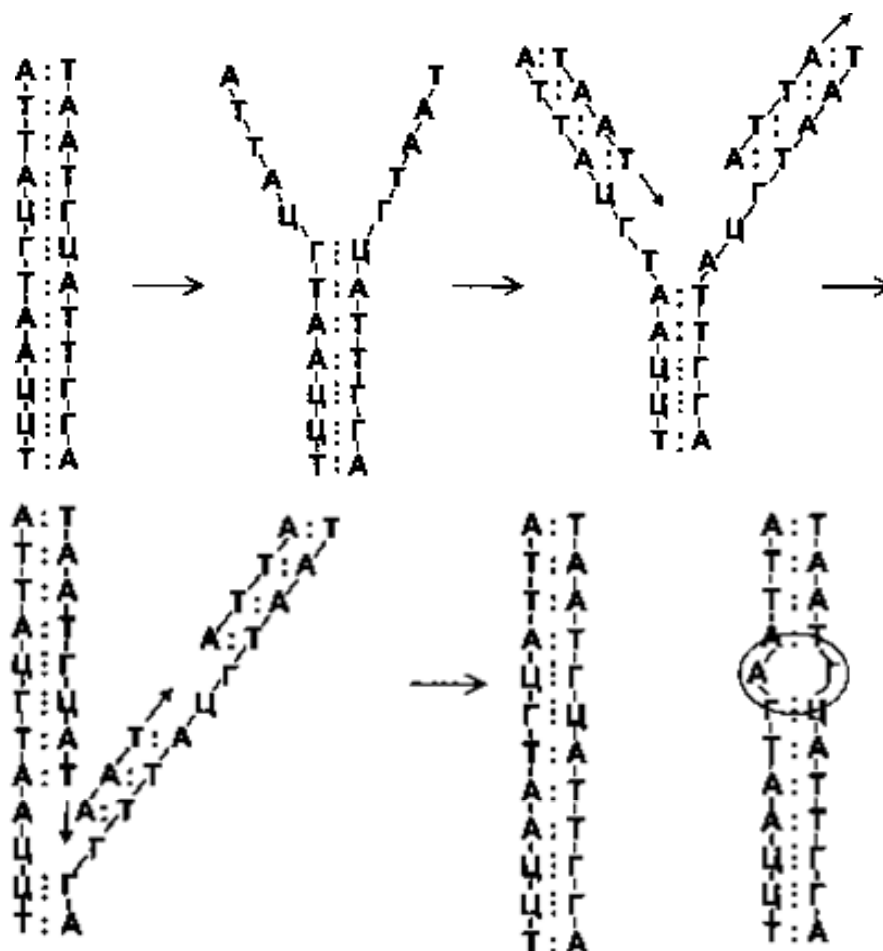
«Произошло это лишь в последние 10–20 лет, и многие биологи даже не успели еще вполне осознать этот факт. До сих пор и в популярных текстах, и даже в учебниках, и научных статьях продолжают встречаться ссылки на «случайность всех мутаций» как на что-то общеизвестное и не подлежащее сомнению. Однако на сегодняшний день твердо установлено, что живая клетка располагает большим арсеналом средств, позволяющих ей контролировать изменения своего генома.

Вообще-то этого следовало ожидать. Ведь мутации – изменения нуклеотидной последовательности ДНК – являются важным фактором, влияющим на жизнеспособность организмов. И это влияние проявляется не когда-то в отдаленном будущем, а здесь и сейчас – у самого организма или его непосредственных потомков. Если организмы в ходе эволюции могут выработать приспособления, например, для защиты от хищников или болезнетворных микробов или для контроля температуры тела, то почему они не имеют права выработать также и приспособления, позволяющие им контролировать мутации? Никакого теоретического запрета на такие приспособления вроде бы нет, однако биологи-теоретики почему-то довольно долго считали их запрещенными.

Наверное, дело тут в том, что в большинстве ситуаций единственное, чего хочет добиться организм от мутационного процесса, – это чтобы он шел как можно медленнее или не шел вовсе. В стабильных благоприятных условиях это вполне разумно. Зачем менять свою наследственность, если все и так хорошо? Однако сама жизнь не позволяет долго существовать, совершенно не меняясь. Не идти вперед – значит идти назад.

Для начала вспомним, чему нас учили в школе на уроках биологии. Главный источник мутаций – ошибки, возникающие в ходе копирования ДНК.

ДНК в норме состоит из двух комплементарных цепочек нуклеотидов. Нуклеотид А всегда стоит напротив Т, Г – напротив Ц. Пары Г–Ц более прочные, они удерживаются вместе тремя водородными связями, а пары А–Т – только двумя.



Во время репликации (копирования, удвоения) две цепочки разделяются, и на каждой по принципу комплементарности синтезируется новая цепочка, как показано на рисунке. Синтез осуществляется при помощи фермента ДНК-зависимой ДНК-полимеразы. Одна из двух новых цепей синтезируется подряд, без перерывов, потому что направление ее синтеза совпадает с направлением «расплетания» двойной спирали исходной молекулы ДНК. Вторая цепь синтезируется кусочками, задом наперед. Эти кусочки называются «фрагментами Оказаки» (в честь их первооткрывателя, японского молекулярного биолога Редзи Оказаки, пережившего бомбардировку Хиросимы и скончавшегося в 1975 г. в 45-летнем возрасте от лейкемии). В итоге получаются две одинаковые молекулы, каждая из двух комплементарных цепей.

На приведенном рисунке возникла мутация – в правой молекуле напротив одного из гуанинов (Г) случайно встал аденин (А) вместо цитозина (Ц). Скорее всего, эта мутация будет замечена и исправлена специальными ферментами, функция которых как раз и состоит в исправлении подобных ошибок. Починку «неправильных» или поврежденных участков ДНК называют репарацией.

В нашем примере мутация возникла случайно. Впрочем, постойте. Случайно ли? Она ведь возникла на стыке двух фрагментов Оказаки, а процесс соединения этих фрагментов – некая особая операция, «технологически» отличающаяся от других этапов репликации, расплетания спирали и присоединения комплементарных нуклеотидов. Может быть, в нашей клетке забарахлила система соединения фрагментов Оказаки? А может, она забарахлила не случайно, а потому, что на нее оказал воздействие какой-то внешний или внутренний фактор? А если он внутренний, то клетка, наверное, может как-то контролировать его? А тогда, если хорошенько разобраться, не может

ли в конечном счете оказаться так, что сама клетка «отдала команду» осуществить мутацию в данном месте ДНК? Если мы всерьез задумаемся над этими вопросами, то поймем, что было бы крайне удивительно, если бы живая клетка за 4 миллиарда лет эволюции так и не выработала никаких механизмов управления мутационным процессом. Ведь такие механизмы, во-первых, вполне возможны, во-вторых, могли бы оказаться очень полезными.

Впрочем, нет повода сомневаться в том, что значительная часть мутаций действительно возникает случайно – просто потому, что никакое копировальное устройство не может работать с абсолютной точностью. Кроме того, мутации могут происходить и без репликации, пока ДНК находится в двухцепочечном состоянии, – например, нуклеотиды могут претерпевать химические изменения под воздействием радиации, ультрафиолета или свободных радикалов, возникающих в ходе клеточного дыхания. Большинство ошибок в цепях ДНК будет замечено и исправлено, но какую-то небольшую их часть пропустит, не заметит даже самый строгий молекулярный «корректор».

Но мутации возникают не только потому, что невозможно копировать ДНК с абсолютной точностью. Мы привыкли думать, что мутации – это всегда некое нарушение, неправильность, ошибка, то есть что-то нежелательное, «мешающее нормально жить». В действительности это не всегда так. Изменение наследственной информации – неотъемлемая и необходимая часть жизни. Если бы геномы не менялись, на нашей планете, возможно, до сих пор жил бы только один вид очень примитивных микробов – *тот самый Лука, общий предок всего живого* (см. главу «Происхождение жизни»). Впрочем, и он бы давно вымер, не смог бы долго продержаться с неизменным геномом. А если бы молекулы РНК копировались с абсолютной точностью на этапе «преджизни», то и никакой *Лука* никогда бы не появился. Об этом, между прочим, свидетельствуют результаты экспериментов, проводимых исследователями РНК-мира. Для того чтобы в сообществе размножающихся молекул РНК зародилось что-то новое и полезное, совершенно необходимо, чтобы отдельные короткие молекулы, соединяясь в более длинные, могли обмениваться друг с другом своими участками (обмен участками между разными молекулами ДНК или РНК называется рекомбинацией). Рекомбинация – важнейший источник наследственной изменчивости наряду с «обычными» мутациями. В опытах с колониями РНК рекомбинация происходит сама собой, бесконтрольно, но в живой клетке она находится под контролем разнообразных и сложных регуляторных систем.

Очень важно понять, что изменения наследственной информации нужны всему живому не только в геологическом масштабе времени, чтобы постепенно совершенствоваться в течение миллионов лет. Естественный отбор не может «заглянуть» так далеко, поэтому и специальные механизмы для достижения столь отдаленных целей не могут развиваться.



Никола́й Влади́мирович Тимофе́ев-Ресовский (07(20).09.1900 – 28.03.1981) – русский советский биолог, генетик. Основные направления исследований: радиационная генетика, популяционная генетика, проблемы микроэволюции.

Действительный член (академик) Германской академии естествоиспытателей в Галле (ГДР) – Леопольдина.

Почётный член Американской академии искусств и наук в Бостоне (США)[22].

Почётный член Итальянского общества экспериментальной биологии (Италия).

Почётный член Менделевского общества в Лунде (Швеция).

Почётный член Британского генетического общества в Лидсе (Великобритания).

Почётный член и член-учредитель Всесоюзного общества генетиков и селекционеров им. Н.И. Вавилова (СССР). Научный член Общества Макса Планка (ФРГ).

Действительный член Московского общества испытателей природы, Всесоюзного географического общества, Всесоюзного ботанического общества.

Лауреат медалей и премий Ладзаро Спалланцани (Италия), Дарвиновской (ГДР), Менделевской (ЧССР и ГДР), Кимберовской (США).

Действительный член Лондонского Линнеевского общества (избрание произошло 28 мая 1981 г., то есть через 2 месяца после смерти Н.В. Тимофеева-Ресовского).

Четвертая аксиома

Эта аксиома обязана своим происхождением выдающемуся генетику Н.В. Тимофееву-Ресовскому и носит название принципа усиления. Понять этот принцип легче всего из примера, приведенного в свое время В.А. Ратнером.

Пусть существует оплодотворенная яйцеклетка – носительница мутации гена, кодирующего важный для жизни функциональный носитель – фермент, без которого живой организм не может выжить. В процессе роста и развития организма яйцеклетка превратилась в 10^{15} клеток, соответственно, умножились и гены. Каждый ген продуцирует 100 молекул м-РНК, на каждой из которых синтезируется 100 молекул фермента. Каждая молекула фермента осуществляет 10^4 актов своей (важной для жизни организма) реакции. В итоге имеем $10^{15} \cdot 10^2 \cdot 10^2 \cdot 10^4 = 10^{23}$, т.е. число, сопоставимое с числом Авогадро, а значит, это уже макроуровень. Вот на какую величину усилились результаты одного квантового скачка, одной мутации, существующей на микроуровне. С макроуровнем уже может работать естественный отбор. Важно именно то, что он действует не прямо на генетические программы, а на фенотип, в котором каждое изменение усилено в 10^{23} раз. Таким образом, можно сформулировать принцип усиления следующим образом.

Аксиома 4. Случайные изменения генетических программ при становлении фенотипа многократно усиливаются и подвергаются отбору условиями внешней среды.

Следует заметить, что из-за усиления в фенотипах именно случайных изменений, эволюция живой природы принципиально непредсказуема. Единственно, что можно сказать, – отбор размножит потомков тех особей, которые наилучшим образом будут адаптированы к окружающим условиям. Но вот как они будут приспособлены, об этом можно только гадать.



Медников Борис Михайлович (1932–2001) – советский, российский биолог, доктор биологических наук, популяризатор науки. Профессор биологического факультета МГУ.

Один из основателей нового направления в систематике – геносистематики, активно занимался проблемами создания теоретической биологии и теорией эволюции, создал впервые систему аксиом биологии, много внимания уделил закону гомологических рядов, исследовал проблемы эволюции генома, микроэволюции и видообразования на молекулярном уровне. Самым известным трудом ученого являются сформулированные им аксиомы биологии, озвученные в одноимённой книге, которые впервые были представлены широкому кругу читателей на страницах журнала «Наука и жизнь» в 1980 г.

Подробнее об этом можно прочитать в замечательной книге Б.М. Медникова «Аксиомы биологии» [16].

«... И опыт, сын ошибок трудных...»

А.С. Пушкин

17. ТЕОРИЯ РНК МИРА. О НЕ И ВОЗМОЖНОСТИ НАСЛЕДОВАНИЯ ПРИБРЕТЕННЫХ ПРИНЦИПОВ, ЛУЧШЕ А.В. МАРКОВА НЕ СКАЖЕШЬ

РНК, ДНК и белок

«Какая из трех молекул появилась первой? Одни ученые говорили: конечно, белки, ведь они выполняют всю работу в живой клетке, без них жизнь невозможна. Им возражали: белки не могут хранить наследственную информацию, а без этого жизнь и подавно невозможна! Значит, первой была ДНК!

Ситуация казалась неразрешимой: ДНК ни на что не годна без белков, белки – без ДНК. Получалось, что они должны были появиться вместе, одновременно, а это трудно себе представить. Про «лишнюю» РНК в этих спорах почти забыли. Ведь она, как тогда думали, не может без посторонней помощи ни хранить информацию, ни выполнять работу.

Потом, правда, выяснилось, что у многих вирусов наследственная информация хранится в виде молекул РНК, а не ДНК. Но это посчитали курьезом, исключением. Переворот произошел в 80-х годах XX века, когда были **открыты рибозимы – молекулы РНК с каталитическими свойствами. Рибозимы – это РНК, выполняющие активную работу, то есть то, что должны делать белки. Среди рибозимов были найдены и катализаторы репликации (копирования, размножения) молекул РНК – своих собственных или чужих.**

В итоге РНК из «почти лишней» стала «почти главной». Оказалось, что она и только она, может выполнять сразу обе главные жизненные задачи – и хранение информации, и активную работу. Стало ясно, что возможен полноценный живой организм, не имеющий ни белков, ни ДНК, в котором все функции выполняются только молекулами РНК. Конечно, ДНК лучше справляется с задачей хранения информации, а белки – с «работой», но это уже детали. РНК-организмы могли приобрести белки и ДНК позже, а поначалу обходиться без них.

Так появилась теория РНК-мира, согласно которой первые живые существа были РНК-организмами без белков и ДНК. А первым прообразом будущего РНК-организма мог стать автокаталитический цикл, образованный самовоспроизводящимися молекулами РНК – теми самыми рибозимами, которые способны катализировать синтез собственных копий.

Лично я считаю теорию РНК-мира одним из самых выдающихся достижений теоретической мысли в биологии за последние 30 лет, которое можно сравнить разве что с симбиогенетической теорией происхождения эукариот (о которой пойдет речь в главе «Великий симбиоз»). По правде сказать, могли бы до этого додуматься и раньше. Ведь два вида рибозимов были известны еще с 60-х годов XX века, хотя их не называли тогда рибозимами. Это рибосомные РНК (рРНК), из которых сделаны молекулярные «машинки» для трансляции (синтеза белка) – рибосомы и транспортные РНК (тРНК), которые подносят нужные аминокислоты к рибосомам в ходе трансляции. Оба вида РНК выполняют активную биохимическую работу, это самые настоящие рибозимы, но, пока их было известно только два, теория РНК-мира не была сформулирована.

Трансляция – синтез белка. Осуществляется особыми молекулярными «машинками» – **рибосомами**, которые состоят из нескольких больших молекул рибосомной РНК и большого

числа менее крупных молекул рибосомных белков. Рибосомы синтезируют белок в соответствии с «инструкциями», записанными в молекуле матричной РНК (мРНК). Каждые три нуклеотида мРНК кодируют одну аминокислоту. Аминокислоты присоединяются к синтезируемой молекуле белка по одной. Доставка аминокислот к рибосомам осуществляется транспортными РНК (тРНК).

Теория РНК-мира, вначале чисто умозрительная, очень быстро «обрастает» экспериментальными данными. Химики научились получать рибозимы чуть ли не с любыми желаемыми характеристиками. Делается это так. Например, мы хотим создать молекулу РНК, которая способна безошибочно узнавать вещество X и связываться с ним. Для этого синтезируют большое количество разных цепочек РНК, соединяя рибонуклеотиды друг с другом в случайном порядке. Раствор, содержащий полученную смесь молекул РНК, наливают на поверхность, покрытую веществом X. После этого остается лишь отобрать и исследовать те молекулы РНК, которые прилипли к поверхности. Технология незамысловата, но она действительно работает. Примерно таким способом получены рибозимы, катализирующие синтез нуклеотидов, присоединяющие аминокислоты к РНК и выполняющие множество других биохимических функций. Стирая грань между живым и неживым, уже растут на искусственных средах в лабораториях возмутительнейшие объекты – колонии размножающихся молекул РНК, способные к тому же синтезировать белки (правда, без этих самых белков – ферментов – заставить их расти пока не удастся). Весомый вклад в эти исследования вносят ученые из Института химической биологии и фундаментальной медицины (г. Новосибирск) и Института белка (г. Пущино) под руководством академиков В.В. Власова и А.С. Спирина. Любопытно, что многие рибозимы работают лучше всего при низких температурах, иногда даже ниже точки замерзания воды – в крошечных полостях льда, где достигаются высокие концентрации реагентов. Некоторые считают это свидетельством того, что жизнь зародилась при низких температурах» (Марков А.В. Рождение сложности).

О не и возможности наследования приобретенных принципов

«Классическая генетика отрицает возможность наследования соматических мутаций. **Соматическая мутация – это модификация гена в определенных клетках в период индивидуального развития организма** (здесь и в дальнейшем курсив наш). Считается, что изменения клеток тела никак не могут отразиться на генах половых клеток. По-видимому, в большинстве случаев это утверждение справедливо. Но природа, сколько бы мы ее ни изучали, всегда остается неизмеримо сложнее любых наших теорий, моделей и прогнозов. И из всякого придуманного нами «закона» обязательно находятся исключения (*это в биологии, курсив наш*). В данном случае исключения тоже существуют.

Догма о невозможности наследования приобретенных признаков начала складываться через несколько лет после смерти Дарвина, в основном благодаря усилиям немецкого ученого Августа Вейсмана. Он показал, что, если отрубить крысам из поколения в поколение хвосты, это не приводит к рождению бесхвостых крысят. Другой эксперимент состоял в том, что черным мышам пересаживали яичники белых мышей. У тех мышек, которым удавалось выжить после этой экзекуции, мышата рождались белые. На основании этих и других подобных экспериментов был сформулирован **принцип «Вейсмановского барьера»: клетки тела не могут передавать информацию половым клеткам**. Следовательно, ни внешние воздействия, ни приобретенный опыт, ни упражнение органов не могут приводить к адекватному или хотя бы отчасти неслучайному изменению наследственности.

Развитие молекулярной биологии еще сильнее укрепило в сознании ученых этот барьер, действительно превратив его в догму. Было установлено, что наследственная информация записана в молекулах ДНК особым кодом, который был расшифрован в 60-е годы XX века.

Информация, записанная в ДНК, сначала должна быть «переписана» на молекулу РНК. Затем специальные сложные молекулярные комплексы – рибосомы – считывают информацию с молекулы РНК, синтезируя молекулу белка в точном соответствии с записанной в РНК инструкцией. Белки выполняют огромное множество функций, и в конечном счете именно они в основном определяют облик организма (фенотип). Таким образом, информация движется в одном направлении – от ДНК к РНК, от РНК – к белкам. Никаких механизмов переноса информации в обратную сторону – от белков к РНК или от РНК к ДНК – поначалу обнаружено не было, что и укрепило веру в невозможность такого переноса.

Потом, правда, оказалось, что есть вирусы, у которых хранилищем наследственной информации служат молекулы РНК (а не ДНК, как у всех прочих организмов), и у них есть специальные ферменты, которые умеют осуществлять обратную транскрипцию, то есть переписывать информацию из РНК в ДНК. Созданная таким путем ДНК встраивается в хромосомы клетки-хозяина и размножается вместе с ними. Поэтому с такими вирусами очень трудно бороться (один из них – это вирус ВИЧ). Но вот «обратной трансляции» – переписывания информации из белков в РНК – так ни у кого и не обнаружили. По-видимому, такого явления в природе действительно не существует.

Обратная трансляция. У современных живых организмов обратная трансляция – переписывание информации с белка на РНК, – судя по всему, не встречается. Однако японскому исследователю Масаюки Насимото в 2001 году удалось экспериментально показать принципиальную возможность обратной трансляции. Насимото изготовил молекулу РНК, которая может совершать два действия. Во-первых, узнавать аминокислоту аргинин и присоединяться к ней. Во-вторых, прикреплять к другой молекуле РНК, которая потом будет кодировать белок, триплет нуклеотидов АГГ, то есть кодон, соответствующий аргинину. Рибозим, изготовленный Насимото, с полным правом можно назвать «обратной тРНК». **Напомним, что обычные транспортные РНК (тРНК) узнают кодон на молекуле мРНК и прикрепляют к синтезируемой молекуле белка соответствующую этому кодону аминокислоту.** «Обратная тРНК», изготовленная Насимото, совершает противоположное действие: узнает аминокислоту, входящую в состав белковой молекулы, и прикрепляет к синтезируемой молекуле мРНК кодон, соответствующий этой аминокислоте. Таким образом, осуществляется процесс, прямо противоположный **трансляции: информация переписывается не с РНК на белок, а, наоборот, с белка на РНК.**

При помощи таких «обратных тРНК» обратная трансляция, по предположению Насимото, могла происходить в РНК-мире. Теоретически можно представить себе ситуацию, когда существовало некое равновесие между процессами прямой и обратной трансляции. Молекулы РНК «кодировали» белки, то есть управляли их синтезом, а белки, в свою очередь, управляли синтезом РНК, то есть тоже «кодировали» их. В дальнейшем равновесие сместилось, и белки потеряли способность к кодированию РНК. Возможно, решающую роль в смещении равновесия сыграло то обстоятельство, что молекулы РНК в отличие от белков способны самостоятельно контролировать синтез собственных копий на основе принципа комплементарности. Иными словами, РНК и так кодируют сами себя, не нуждаясь для этого в посредничестве белков.

С легкой руки одного из первооткрывателей структуры ДНК Френсиса Крика идея об однонаправленной передаче информации в ряду ДНК – РНК – белок стала именоваться «центральной догмой молекулярной биологии». Впрочем, позже Крик признался, что использование термина «догма» принесло больше неприятностей, чем оно того стоило. (CRICK F. Central Dogma of Molecular Biology // Nature. – 1970. – V. 227. – E. 561–563).

Но всякое действие рождает противодействие. И иногда «лекарство оказывается хуже болезни». В качестве уродливого и страшного противовеса догматизации достижений генетики в СССР утвердилась лысенковщина. Крестьянский сын Трофим Лысенко открыл способ придавать яровым культурам высокую продуктивность, выдерживая их некоторое время на

холоде. Молодой экспериментатор был принят на работу в лабораторию Н.И. Вавилова. Трагические последствия этого шага всем известны. Лысенко, пользуясь далеко не научными аргументами и средствами, подчинил себе руководство советской биологической наукой. Генетика и «вейсманизм» были объявлены лженауками. Официально была принята догма, противоположная вейсмановской и основанная на базовом принципе ламаркизма: приобретенные признаки наследуются; определяющим фактором наследственности являются не мифические гены, а воздействие внешней среды. Как это ни парадоксально, Лысенко считался последовательным дарвинистом. Он как раз обвинял Вавилова в отступлении от теории Дарвина и на этом основывал свои «научные» обвинения.

Торжество лысенковщины в СССР и особенно репрессии против генетиков привели к окончательной дискредитации ламаркизма на Западе и догматизации принципа Вейсмана. Наука в очередной раз смешалась с политикой, что ей категорически противопоказано. Это не пошло на пользу ни советской, ни западной биологии. Два противоположных подхода к проблеме наследственности сошлись в смертельной схватке. Вопрос состоял уже не в том, могут ли наследоваться приобретенные признаки. Речь шла о борьбе двух «научно-социальных» систем: социалистической лысенковщины и буржуазного вейсманизма. После того как Лысенко утратил свое влияние, советская биология постепенно вернулась в русло мировой науки, вовсю занявшись генетикой. Но последствия этой коллизии дают о себе знать и по сей день: многих генетиков как российских, так и зарубежных, до сих пор передегивает при одном упоминании о возможности наследования приобретенных признаков.

Однако реальные факты показывают, что приобретенные признаки иногда все же могут передаваться по наследству. Безусловно, это происходит редко, это вообще нетипично, и случается такое только с некоторыми специфическими категориями наследственных признаков, которые можно назвать «приобретенными» лишь с определенной долей условности. Такие банальные вещи, как натренированные мышцы или отрезанные хвосты, конечно, не наследуются никогда. Однако по мере того, как наука все глубже проникает в тайны молекулярной организации живой клетки, становится все очевиднее, что организмы не передают своим потомкам приобретенные ими в течение жизни свойства не потому, что не могут, а потому, что не хотят. С чисто «технической» точки зрения, определенные возможности такого рода у живых организмов имеются.

Конечно, изменения, происходящие в клетках тела в течение жизни, отражаются в первую очередь на белках, но не только. В каждой клетке есть и РНК, и ДНК, и изменения могут затронуть и их тоже. Перед каждым клеточным делением все молекулы ДНК в клетке удваиваются: ферменты ДНК-зависимые ДНК-полимеразы (*ДНК-полимераза – фермент, участвующий в репликации ДНК*) синтезируют точные копии имеющихся ДНК, которые потом распределяются между дочерними клетками. Однако при копировании иногда возникают ошибки – мутации. Если мутация возникает при образовании половой клетки, она, естественно, передается по наследству. В ортодоксальной СТЭ (синтетическая теория эволюции) образца начала 60-х годов XX века было принято считать, что мутации происходят совершенно случайно (теперь мы знаем, что это не всегда так: см. главу «Управляемые мутации» в книге «Рождение сложности» Марков А.В.). Так возникает изменчивость, служащая материалом для естественного отбора.

Но мутации могут происходить при делении любых клеток тела, а не только при образовании яйцеклеток и сперматозоидов. Такие мутации называются соматическими, от «сома» – тело. Они приводят к возникновению участков измененных тканей. Соматические мутации могут быть вызваны различными воздействиями внешней среды и в какой-то мере отражают эти воздействия, то есть несут некую информацию о них. Маловероятно, чтобы такого рода информация могла оказаться полезной следующим поколениям. Хотя возможно и такое, особенно если речь идет о контролируемых перестройках генома соматических клеток, о ко-

торых говорится в главе «Управляемые мутации». Тем не менее, если бы соматические мутации могли наследоваться, это вполне можно было бы назвать «наследованием приобретенных признаков», хоть и не совсем в том смысле, который вкладывал в это понятие Ламарк».

Мы обезьяны?

«Мы не произошли от обезьян. Мы – обезьяны, но обезьяны особенные, культурные (в том смысле, что наше поведение определяется культурой, а не только генами) и к тому же умные, аж с семью регистрами кратковременной рабочей памяти. С какой стати нам брать пример с шимпанзе, этих реликтовых лесных гоминоидов, не способных изготовить простейший олдувайский отщеп? Мы ведь даже со своих совсем недавних предков – палеолитических охотников, собирателей, людей бронзового века или средневековых европейцев – если и берем пример, то очень избирательно. И правильно делаем. Эти ребята считали «добром» многое из того, что сегодня является безусловным злом.

Их реальные подвиги – выше и интереснее всех чудес религиозной мифологии.

То же самое следует сказать и о тайнах человеческой души, открываемых нейробиологией и экспериментальной психологией. Они оказались куда интереснее и глубже любых мистических фантазий. Интереснее хотя бы потому, что их действительно можно открывать. Их можно проверять фактами и экспериментами, а не просто придумывать и принимать на веру. Глубже – хотя бы потому, что любые тайны мистического свойства, если проследить их до основания, очень быстро упираются в какую-нибудь «беспричинную первопричину» или другой абсурд и непознаваемость. Поначалу это завораживает, но вскоре становится скучно. Сети из миллиардов нейронов, между которыми связей больше, чем звезд в Галактике, завораживают куда сильнее, стоит только начать в них разбираться.

Наука не убивает душу. Она ее открывает и даже в каком-то смысле создает. А еще – берет ее за ручку и выводит из детского сада со сказочными картинками на стенах в огромный и прекрасный мир реальности».



Марков Александр Владимирович (род. 24.10.1965) – российский биолог, палеонтолог, популяризатор науки. Окончил биологический факультет МГУ в 1987 г. В Палеонтологическом институте РАН с 1987 года. Доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник Палеонтологического института РАН. В 2014 г. принял руководство кафедрой биологической эволюции биологического факультета МГУ. Профессор РАН (2016 г.). Лауреат главной в России премии в области научно-популярной литературы «Просветитель» (2011 г.). Лауреат премии «За верность науке» Министерства образования и науки РФ в категории «Популяризатор года» (2015 г.). Медаль РАН по биологии. Премия Х. Раусинга (1998 г.). Внёс заметный вклад в развитие общей теории биологической макроэволюции и в математическое моделирование макроэволюционных процессов.

Член редколлегии «Журнала общей биологии». Автор многочисленных научно-популярных статей, автор и ведущий научно-образовательного портала «Проблемы эволюции», ведущий научно-популярных программ радио «Свобода», один из авторов научно-популярного сайта «Элементы.ру». Автор фантастических и исторических произведений, в частности повести «Апсу», опубликованной в 1991 г. Председатель совета фонда «Эволюция».

Для самых любознательных: книга «Синергетика и информация» Д.С. Чернавского.

В книге обсуждаются особенности синергетики как науки и ее математические и методологические аспекты. Отображены процессы возникновения информации и эволюции ее ценности. В качестве примеров рассмотрены: вопрос о происхождении жизни и генетического кода, проблема развития организма, а также процессы мышления и творчества. Широко используется метод математического моделирования. Для облегчения восприятия приведено краткое изложение основ теории динамических систем в форме, доступной для людей, не имеющих специального математического образования.

Для широкого круга читателей, интересующихся новыми тенденциями в современной науке и проблемами интеграции точных, естественных и гуманитарных наук.

Хотелось написать что-нибудь зажигательное как о творчестве выдающегося ученого Д.С. Чернавского, так и об этой книге, но перед её автором всё бледнеет.



Чернавский Дмитрий Сергеевич (24.02.1926 – 19.06.2016) – российский биофизик. Главный научный сотрудник Физического института им. П. Н. Лебедева РАН. Действительный член РАЕН (1991 г.). Член Научных советов РАН по биофизике (1980 г.) и влиянию физических полей на человека (1991 г.). Победитель конкурса «На лучшее объяснение ключевых вопросов строения мира» (2004 г.) программы Александра Гордона (с призовым фондом 1 млн евро). Полученную премию поделил поровну между 191 участником программы Гордона.

Основные направления научных исследований и научные достижения

Биофизика. В 1966 г. сформулировал концепцию о функционировании белков-ферментов, известную сейчас под названием белок-машина. В середине 70-х гг. XX века разработал теорию туннельного электронного транспорта в биологических системах, получившую в дальнейшем широкое признание. В 1975 г. предложил модель возникновения ценной биологической информации на примере единого биологического кода.

Синергетика. Теория информации. Теория развивающихся (физических, биологических, экономических и социальных) систем, клиодинамика. Концептуальные основы квантовой механики, необратимость.

«Важно не то, что строго,
а то, что верно».

А.Н. Колмогоров

18. МИТОХОНДРИАЛЬНАЯ ЕВА И ИГРЕК-ХРОМОСОМНЫЙ АДАМ

Частично, в кавычках, опять А.В. Марков. Эволюция человека. Книга первая. 2011.

«Относительно недавние (1987 г.) сравнительные исследования митохондриальной ДНК (мтДНК) и Y-хромосом современных людей показали, что все современное человечество происходит от небольшой популяции, жившей в Восточной Африке 160–200 тыс. лет назад. Это хорошо совпадает с археологическими данными, а именно с тем, что останки древних, но «анатомически современных» людей были найдены как раз в этом районе в отложениях именно такого возраста. Примерно 100–60 тыс. лет назад (судя по результатам анализа мтДНК), небольшая группа сапиенсов вышла из Африки, и потомки этой группы впоследствии заселили весь мир: от них-то и произошло все современное внеафриканское человечество. Сегодня это общепринятая точка зрения. Возникает принципиальный вопрос: только ли от них оно происходит? То есть смешивались ли африканцы по мере своего расселения с местными евразийскими популяциями или просто вытеснили их?

В течение почти двух десятилетий (с конца 1980-х до второй половины 2000-х) перевес был на стороне второй точки зрения. Главным аргументом были упомянутые результаты анализа мтДНК и Y-хромосомы. Но как на основе анализа ДНК можно судить об истории и миграциях древних людей? Пожалуй, нам нужно поближе познакомиться с методикой и логикой таких исследований.

На основе полиморфизма (разнообразия) нуклеотидных последовательностей мтДНК людей из разных регионов мира было реконструировано эволюционное (генеалогическое) дерево этой части человеческого генома. Для таких реконструкций существуют специально разработанные, весьма надежные методики. Это похоже на то, как лингвисты восстанавливают историю различных списков с одного исходного текста по изменениям (заменам, пропускам и добавлениям букв или слов), которые неизбежно накапливаются от переписчика к переписчику. Например, если в одном списке имеются ошибки А и Б, в другом – А, Б и В, в третьем – только Б, в четвертом – Б и Г, то логичнее всего предположить, что самый древний список – третий. С него были сделаны первый и четвертый, а затем с первого был сделан второй. Когда тексты длинные (и ошибок поэтому достаточно много), результаты получаются вполне достоверные. Если известно, в каких географических точках были найдены соответствующие рукописи, то можно восстановить пути миграций соответствующих копий.

В случае с ДНК вместо ошибок переписчиков используются случайные мутации (в основном нейтральные, то есть не влияющие на приспособленность и потому незаметные для отбора). Это даже удобнее, потому что люди – и, соответственно, их ДНК – размножаются с определенной частотой, более регулярно, чем средневековые переписчики копировали ту или иную рукопись. К тому же типичная частота возникновения мутаций приблизительно известна. Это аналогично тому, как если бы каждая рукопись переписывалась, например, один раз в 20 лет, а все переписчики делали примерно одинаковое количество ошибок на каждую тысячу слов. Тогда по количеству различий между двумя рукописями можно было бы определить время существования их «общего предка». Для молекул ДНК это вполне возможно (степень точности – вопрос отдельный).

Оказалось, что если построить эволюционное дерево мтДНК современных людей и двигаться по его ветвям сверху вниз (из настоящего в прошлое), то все ветви в итоге сходятся в одну точку во времени и пространстве: Восточная Африка, 160–200 тыс. лет назад. Так появилась в научной печати и в СМИ «митохондриальная Ева» (митохондрии передаются по материнской линии), а вслед за ней аналогичным образом возник и «Y-хромосомный Адам» (Y-хромосома есть только у мужчин и передается от отца к сыну), живший примерно в то же время и в том же месте.

Эти результаты были восприняты общественностью очень бурно, и, как водится, мало кто понял их истинный смысл. На самом деле ничего удивительного нет ни в Адаме, ни в Еве».

Следуя нашей общей идеологии, сформулируем соответствующую теорему об Y-хромосомном Адаме и мтЕве.

Теорема (первая формулировка). *При любом числе различных гаплотипов в изначальной предковой группе людей по прошествии определенного времени останутся потомки с гаплотипами одной митохондриальной Евы и одного Y-хромосомного Адама.*

Строгого математического доказательства теоремы в такой формулировке (*непосредственно «в лоб»*) мы не знаем (да и вряд ли оно есть), поэтому ниже будет дано (по А.В. Маркову) некое «показательство» этой теоремы.

Гаплотип (если по простому) – совокупность сцепленных генов на одной хромосоме определенного диплоидного индивидуума, которая передается по наследству всем потомкам по нисходящей линии, либо через Y-хромосому от отца для потомков мужского пола, либо через мтДНК от матери для потомков женского пола.

Ежели не по-простому – читайте как минимум Википедию.

Гаплотип (сокр. от «гаплоидный генотип») – совокупность аллелей на локусах одной хромосомы, обычно наследуемых вместе. Если же при кроссинговере комбинация аллелей меняется (что происходит очень редко), говорят о возникновении нового гаплотипа. Гаплотип может быть как у одного локуса, так и у целого генома. Генотип определенных генов диплоидной особи состоит из двух гаплотипов, расположенных на двух хромосомах, полученных от матери и отца соответственно.

В генетической генеалогии гаплотипом также называют результат исследования STR-маркеров на нескольких локусах Y-хромосомы, при этом количество повторов называется аллелем.

Локус (лат. *locus* – место) в генетике означает местоположение определённого гена на генетической или цитологической карте хромосомы. Вариант последовательности ДНК в данном локусе называется аллелью. Упорядоченный перечень локусов для какого-либо генома называется генетической картой.

Аллели – различные формы (значения) одного и того же гена, расположенные в одинаковых участках (локусах) гомологичных хромосом и определяющие альтернативные варианты развития одного и того же признака. В диплоидном организме может быть два одинаковых аллеля одного гена, в этом случае организм называется гомозиготным, или два разных, что приводит к гетерозиготному организму. Термин «аллель» предложен В. Иогансеном (1909 г.).

Нормальные диплоидные соматические клетки содержат два аллеля одного гена (по числу гомологичных хромосом), а гаплоидные гаметы – лишь по одному аллелю каждого гена. Для признаков, подчиняющихся законам Менделя, можно рассматривать *доминантные* и *рецессивные* аллели. Если генотип особи содержит два разных аллеля (особь – гетерозигота), проявление признака зависит только от одного из них – доминантного. Рецессивный же аллель влияет на фенотип, только если находится в обеих хромосомах (особь – гомозигота). Таким образом, доминантный аллель подавляет рецессивный. В более сложных случаях наблюдаются другие типы аллельных взаимодействий.

Можно сформулировать эту теорему и иначе (Марков А.В. Правда теоремой он это не назвал, а жаль):

Теорема (вторая формулировка). *«Любые гомологичные (то есть имеющие общее происхождение) участки ДНК где-нибудь в прошлом неизбежно сходятся в одну точку, то есть в одну предковую молекулу ДНК».*

Эта точка вовсе не обязательно совпадает с моментом возникновения вида. Более того, если брать разные гомологичные участки ДНК, каждый из них даст свою, отличную от других «точку схождения».

Доказательство теоремы во второй формулировке

Пусть существуют два представителя разных гаплотипов, соответственно передающих по наследству от далеких предков до настоящего времени, и их «родословные не пересекаются». Наличие предков у каждой линии в количестве 2^N (N – число поколений) показывает, что поскольку в прошлом такого количества особей просто быть не могло, то это говорит о том, что «родословные» по гаплотипу особи где-то когда-то пересекались. Но нам важнее другое. Главное, чтобы пересекались непосредственные предки по мужской линии (для Y-хромосомного Адама). Таких мужских предков в одной линии N , в другой – K . Если они тоже нигде никогда не пересеклись, то значит, что в одно или в разное время у разных особей в разных линиях произошли **совершенно одинаковые мутации**. Согласно Аксиоме 3, о том, что мутации случайны, это практически невероятно. Следовательно, линии N и K пересекались и имеют совместного общего предка. Эти же рассуждения справедливы и для мтЕвы.

В связи с этим доказательством и последующим «показательством» справедливости теоремы в 1 формулировке, а также эквивалентности обеих формулировок для реального случая (что становится совершенно понятным из приведенного ниже рассуждения после «показательства»), нам представляется важным остановиться на следующем.

Согласно приведенной в качестве эпиграфа данной лекции мысли А.Н. Колмогорова «Важно не то, что строго, а то, что верно», нам представляется целесообразным привести слова В.И. Арнольда из его замечательного прозрения, сказанного в соответствующей статье об эпиграфе к «Евгению Онегину»: «Будучи по профессии не литературоведом (и еще в меньшей степени пушкинистом), а математиком, я вынужден в своей работе постоянно опираться не на доказательства, а на ощущения, догадки и гипотезы, переходя от одного факта к другому при помощи того особенного вида озарения, который заставляет усматривать общие черты в явлениях, быть может, кажущихся постороннему вовсе не связанными между собой.

Правильная догадка сопровождается ощущением полной ненужности дальнейших доказательств, ощущением, почти болезненным, которое не забывается, но которое трудно передать другим».

Арнольд В.И. Об эпиграфе к «Евгению Онегину» // Известия Российской Академии наук. Серия литературы и языка. – М.: Наука, 1997. – Т. 56, № 2. – С. 63. <http://feb-web.ru/feb/izvest/1997/02/972-063.htm>.

Теперь мы, согласно А.В. Маркову, покажем (это и есть «показательство»), как осуществляется теорема в 1 формулировке, т.е. как она работает, и откуда берутся научная Ева и Адам. Итак, откуда берутся митохондриальные Евы (Y-хромосомные Адамы) по А.Н. Маркову?

«Любая популяция любого вида животных обязательно имела в прошлом свою митохондриальную Еву – последнюю общую прама мать всех ныне живущих представителей данной популяции по прямой материнской линии. Евы появляются автоматически и неизбежно из-за случайных колебаний частот генетических вариантов (например, вариантов митохондриальной ДНК) в популяции. Чтобы понять, почему так получается, рассмотрим простую модель (Марков А.В. «Происхождение человека»). Допустим, у нас есть популяция, включающая десять самок, у каждой из которых имеется свой вариант мтДНК, немного отличающийся от остальных (выше мы называли это разными гаплотипами). Число самок (то есть размер популяции) не имеет принципиального значения: оно влияет только на среднее число поколений, требующихся для того, чтобы одна из этих самок стала Евой. Чем больше популяция, тем дольше придется ждать.

Предположим, что каждая самка оставляет после себя с равной вероятностью либо ноль дочерей, либо одну, либо две. Обозначим исходные варианты мтДНК у наших десяти самок буквами латинского алфавита:

abcdefghijklhij (1)

Это поколение 1. Чтобы смоделировать следующее (второе) поколение, воспользуемся генератором случайных чисел. Сойдет и обычная игральная кость. Нам нужна последовательность из десяти случайных целых чисел в диапазоне от нуля до двух, чтобы определить, сколько дочерей родила каждая самка. Бросаем кость десять раз, если выпадает один или два, записываем ноль, если три или четыре – записываем единицу, если пять или шесть – двойку. У меня получилась такая последовательность:

2212210011

В соответствии с этими числами «родим» для каждой самки дочерей. Учитывая, что дочь наследует мтДНК матери, выпишем распределение митохондриальных гаплотипов (вариантов) в поколении 2:

aabbcddeefij (2)

Можно заметить, что из десяти исходных гаплотипов во второе поколение перешли только восемь. Две самки (g и h) не оставили дочерей, и их митохондриальные линии прервались. Самок у нас теперь стало 12, поэтому для того, чтобы смоделировать поколение 3, понадобится 12 случайных чисел. Вот они:

220020212021

А вот и третье поколение:

aaaaccddeeeij (3)

В третьем поколении «потерялись» еще два гаплотипа: b и f. Продолжая моделирование, получаем последовательность поколений:

aaaaeejj (4)

eeejj (5)

ejjjj (6)

eejjjjj (7)

eeeejj (8)

eeeejj (9)

eeeejj (10)

eeeejj (11)

eeeeeej (12)

eeeeeej (13)

eeeeej (14)

eeeeej (15)

eeeeej (16)

eeeeee (17)

Вот и все: к семнадцатому поколению в нашей популяции остался только один митохондриальный гаплотип из десяти исходных. Это значит, что прямые потомки по женской линии остались только у одной из исходных десяти самок.

Процесс этот абсолютно неизбежен: сколько бы мы ни взяли исходных самок с разными гаплотипами, через какое-то число поколений в популяции останется только один из них. При этом одна из древних носительниц этого гаплотипа автоматически превращается в митохондриальную Еву – последнюю общую прапраматерь всех особей в популяции по непрерывной женской линии.

Кстати, какая именно самка в нашей модели стала Евой для поколения №17? Думаете, это самка «e» из поколения 1? А вот и нет: у поколения 17 есть и более поздняя общая прапраматерь. Это самка с гаплотипом «e» из поколения 6. Самка «e» из поколения 1, конечно, тоже является общей прапраматерью поколения 17 по женской линии, но она не самая поздняя из таких прапраматерей.

Аналогичное «бросание костей» можно провести и для Y-хромосомного Адама.

При желании можно придумать фантастические ситуации, в которых Ева никогда не появится. Но эти ситуации не имеют отношения к реальности. Например, Евы не будет, если каждая самка непременно оставляет после себя хотя бы одну дочь (нет ни бездетных самок, ни таких, кто оставил после себя лишь сыновей). Каждому ясно, что так не бывает. Обязательно какая-то часть самок умирает, не родив ни одной дочери. Исходное множество гаплотипов может не сократиться до одного и в том случае, если численность популяции будет бесконечно расти. Но так тоже не бывает: планета не резиновая, рост любой популяции рано или поздно останавливается. Есть, конечно, еще один фантастический вариант. Самки рожают либо только сыновей, либо только дочерей. Тогда популяция неизбежно вымирает.

Что будет, если популяция разделится на две – например, часть особей переселится на другой материк, и каждая из двух дочерних популяций будет процветать на своем материке? В этом случае в каждой из двух популяций тоже обязательно рано или поздно закрепится какой-то один из исходного набора гаплотипов. Причем, скорее всего, на разных материках это будут разные гаплотипы. Получится, что у каждой из двух популяций есть своя митохондриальная Ева. Кроме того, будет и третья Ева – общая для обеих групп. Она окажется глубже в прошлом, чем обе «персональные» Евы разделившихся популяций.

По мнению ряда экспертов, приблизительное совпадение результатов по мтДНК и Y-хромосоме – не более чем случайность, отчасти объясняющаяся тем, что оба этих участка генома имеют общее свойство: они присутствуют у каждого человека лишь в одном экземпляре (точнее, в одном варианте: «экземпляров» гораздо больше, они есть в каждой клетке, но все одинаковые). Большинство других участков генома – любые участки ядерных неполовых хромосом – присутствуют в двух вариантах, один из которых получен от отца, другой от матери. Есть еще X-хромосома, занимающая промежуточное положение: у женщин она присутствует в двух экземплярах, у мужчин в одном.

Американский антрополог и генетик Алан Темплтон еще в 2005 г. обратил внимание на тот факт, что ожидаемое время схождения эволюционного дерева, построенного для отдельного участка ДНК, в одну точку зависит от того, в скольких вариантах присутствует данный участок в организме (*Templeton, 2005*). Быстрее всего должны сходиться как раз мтДНК и Y-хромосома (что и наблюдается, они сходятся 160–200 тыс. лет назад). Это не значит, что именно тогда и появился *H. sapiens*. По мнению Темплтона, это значит лишь, что данные участки генома не годятся для реконструкции более давних событий. Участки, локализованные на X-хромосоме, сходятся в более далеком прошлом (до 2 млн лет); все остальные участки – в еще более глубокой древности, некоторые даже еще до того, как разделились эволюционные линии человека и шимпанзе. Как это может быть? Очень просто: если бы мы могли проследить во всех деталях родословную предков человечества – не какого-то конкретного человека, а всей популяции вместе, вплоть до общих предков с шимпанзе, – мы увидели бы, что эта родословная никогда не «схлопывалась» до одного-единственного индивида. Всегда, в любой момент прошлого, существовала некая предковая группа особей с различающимися генами. Поэтому «наша» эволюционная линия вполне могла унаследовать от общих с шимпанзе предков не один, а сразу несколько вариантов того или иного гена. Впоследствии мы могли растерять этот исходный полиморфизм, так что у нас в итоге остались гены, происходящие лишь от одного из исходных вариантов. Именно так и произошло с мтДНК и многими другими генами. Но это не обязательно: по некоторым генам часть исходного полиморфизма могла досуществовать (и досуществовала) до наших дней.

В общем, получается, что история мтДНК – еще не история человечества.

Каким образом по мтДНК или другому участку генома можно сделать вывод о выходе наших предков из Африки в какое-то определенное время? Это возможно в том случае, если вскоре после данного события у кого-то из переселенцев возникла мутация в изучаемом участке ДНК, которая затем в ходе экспансии размножилась. И тогда современный генетик увидит, что частота встречаемости данной мутации у внеафриканского населения, к примеру, 10%, а в Африке ее нет. Время возникновения мутации определяется на основе других, позднее возникших мутаций, по методу «молекулярных часов». Ну а если вскоре после выхода из Африки в данном участке генома никакой мутации не возникло? Тогда, разумеется, ничего не выйдет: этот участок генома просто не сохранит следов интересующей нас экспансии.

Поэтому по одному-единственному участку генома (например, по мтДНК) нельзя делать окончательные выводы об эволюции и истории расселения человечества. Для таких выводов необходим комплексный анализ многих разных участков генома.

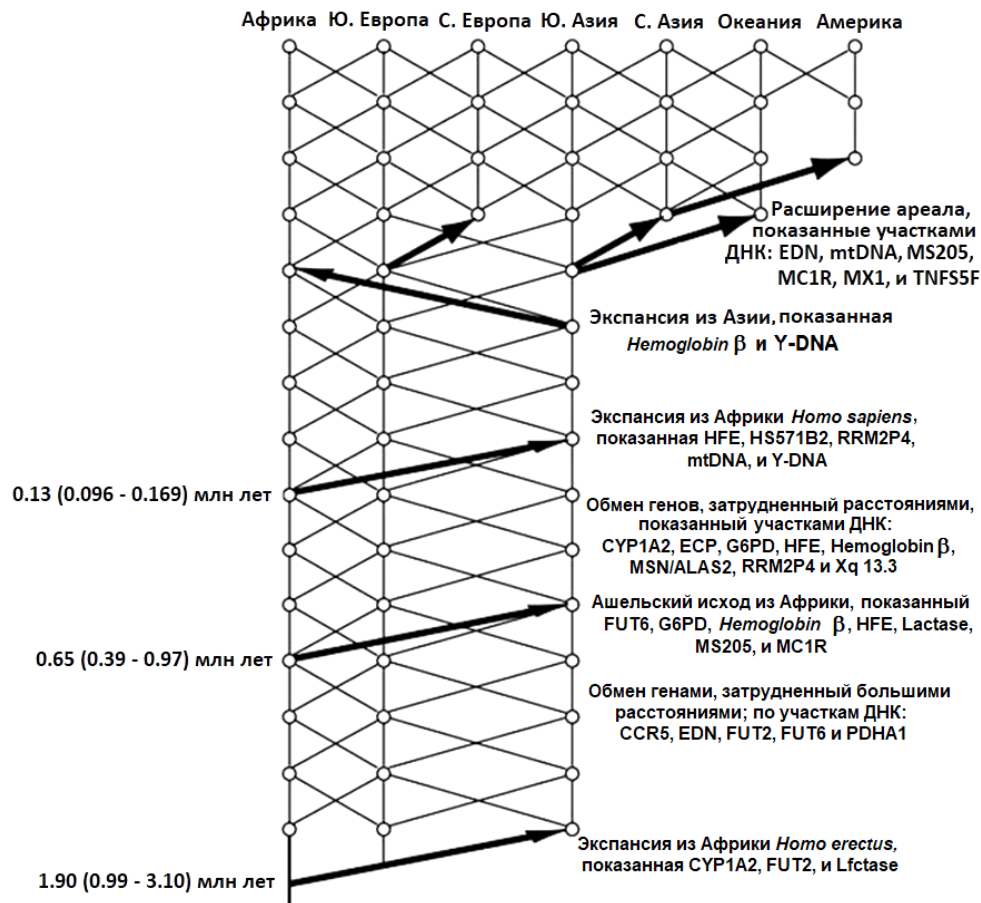


Схема истории человечества по А. Темплтону.
Справа перечислены участки ДНК (гаплотипы),
подтверждающие то или иное событие. Видно, что мтДНК
и Y-хромосома «работают» лишь начиная с последнего выхода из Африки
около 100 тыс. лет назад. По рисунку из Templeton, 2005

Темплтон проанализировал помимо мтДНК и Y-хромосомы еще 23 участка генома и пришел к следующим выводам. Разные участки ДНК сохранили следы разных событий в истории человечества. Общая картина довольно точно совпадает с той, которая реконструируется по данным археологии. Три участка ДНК сохранили следы древнейшей волны выхода из Африки около 1,9 млн лет назад. Это означает, что в наших жилах течет кровь древних азиатских (а не только африканских) эректусов!

Семь участков ДНК свидетельствуют о втором исходе из Африки около 0,65 млн лет назад. Это, наверное, позднеашельская экспансия. Гейдельбергские люди, представители этой волны, – тоже наши предки. Наконец, еще пять участков ДНК (в том числе мтДНК и Y-хромосома) подтверждают третий исход из Африки около 130 тыс. лет назад.

Кроме того, данные Темплтона показывают, что обмен генами между евразийскими и африканскими популяциями наших предков практически никогда не прекращался, хоть и был сильно затруднен большими расстояниями. Получается, что древнее человечество все-таки не было совокупностью полностью изолированных популяций (рас, подвидов, видов?) – оно было относительно единым на протяжении двух последних миллионов лет.

Выводы Темплтона оспаривались одними экспертами, в то время как другие разными путями приходили к похожим результатам. Но вплоть до публикации сенсационных результатов прочтения геномов неандертальца и денисовца (гены которых присутствуют у современных людей), преобладала точка зрения о полном вытеснении африканскими сапиенсами всех древних евразийских популяций».

19. ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЖИВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

По современным представлениям, любой «живой организм – это самоорганизующаяся нелинейная открытая метаболическая информационная система с развитыми обратными связями, подчиняющаяся законам управления, на основе которых она способна сохранять неравновесное гомеостатическое состояние и выполнять целенаправленные действия для удовлетворения своих многочисленных потребностей». Такое определение касается и высокоорганизованных многоклеточных организмов, в том числе человека, однако основной характеристикой для них является наличие признаков психической деятельности, связанной с возникновением нервной системы и развитием коры головного мозга.

Размышления о природе психической деятельности продолжаются, вероятно, с тех самых пор, как эта деятельность появилась, но к согласию об ее источнике удалось прийти сравнительно недавно – после достижений естественных наук двадцатого столетия. В это время психология вышла за рамки описательного человековедения. Она стала играть активную роль в определении методов и приемов воздействия на человека, его природные силы и потенции, поэтому сразу включилась в сферу нейронауки, которая изучает сложную систему отношений: природа – человек – общество. Эта система отношений проявляется в жизнедеятельности отдельных субъектов, различных социальных групп и объединений, а также в деятельности всего вида *человека разумного* в целом.

Современному представлению о психической деятельности способствовал прогресс естественно-научных и технических дисциплин, позволяющий рассматривать жизнедеятельность с привлечением понятийного аппарата системного анализа. С этой точки зрения, *живой организм образует единство с внешней средой, являясь элементом системы более высокого порядка – биосферы (или ноосферы по Вернадскому)*. В то же время организм сам представляет собой сложную систему взаимосвязанных между собой и взаимодействующих элементов или *структурно-функциональных рабочих единиц (СФРЕ)*, которые обеспечивают ему рост, развитие и полноценную жизнедеятельность. Таким образом, организм является СФРЕ на уровне биосферы; системы органов (сердечно-сосудистая, дыхательная, пищеварительная, выделительная, эндокринная, половая) – СФРЕ на организменном уровне; органы – СФРЕ этих систем и так далее вплоть до молекулярного и субмолекулярного уровней. При этом целостность и функциональное единство организма, а также его взаимодействие с внешней средой обеспечивает нервная система. *Нервная система управляет работой всех прочих СФРЕ организма, объединяя и координируя их деятельность. Кроме того, при помощи органов чувств и специальных чувствительных окончаний во внутренних органах нервная система постоянно воспринимает раздражения из внешнего мира и обеспечивает ту или иную деятельность организма, осуществляя его взаимосвязь с системами более высокого порядка – природой и обществом.* Таким образом, нервная система является управляющей системой – регулятором, и с помощью этой системы организм как целостная СФРЕ вступает в единство с внешней средой, в которой он растет и развивается. Именно поэтому отрасль науки, связанная с вопросами взаимоотношения организма и окружающей его среды, стала называться нейронаукой.

Термин «нейронаука» (neuroscience) был введен в конце 60-х годов двадцатого века американским биологом Френсисом Шмидтом и с тех пор широко используется при международном общении.

На сегодняшний день **центральным положением нейронауки является следующая аксиома.**

Аксиома нейронауки. Все осознаваемые и неосознаваемые психические процессы в принципе являются производными физиологических процессов в нервной системе и могут рассматриваться как ее функция.

При этом нейронаука включает в себя все области знания, связанные с нервной системой и направленные на изучение нервных процессов, обеспечивающих взаимодействие организма с внешней средой. Различные аспекты этого взаимодействия исследуются на молекулярном (нейрохимия и биофизика), клеточном, тканевом, органном и организменном (нейроморфология) уровнях структурной организации. Изучение способности той или иной структуры совершать определенные действия, т.е. изучение ее функциональных свойств относится к компетенции нейрофизиологии и физиологии высшей нервной, в том числе психической деятельности (ВНД).

Став составной частью нейронауки и включившись в ту ее область, которая изучает поведенческие реакции высших животных и человека, возникающие в ответ на действие различных факторов внутренней и внешней среды, психология приняла и другое положение нейронауки о том, что **источник психической деятельности заключен в информационном отражении на основе нервной системы, т.е. в том свойстве структурного взаимодействия, которое возникло при переходе материи от неживой – неощущающей к ощущающей – живой.**

В настоящее время понятие «психика» трактуется очень широко. В него входят такие процессы, как мышление, сознание, память, а также эмоции и интеллект – формы ВНД, обуславливающие и видоизменяющие поведение.

Поведение – это форма жизнедеятельности, которая определяет вероятность и продолжительность контакта организма с объектами внешней среды, способными удовлетворить его многочисленные врожденные и приобретенные потребности.

В физике явления, возникающие при всех видах взаимодействия объекта и стимула (воздействия) и связанные с изменениями структурного состояния объекта, можно назвать отражением или «рефлексом». При простом отражении объект меняет свое структурное состояние, не совершая при этом никаких действий. Так, например, при воздействии тепла лед превращается в воду. **Информационное отражение** предполагает наличие структур, способных не просто испытывать внешние воздействия и соответственно менять свое состояние, но и строить особые взаимоотношения с внешней средой, осуществляя поведенческие реакции, т.е. выполняя специальные функции. Таким образом, **любая информационная система, в том числе и живой организм, является функциональной системой с определенным строением и способностью совершать различные действия, изменяя свою структуру. При этом внешний стимул влияет на состояние системы не прямо, а косвенно: он приводит систему в активное состояние, «включает» внутренние программы действий, которые затем осуществляются независимо от свойств самого стимула и составляют ту или иную функцию.**

В процессе перехода материи от неощущающей к ощущающей и далее к материи, обладающей сознанием, возникли живые информационные системы, которые эволюционировали от простых информационных систем – одноклеточных организмов с элементарной раздражимостью к сложным информационным системам – многоклеточным организмам с рефлексом на основе нервной системы, а затем к высшим животным и человеку, обладающим ВНД и психическим отражением. Нейрофизиология, которая имеет дело со сложными информационными системами, позаимствовав из физики термин «рефлекс», наделила его новым содержанием. Применительно к живому организму **рефлекс означает отражение на основе нервной системы или нейрофизиологическое отражение. Он связан с возбудимостью нервных клеток и генерацией нервного импульса.**

Итак, генетически исходной формой информационного отражения, характерной для всего живого, является **раздражимость – способность организма к специфическим реакциям в ответ на действие определенного раздражителя.** Эти реакции проявляются уже на клеточном уровне и происходят за счет энергии самой клетки, а энергия внешнего стимула служит лишь для «запуска» внутреннего процесса. В этом свойстве проявляется признак информационной системы, в которой собственные характеристики раздражителя не являются определяющими для той или иной функции. Внешний раздражитель стимулирует, возбуждает внутреннюю программу самодвижения, он приводит в активное состояние ту функциональную систему, которая ор-

ганизует поведение независимо от свойств самого стимула. Часто ничтожное по собственным характеристикам – энергетическим или вещественным – воздействие может иметь громадное информационно-сигнальное значение для отражающей системы.

С появлением многоклеточных организмов и образованием нервной ткани, а затем и нервной системы, появилась такая форма информационного отражения как *рефлекс*, и, наконец, следующий шаг в эволюции живых информационных систем связан с развитием *коры головного мозга*, которая является субстратом *психического отражения*. У человека процесс восприятия внешнего мира как бы повторяет историю развития психики от элементарной раздражимости до понятийного мышления и сознания, связанных с деятельностью коры головного мозга. При этом между реакциями клетки и целенаправленным поведением человека лежит огромный слой явлений, возникающих в результате взаимодействия специализированных структурных образований нервной системы, организующих поведение и объединенных по принципу иерархии. *Иерархия – это «служебная лестница», т.е. расположение СФРЕ в порядке подчинения и перехода от низшего уровня (или ранга) к высшему.* Этот принцип проявляется как в объединении любых СФРЕ отдельного организма, так и в объединении общественных животных, в том числе людей, в социальные группы, различные сообщества, и, наконец, в таком объединении, которое мы называем «человечеством».

На нашей планете человечество является самой развитой живой информационной системой, способной не только познавать окружающий мир, осваивать его и защищаться от его повреждающих факторов, но и изменять предметы и явления внешней среды по своему усмотрению с тем, чтобы полностью удовлетворить все свои потребности.

Потребностно-информационный подход к деятельности нервной системы, организующей и регулирующей поведение, основывается на большом количестве научных фактов, полученных при изучении структуры и функций нервной системы животных и человека, при исследовании их поведенческих реакций, а также при анализе результатов деятельности здорового и больного мозга человека. Этот подход в какой-то мере позволил выяснить способы, с помощью которых нервная система координирует потребности организма с условиями внутренней и внешней среды и организует поведенческие акты, направленные на достижение определенной цели.

Потребностно-информационные критерии поведения

Нервная система является регулирующей системой, которая управляет работой всех других систем организма, осуществляя процессы его жизнеобеспечения и поведения во внешней среде.

Деятельность нервной системы, направленную на объединение и согласование работы отдельных частей организма и регуляцию процессов жизнеобеспечения принято считать нижней нервной деятельностью. В этой деятельности принимают участие все структуры нервной системы, в том числе и кора большого мозга.

Деятельность нервной системы, направленную на осуществление взаимодействия организма с внешней средой, т.е. на организацию поведения, называют высшей нервной деятельностью (ВНД). Психическая деятельность является составной частью ВНД.

ВНД называется так вследствие своей сложности, а не потому, что она связана с высшими отделами ЦНС, т.к. в организации поведения принимают участие как высшие корковые структуры мозга, так и верхние, и нижние отделы ствола, спинной мозг и периферические образования нервной системы.

При этом поведение, обусловленное активностью нервной системы, является *континуумом*³ результатов.

Континуум результатов или *поведенческий континуум* – это непрерывная последовательность поведенческих актов, совершаемых организмом на протяжении жизни. Отдельный поведенческий акт является отрезком поведенческого континуума от одного результата до другого.

В организации поведения *инициаторами действия* являются многочисленные потребности, и конечной целью любого поведенческого акта является их удовлетворение.

³ Континуум (лат.) – непрерывное, сплошное. В нашем контексте – многообразие результатов, достигаемых в течение жизни.

Наличие потребностей обуславливает постоянную активность разнообразных функциональных систем и, в первую очередь, нервной системы, а удовлетворение потребности снижает эту активность, другими словами, **активность того или иного нейронного ансамбля (блока) закономерно увеличивается при реализации поведения, направленного на достижение определенной цели (конечного результата), и уменьшается когда цель достигнута, т.е. потребность удовлетворена.**

Понятия **активности** и **целесообразности** связаны с представлениями об опережающем отражении – о направленной в будущее активности отдельных нейронов, нейронных ансамблей, всех компонентов управляющей нервной системы и организма в целом.

В развитой управляющей системе имеются компоненты, отвечающие за получение **осведомительной** информации из окружающей среды (внешней и внутренней); компоненты, отвечающие за **планирование** действий и **прогнозирование** результатов; компоненты **командных** систем, побуждающих к действию те или иные исполнительные органы или системы, а также структуры, относящиеся к **акцептору действий**, т.е. получающие информацию о реальных результатах и о соответствии их ожидаемым (**контролеры**). Если результат окажется

неудовлетворительным, акцептор действия посылает импульсы к структурам, отвечающим за планирование действий и создание конкретных программ новых действий. Таким образом, происходит перепрограммирование и достижение необходимого результата.

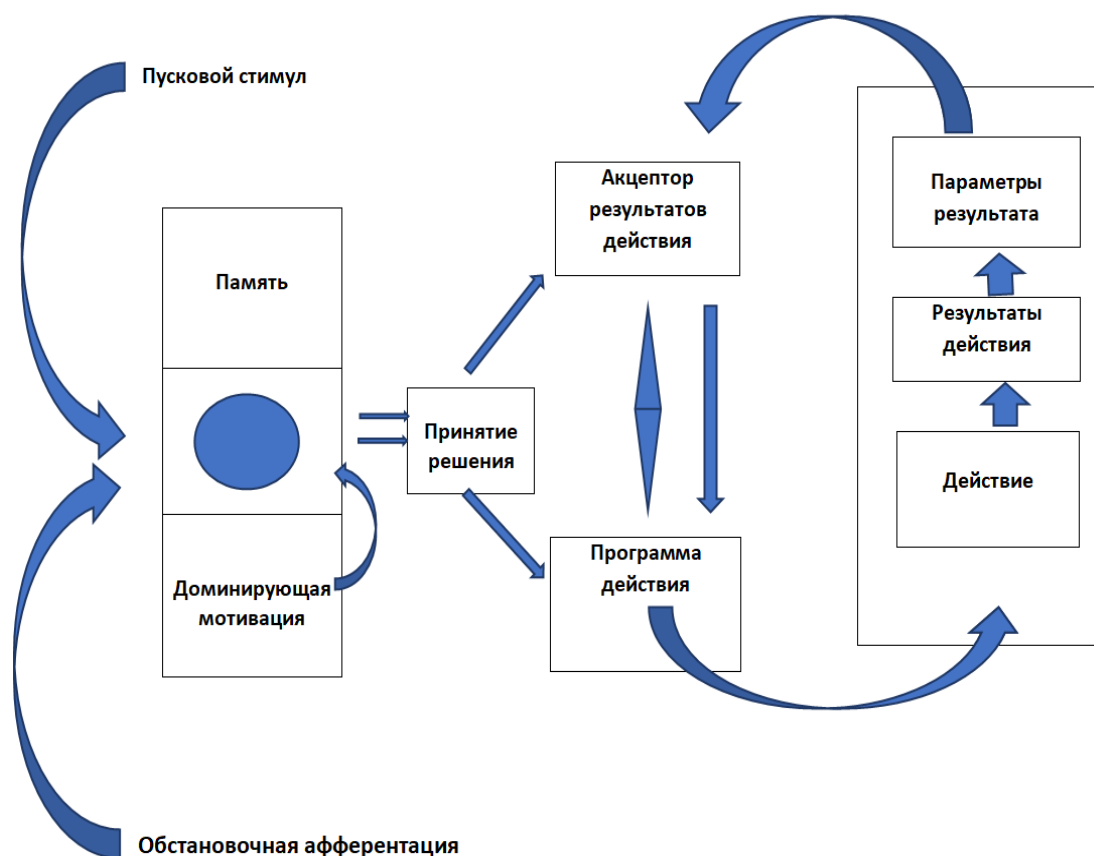


Схема операционной архитектоники ЦНС(П.В. Симонов, 1987 г.)

Основные этапы организации поведенческого акта. Поведенческий акт возникает:

1 – при наличии **пускового стимула** и в **соответствующей обстановке** (подкрепляющая афферентация), т.е. первым этапом поведенческого акта является актуализация потребности (появление мотива⁴ и наличие соответствующей обстановки).

⁴ Мотив – актуализированная потребность, которая возникает при активации *памяти о целях*. Если потребность не стала мотивом, то побуждения к действию не возникает.

2 – при **активации нейронных механизмов**, необходимых для принятия решения о действии, т.е. при возникновении мотивации⁵; на втором этапе происходит извлечение из памяти соответствующего материала либо осуществление поискового поведения.

3 – при активации структур, ответственных за **оценку вероятности удовлетворения потребности (эмоциональный фон), за составление программ действий и при наличии механизмов реализации действий**, т.е. третий этап включает в себя принятие решений о действиях, составление программ действий и реализацию действий.

Если отсутствует любой из этих компонентов, необходимых на каждом из этапов организации поведения, то поведенческий акт не реализуется (например, по экспертной оценке эмоциональной сферы вероятность удовлетворения потребности мала – появляется отрицательная эмоция, программы не составляются, и команды к действию не возникают).

Таким образом, мотив необходим для осуществления первого этапа поведенческого акта, для второго этапа необходима мотивация, а на третьем этапе программируются и реализуются действия.

Способность **воспринимать изменения внешней и внутренней среды и изменять свое поведение** для достижения определенной цели – два основных свойства всех живых информационных систем (живых организмов) от самых простых до самых сложных. Вместе с тем, информационные системы, обладающие нервной системой и, особенно, головным мозгом, в своих способностях ощущать и действовать намного превосходят другие, более простые организмы. Это обусловлено тем, что с развитием ЦНС в целенаправленном поведении живых информационных систем появились такие варианты действий, которые характеризуются как «моделирование», а среди механизмов управления, наряду с «программным» и «блочным» появилось «форпостное» управление, основу которого составляет прогноз развития ситуации во внешней среде.

Механизмы управления. Простейшие механизмы, с помощью которых реализуются все законы управления, базируются на двух основных принципах: управление «по возмущению» и управление «по отклонению».

При **управлении «по возмущению»** проявляется избирательность информационного отражения, когда система может принять, отклонить или изменить (усилить или ослабить) сигнал⁶ из внешней среды «на входе» и придать ему значение стимула⁷. При этом реализуются защитные реакции.

Важно, что все информационные потоки, которые могут иметь сигнальное значение, т.е. восприниматься как сигнал в той или иной конкретной ситуации, существуют в виде раздражителей.

Раздражители – те изменения внешней среды, которые существуют объективно и не зависят от нашего восприятия. Не каждый раздражитель является сигналом. Существуют **индифферентные раздражители**, которые не воспринимаются системой и, соответственно, не становятся сигналами. Раздражители, несущие информацию, необходимую как для ориентировки во внешней среде, так и для оценки состояния самого организма, **приобретают сигнальное значение, если они вызывают генерацию нервного импульса в рецепторных клетках сенсорных систем.**

⁵ Мотивация – физиологический механизм активирования хранящихся в памяти следов (энграмм) тех объектов и действий, которые способны удовлетворить имеющуюся потребность, если необходимой информации в памяти нет, то активируются механизмы поискового поведения по принципу «проб и ошибок».

⁶ Сигнал «signum» (лат.) – знак, сигнал – условный знак для передачи информации на расстояние, в нашем контексте – нервный импульс.

⁷ Стимул «stimulus» (лат.) – погоняло, стрекало – побуждение к действию, толчок, причина действий.

Из этого следует, что сами по себе раздражители еще не являются информацией, они приобретают это качество только после того, как становятся сигналами – семантически значимыми информационными элементами для той информационной системы, которая их воспринимает (семантический – смысловой).

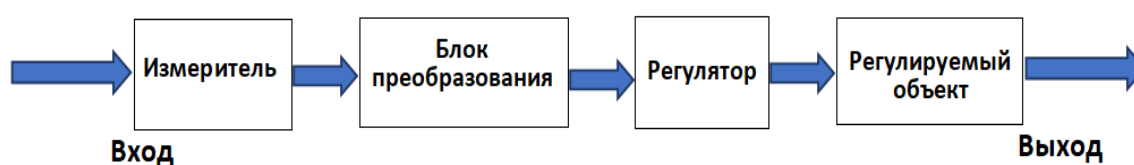
Сигнал превращается в стимул, когда становится побуждением к действию, т.е. в тех случаях, когда после восприятия сигнала возникает то или иное действие. Не каждый сигнал становится стимулом, как не каждый раздражитель является сигналом.

Таким образом, выстраивается цепочка: раздражитель – сигнал – стимул, где наиболее широким понятием является «раздражитель», а наиболее узким – «стимул».

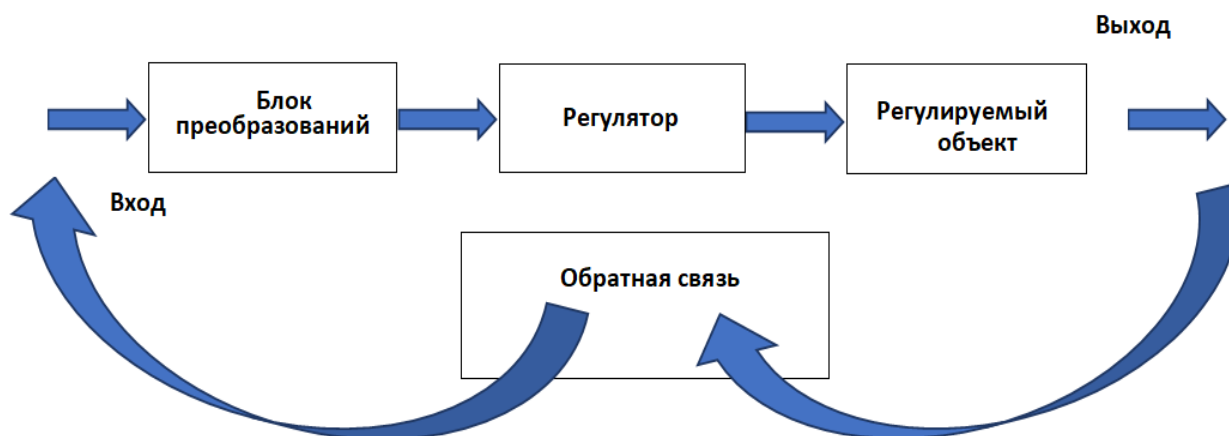
При **управлении «по отклонению» с помощью биологических обратных связей (БОС)** реализуется опережающее отражение. Управляющая система улавливает изменения параметров действий других функциональных систем **«на выходе»**. Если такие параметры отличаются от **«заданных»**, включаются БОС, происходит коррекция отклонений и возвращение параметров к необходимым. При участии положительных и отрицательных БОС формируется целенаправленное самостоятельное поведение, включающее предвидение.

Совместное действие положительных и отрицательных БОС позволяет организовать адаптивное поведение, в том числе и процессы самоорганизации (например, компенсаторно-приспособительные реакции – КПП).

Управление по возмущению



Управление по отклонению



Схематическое изображение способов управления (Е.Н. Попечителей, 1997 г.)

Из других механизмов управления, развивающихся в процессе эволюции, в организме используются:

– **«пороговые схемы»**, т.е. подключение командных систем к исполнительным органам только при наличии некоторого порогового уровня **«входного» сигнала** (подпороговый или запредельный уровни могут восприниматься сенсорными системами, но они не приводят к действию, т.к. отклоняются командными системами); для реализации действия при управлении с помощью «пороговой схемы» необходимо, чтобы сигнал приобрел пороговое значение и стал стимулом;

– **«программное управление»** – конкретная программа действий зависит от **«выходного» сигнала**, который имеет значение стимула и включает вполне определенную программу действий;

– **«блочное управление»**, при котором действие реализуется с помощью соединения стандартных программ в единые блоки (например, при ходьбе или беге в конечностях одновременно включаются программы действия мышц-сгибателей и мышц-разгибателей, а при беге и программа поддержания тела в «полете», чтобы обеспечить равновесие и нормальное положение тела в пространстве);

– **«форпостное управление»**, основу которого составляет прогнозирование результатов действия и развития ситуации во внешней среде, т.е. управление поведением, направленным в будущее (например, при охоте кошки на птицу, когда кошка прыгает не туда, где птица находится в данный момент, а туда, где будет находиться птица, когда она взлетит; таким образом, кошка действует с «учетом потребного будущего» по терминологии Бернштейна).

Поведенческие действия, реализуемые управляемой системой, делят на три группы:

– **«реакции»**, где каждое действие рассматривается как простой механизм поведенческого акта, включающийся в любой ситуации при переходе определенного сигнального раздражителя в пусковой стимул; к таким механизмам относятся – **раздражимость** и простые рефлексy, осуществляемые по принципу **«пуск–тормоз»** или **«сигнал–ответ»**;

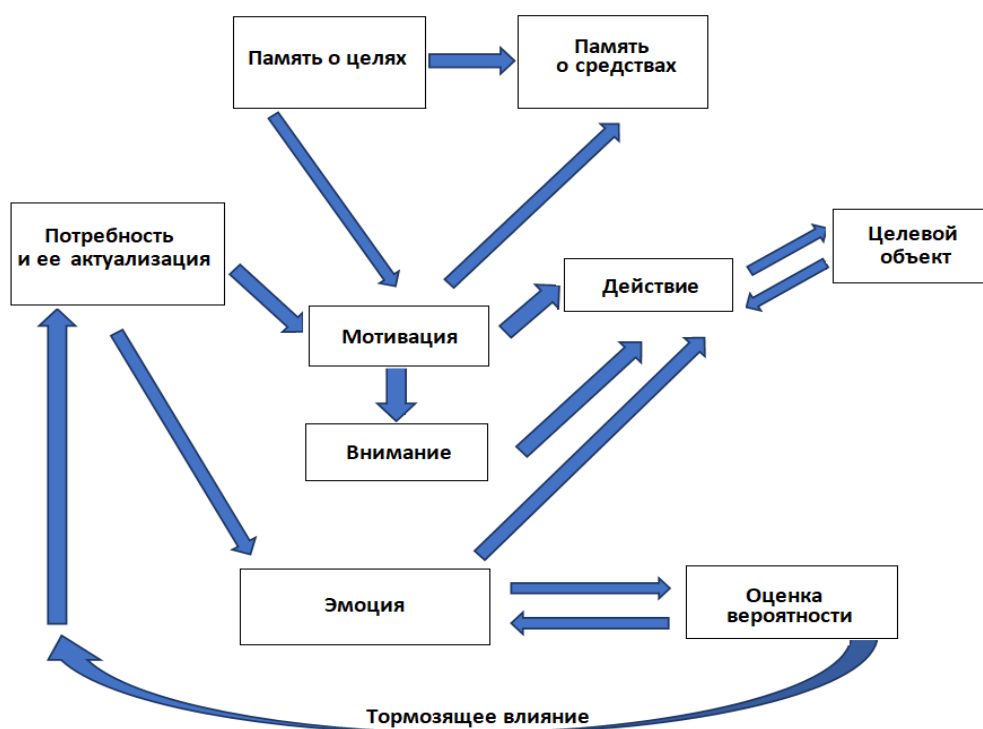
– **«стереотипы»**, при которых поведение строится по определенным программам, когда каждая программа была неоднократно отработана системой и стала для нее стандартной (типовой), т.е. на действие внешнего стимула организм отвечает стандартным набором поведенческих актов (автоматизированное поведение), так осуществляются сложные безусловные и условные рефлексy;

– **«моделирование»**, при котором каждый поведенческий акт учитывает изменяющиеся параметры внешней среды, текущее состояние организма, преследуемые цели и прогнозируемые результаты, т.е. составляется модель «потребного будущего» и устанавливается соответствие между наличными и возможными ситуациями и поведением.

В этом варианте действий требуется всесторонний анализ информации, поступающей из внешней и внутренней среды, для распознавания конкретной ситуации.

В связи с этим особое значение приобретают сигналы, поступающие из органов чувств – сенсорные сигналы. **Сигналы, возникающие в рецепторных нейронах органов чувств и передающиеся по афферентным волокнам к нервным центрам, называются сенсорными сигналами.** Процесс передачи информации по афферентным путям нервной системы сопровождается многократным их преобразованием (перекодированием) на всех иерархических уровнях и завершается опознанием сенсорного образа. Понятно, что опознание сенсорного образа включает в себя сбор информации, ее анализ и синтез. Для этого различные нервные элементы объединяются в функциональные системы, которые имеют свои датчики, каналы связи, детекторы признаков и т.д. Все эти элементы необходимы для того, чтобы в процессы высшей нервной деятельности включилась осведомительная информация.

Сенсорная система представляет собой совокупность периферических и центральных образований, обеспечивающих кодирование (отражение) физико-химических характеристик внешних раздражителей, оценку их сигнальной сущности и биологической значимости. Эти образования участвуют в организации отдельных поведенческих актов и всего адаптивного целенаправленного поведения. Кроме сенсорной информации в организации поведения участвует информация, хранящаяся в памяти, а для оценки поступающей информации в структуру поведенческого акта включаются так называемые «экспертные системы» – внимание и эмоции. Механизмом побуждения к действию является доминирующая мотивация. Командные системы включают в работу исполнительные структуры, их активность направлена на целевой объект.



Общая структура поведенческого акта (П.В. Симонов, 1987 г.)

Мотивом, или побудительной *причиной действий*, всегда является та или иная актуализированная потребность (у животных – витальная или социальная, у человека к этому добавляется большой спектр идеальных потребностей).

На основе потребностей существуют инстинкты (сложные и сложнейшие безусловные рефлексы – БУР), влечения – драйвы и условные рефлексы, а также возникающие вместе с потребностями эмоции. Кроме того у людей добавляются установки и идеалы, которые приобретаются в онтогенезе на основе мышления и сознания. С помощью эмоций выделяются *доминирующие и субдоминирующие потребности*, если в какой-то момент времени актуализируется несколько конкурирующих⁸ потребностей.

Когда говорят о *конкуренции потребностей* или «о борьбе мотивов», то на самом деле имеют в виду те эмоции, которые вызваны потребностями, одновременно актуализированными в данный конкретный момент у данной конкретной личности.

Если причиной действия является мотив, то *механизмом, побуждающим к действию*, является *мотивация*, т.е. активация деятельности мозговых структур, участвующих в реализации поведенческих актов, направленных на удовлетворение потребностей и, соответственно, на устранение или минимизацию отрицательных эмоций и получение или максимизацию положительных эмоций.

С нейрофизиологической точки зрения, *мотивация – это механизм активирования в памяти энграмм (следов памяти) тех внешних объектов, которые способны удовлетворить имеющуюся у организма потребность и тех действий, которые необходимо для этого совершить*. Таким образом, возникновение мотивации тесно связано с избирательным возбуждением нервных центров, участвующих в организации целенаправленного поискового поведения.

Не существует мотивации без потребностей, но вполне можно встретить потребность, не ставшую мотивацией. Например, человек испытывает острую потребность в витаминах, что вызывает у него состояние дискомфорта, т.е. отрицательные эмоции, которые являются отражением неудовлетворенной потребности. Не зная о причинах своего дискомфортного состояния, человек не является мотивированным. Необходимо сходить к врачу и выяснить мотив, тогда возникнет и мотивация, активируется память о средствах, и человек начинает действовать.

⁸ Конкурировать (лат.) – бежать вместе.

Обмен веществ и гомеостаз

Основной жизнедеятельности всех живых существ является их способность к обмену веществ. Жизнь требует расхода энергии, а источником энергии в организме служит множество разнообразных химических реакций, протекающих в клетках и межклеточном пространстве. Вся химическая деятельность, обеспечивающая подвижность клеток и отростков, их возбудимость, проводимость и рост, восстановление и воспроизведение, называется обменом веществ, или метаболизмом. Энергия, необходимая для процессов жизнедеятельности, производится в организме при непрерывном расщеплении белков, жиров и углеводов, которое имеет длинный ряд промежуточных этапов. Если такое расщепление происходит в присутствии кислорода, то конечными продуктами оказываются углекислота и вода, и данный процесс называется дыханием, или биологическим окислением. Живые клетки не тепловые машины, они не могут использовать тепловую энергию для осуществления явлений жизни: роста, движения, способности к раздражению – и поэтому вынуждены использовать химическую энергию реакций, в ходе которых происходит переход электронов с одного энергетического уровня на другой. Электроны отщепляются от молекулы какого-либо питательного вещества и через обширную систему переносчиков в конце концов присоединяются к кислороду, который, реагируя с ионами водорода, образует молекулу воды, а органические вещества при этом процессе расщепляются до углекислоты. Этот поток электронов получил название «электронного каскада».

Представим себе, что поток электронов на своем пути проходит через ряд водопадов; каждый водопад вращает турбину химической реакции, в ходе которой энергия электронов связывается в биологически полезной форме – в виде энергии органических соединений, таких, например, как аденозинтрифосфат (АТФ).

Получаемая энергия вновь включается в процесс синтеза органических веществ, то есть тех же углеводов, белков, жиров и других соединений, необходимых для жизни, а также используется для переработки питательных веществ, поступающих извне. Питательным веществом называется любое потребляемое организмом вещество, которое может быть использовано для получения энергии, необходимой для потребления и восстановления тканей организма, или для обеспечения физиологических процессов. Поступив в организм, питательные вещества либо включаются в состав новых элементов, либо окисляются, доставляя организму энергию. Часть этой энергии используется для синтеза новых веществ, часть потребляется в процессе функционирования органов и клеток (передача нервных импульсов, сокращение мышечных клеток и тому подобное), часть освобождается в виде тепла.

Питание или трофика (от греческого *trophe* – питание) – это сложное, многоступенчатое проявление деятельности организма. Оно складывается из процессов поиска и поглощения пищи; пищеварения; всасывания питательных веществ и поступления их во внутреннюю среду организма; уравнивания реакций ассимиляции (по латыни *assimilatio* – уподобление, усвоение организмом внешних по отношению к нему веществ) прибывших простых молекул с процессами диссимиляции (распада) сложных молекул, составляющих внутреннюю среду клетки; своевременного удаления промежуточных и конечных продуктов обмена. Совокупность этих последовательных или одновременно протекающих процессов направлена на рост и созревание, на сохранение структуры и функции клеток, тканей и органов и, следовательно, целостного организма. Нарушение отношения между этими процессами может привести к деградации и гибели всего организма.

В зависимости от обеспечения питательными веществами органы, ткани и клетки могут испытывать различные трофические состояния, к которым в соответствии с общепринятой терминологией применяют определенные названия, перечисляемые ниже.

Эйтрофия – оптимальное питание, то есть такое взаимоотношение между уровнем утилизации питательных веществ, притекающих к клеткам, и скоростью удаления продуктов распада, при котором не наблюдается отклонений от нормального структурного (морфологического) строения, физико-химических свойств и функций клеток и нормальной способности к росту, развитию и специализации.

Гипертрофия – усиленное питание, выражающееся в увеличении массы клеток (истинная гипертрофия) или в увеличении количества клеток (гиперплазия), обычно с повышением их функции. Гипотрофия – ослабленное питание, связанное с уменьшением массы и количества (гипоплазия) клеток как, например, физиологическая гипотрофия различных органов при малоподвижности, весьма распространенном состоянии организма в настоящее время. Атрофия – отсутствие питания и, соответственно, постепенное уменьшение массы клеток и их исчезновение. Дистрофия – качественно измененное неправильное питание, приводящее к морфологическим сдвигам, изменению физико-химических свойств и функций клеток, тканей и органов, их росту, развитию и специализации. Различают дистрофии местные, системные и общие, врожденные и приобретенные в результате повреждающих воздействий на организм факторов внешней и внутренней сред. Дистрофические изменения могут быть обратимыми, если вредоносные факторы прекращают свое действие, и необратимыми, заканчивающимися гибелью клеток, если дистрофия с самого начала была несовместима с их жизнью. Во многих случаях тяжелое поражение или гибель органов и тканей является результатом дистрофических сдвигов в результате хронических воздействий на организм неких патологических факторов. Трофические изменения могут развиваться как самостоятельные явления или как симптомы различных болезней.

При развитии ряда стандартных и специфических физиологических процессов (воспаление, опухоль) могут наблюдаться одновременно явления гипертрофии, гиперплазии, гипотрофии, гипоплазии, атрофии. Часто эти изменения трофического состояния сменяют друг друга. Как писал Кахаль, «Мы часто можем наблюдать суровую конкуренцию за питание среди клеток в ткани, «борьбу за существование» среди клеток в воспаленных областях или среди элементов, подвергнутых воздействию опухолей. Однако, как в каждом здоровом цивилизованном сообществе борьба за существование отбрасывается или значительно снижается посредством государственного управления, направленного на разделение труда и распределение благ, создающих условия для общих интересов, так и в живом организме, благодаря особому контролю нервной системы, а также подавлению незанятости или чрезмерной свободы и распределению функциональных ролей, борьба исчезает или становится умеренной, проявляясь только тогда, когда общее питание органов или клеток серьезно нарушается внутренними или внешними причинами».

Еще Гиппократ заметил связь между изменениями отдельных органов и частей тела. Он писал: «Органы сочувствуют друг другу в отношении своего питания». Винслоу развил эту мысль и впервые высказал предположение, согласно которому взаимное влияние («сочувствие – симпатия») внутренних органов друг на друга, при котором заболевание одного из них вовлекает в болезненный процесс другие органы, осуществляется сочувственным или «симпатическим» нервом. Затем на протяжении более чем 200-летней истории развивалось учение о «нервной трофике», основополагающим выводом которого является то, что регуляция трофики в организме осуществляется рефлекторным путем («рефлекс» – отражение) с помощью нервной системы и одним из важнейших звеньев трофического рефлекса является ее отдел, по традиции называемый симпатическим.

Трофический рефлекс, как и всякий рефлекс, состоит из 3-х звеньев: афферентная («приводящая») часть, нервный центр, эфферентная («отводящая») часть – но в данном случае речь идет не о простой рефлекторной дуге, а о разветвленном рефлексе, который получает множественное структурное и функциональное обеспечение во всех своих звеньях и осуществляется одновременно различными афферентными, центральными и эфферентными путями. Естественно, что при любом мероприятии, воздействующем на одно или несколько звеньев трофического рефлекса, в процесс вовлекаются практически все морфологические структуры и физиологические механизмы, имеющие отношение к трофике клеток, тканей, органов и организма в целом.

Обмен веществ регулируется таким способом, чтобы внутренняя среда организма оптимально соответствовала внешним условиям, но при этом уровень обменных процессов имеет определенный, относительно постоянный диапазон, соответствующий приспособительным реакциям. Внешние условия стремятся вызвать изменения, а организм непрерывно приспосабливается к этому, обеспечивая реакции внутренней среды в пределах постоянного диапазона. Такое стремление к относительному постоянству внутренней среды называется «гомеостазом».

Понятие гомеостаза первоначально было сформулировано Уолтером Кенноном для теоретического обоснования постоянства внутренней среды организма и ряда его физиологических

функций. Тогда под термином «гомеостаз» понимали постоянство состава крови, лимфы, тканевых жидкостей, заключающееся в поддержании на определенном уровне осмотического давления, общей концентрации метаболитов, отдельных ионов, кислотно-щелочного состояния. Позднее представление о гомеостазе было математически разработано Норбертом Винером с позиций открытой системы, стационарное состояние которой обеспечивается регуляторными механизмами с обратной связью. Наиболее распространенное в литературе *определение гомеостаза как «относительного постоянства состава и свойств внутренней среды и устойчивости основных физиологических функций организма, обусловленного сложными регуляторными взаимодействиями на молекулярном, клеточном и организменном уровне организации живого»* принадлежит К.Н. Кассилю, Ю.Е. Вельтишеву, Б.Н. Тарусову и В.В. Фролькису. При этом в понятие гомеостаза уже включается как фазовое, так и циклическое течение реакций. Такая формулировка, естественно, представляет собой развитие первоначальных представлений, когда на первый план выдвигалось постоянство внутренней среды, а любое изменение рассматривалось как нарушение гомеостаза. Тем не менее в настоящее время термином гомеостаз пользуются еще более широко, подразумевая под этим не неизменность состояния, а неперенное колебание вокруг некоторого уровня.

Биологическая обратная связь как механизм обеспечения гомеостаза

Прогресс в области нейробиологии, клинической и экспериментальной медицины и психологии сопровождается появлением новых понятий, обновлением традиционных представлений, привлечением терминов смежных дисциплин с новым оттенком содержания. Высокие темпы развития, непрерывное обогащение представлений о характере и механизмах физиологических явлений делают процесс «смыслового дрейфа» понятий особенно осязаемым.

Одним из самостоятельных новых направлений в немедикаментозном совершенствовании нормальных (здоровых) и коррекции нарушенных функций, основанном на целенаправленной активации резервных возможностей организма, является использование биологической обратной связи (БОС). В общем смысле обратная связь – это воздействие результатов функционирования какой-либо системы на характер этого функционирования (рис. 19). Обратная связь, действие которой приводит к увеличению выходного сигнала при неизменном сигнале на входе, называется положительной, вызывающая уменьшение – отрицательной. В целом обратная связь доставляет регуляторам сигналы о результате управляющего воздействия.

По современным представлениям, организм является сложной динамической системой, состоящей из комплекса взаимосвязанных и взаимодействующих между собой элементов, усложняющихся и поднимающихся по «иерархической лестнице». При этом он сам является элементом системы более высокого порядка (биосферы) и образует единство с внешней средой. На каждом иерархическом уровне осуществляются прямые и обратные связи между входящими в него элементами и структурно-функциональными рабочими единицами (СФРЕ). Организм представляет собой СФРЕ на уровне биосферы; специфическая и неспецифические функциональные системы (сердечно-сосудистая, дыхательная, пищеварительная, нервная, эндокринная) – СФРЕ на уровне организма; органы – СФРЕ функциональных систем и так далее, вплоть до молекулярного и субмолекулярного уровней.

Уровень колебаний гомеостатических реакций (ширина диапазона) и резервы его поддержания определяются активностью СФРЕ, которые существуют за счет энергии, выраба-

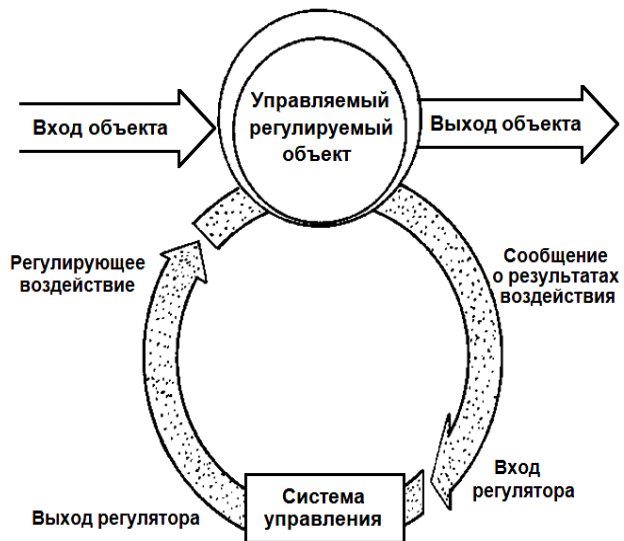


Рис. 19. Обобщенная схема устройства с обратной связью

тываемой в процессе обмена веществ. Степень активности СФРЕ, обеспечивающая динамическое уравнивание поступления и расходования в организме потоков вещества и энергии, зависит от программы метаболизма, его интенсивности и направленности. Оптимальное состояние гомеостаза обеспечивается эволюционно выработанными, наследственно запрограммированными механизмами «конституитивного» и «индуцибельного» метаболизма.

Конституитивный метаболизм направлен на выработку веществ, которые образуют физическую основу СФРЕ, и участвуют в реакциях, необходимых для ее жизнеобеспечения. Он поддерживает гомеостаз в условиях изоляции от любых внешних для данной СФРЕ воздействий за счет ее внутренних регуляторных механизмов. Метаболизм индуцибельный направлен на синтез веществ, обеспечивающих различные функции СФРЕ, которые необходимы для выполнения специализированной работы в системе, а также для осуществления полноценной жизнедеятельности организма в соответствии с условиями окружающей среды, то есть для реализации адаптивных и компенсаторно-приспособительных реакций.

Индукцибельный метаболизм поддерживает адекватный гомеостаз при наличии внешних воздействий на организм в целом путем взаимодействия внутренних и внешних регуляторных механизмов. Включение индуцибельного метаболизма приводит к запуску биологической обратной связи, действующей на конституитивный метаболизм с целью стимулировать (положительная связь) либо блокировать (отрицательная связь) синтез веществ, используемых для жизнеобеспечения. В определенных условиях вещества, синтезируемые под контролем внешних регуляторных систем, могут действовать только по принципу отрицательной обратной связи и блокировать метаболизм, направленный на жизнеобеспечение отдельной СФРЕ, если это необходимо для оптимизации работы функциональной системы или организма в целом (рис. 20).

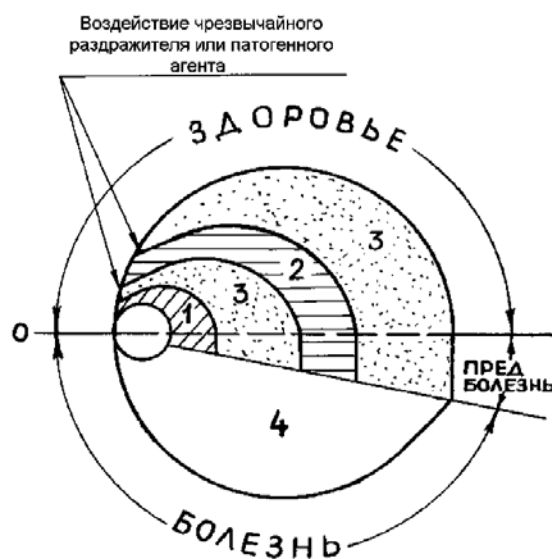


Рис. 20. Обобщенная схема гомеостаза в здоровом и больном организме:

- 1 – базовый гомеостаз (конституитивный метаболизм);
- 2 – адаптивные и гомеостатические реакции;
- 3 – компенсаторно-приспособительные гомеостатические реакции;
- 4 – патологические реакции

Для организма в целом как для открытой системы внешними регуляторными стимулами являются факторы окружающей среды; для его функциональных систем (органов, тканей, клеток) внешние регуляторные стимулы состоят из результатов взаимодействия нервных, нейроэндокринных, эндокринных, иммунных и других влияний, каждое из которых представляет собой определенный контур регуляции. При этом важно, что любой из контуров является саморегулирующимся и может быть в известной степени автономным, но вместе с тем для каждого из них другой гомеостатический контур также является регулятором, обеспечивающим адекватный сигнал на выходе.

Высшую интегрирующую и регулирующую роль в обеспечении реакций, поддерживающих гомеостаз на организменно-системном уровне, играет нервная система. Регуляция строится на сложной иерархии взаимоподчиненных «подстанций» в составе центральных и периферических отделов нервной системы, начиная от корково-подкорковых структур головного мозга и кончая терминалями, функционирующими в каждой рабочей СФРЕ вплоть до клеточных групп или даже отдельных клеток. При повреждении одной из этих подстанций, особенно структур головного мозга, возникает каскад компенсаторно-приспособительных реакций (КПР), влекущий за собой комплекс морфофункциональных перестроек в самом головном мозге, остальных отделах нервной системы, а затем в органах и тканях других систем жизнеобеспечения.

По современным представлениям, в нервной регуляции гомеостаза наиболее существенными реакциями являются не столько нервно-импульсные влияния типа «пуск – тормоз», сколько влияния нервнотрофические, которые осуществляются благодаря выделению в нервных окончаниях специальных веществ – нейромедиаторов. Успехи в изучении синтеза и перераспределения веществ в нейронах, транснейронального переноса макромолекул и низкомолекулярных соединений в системе межнейронных, нейроглиальных и нейротканевых отношений, показали, что эти механизмы являются основой общего процесса взаимодействия между различными формациями нервной системы и ее регулирующего влияния на тканевую субстрат, которое принято называть нервной трофикой.

В этой связи пристальное внимание исследователей вновь привлекла одна из основных систем регуляции, используемая организмом для координации своей деятельности в соответствии с требованиями внутренней среды и внешними условиями, – вегетативная нервная система (ВНС).

ВНС осуществляет общую регуляцию путем изменения активности двух своих сбалансированных отделов – симпатического и парасимпатического и, используя вещества – передатчики, способна практически мгновенно мобилизовать внутренние ресурсы организма для целостной вегетопсихомоторной реакции на любую возникающую извне или изнутри ситуацию (рис. 21).

С одной стороны, ВНС функционирует таким образом, что непрерывно поддерживает некоторый относительно постоянный «заданный» уровень для каждого физического или химического параметра внутренней среды, возбуждая или затормаживая различные физиологические функции организма, чтобы свести к минимуму отклонения отдельных параметров и, несмотря на значительные колебания условий окружающей среды, обеспечить относительное постоянство гомеостаза.

С другой стороны, уровень активности систем, которые обеспечивают взаимодействие организма с непрерывно меняющимися условиями внешней среды, должен варьировать в широких пределах, чтобы обеспечить адекватную приспособительную реакцию на вновь возникающие, непривычные или чрезвычайные ситуации, порождающие особые требования к составу внутренней среды.

Экстренная мобилизация внутренних ресурсов и поддержание необходимого уровня функциональной активности органов и систем жизнеобеспечения для самозащиты организма в таких условиях возможна только при использовании единой регулирующей системы, организующей и руководящей согласованными действиями других систем. Именно такой системой и является ВНС, которая в качестве дивергентной системы с одним «входом» и множеством «выходов» на ткани и клетки-мишени обладает обширными зонами влияния и осуществляет интеграцию и координацию различных видов деятельности организма.

Преимущества ВНС заключается в том, что она оказывает влияние не только на ткани и органы основных систем жизнеобеспечения, но и на другие нейроны, осуществляя связь со всеми иерархическими уровнями нервной системы и выходя за пределы специфических сенсорных, двигательных или ассоциативных функций. Кроме того, очень важно, что эффект медиаторов, используемых ВНС в качестве молекулярных посредников, зависит от условий, в которых он осуществляется, и может иметь противоположную направленность в разных условиях существования.

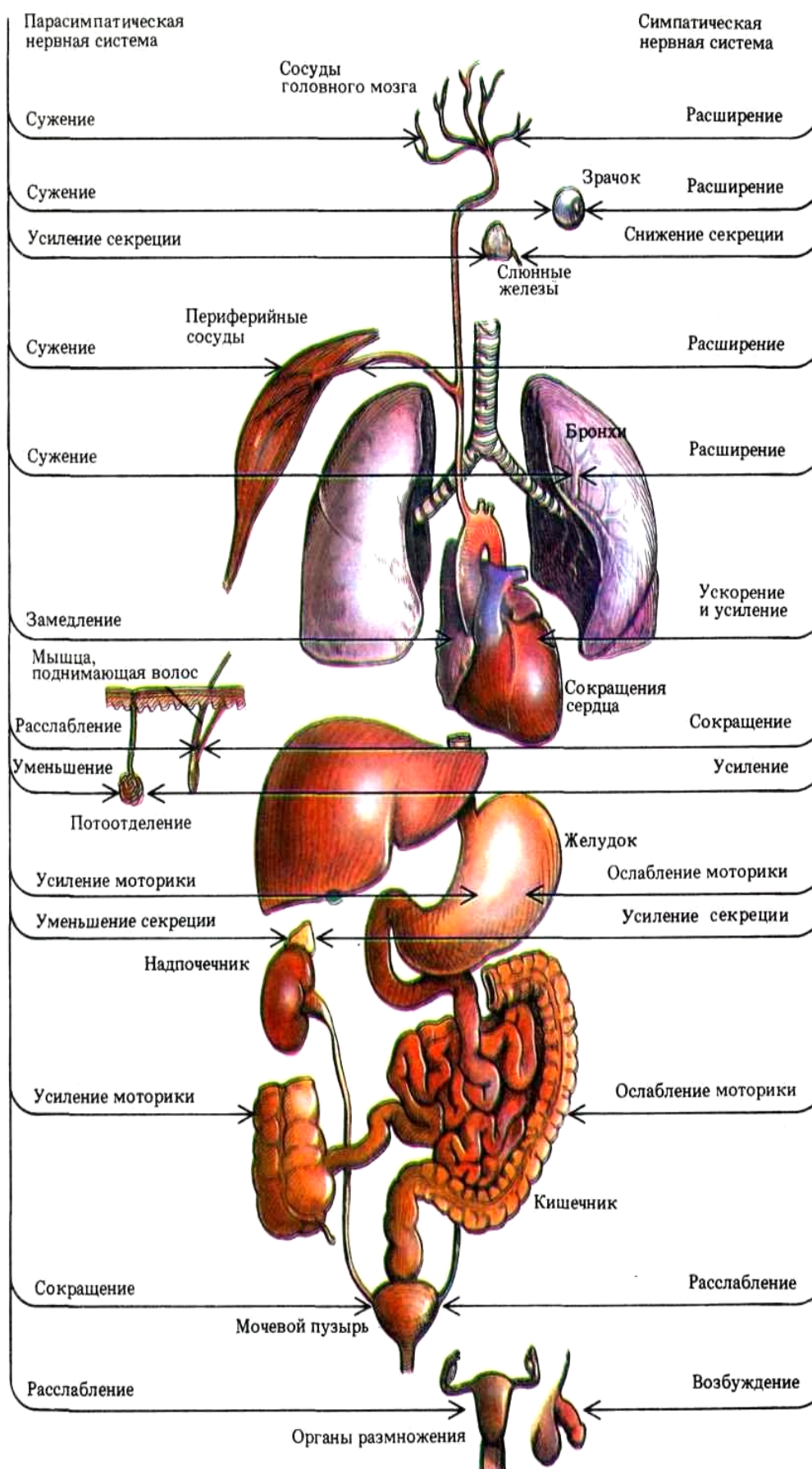


Рис. 21. Взаимодействие симпатического и парасимпатического отделов ВНС в регуляции функций внутренних органов (Ф. Блум и др., 1988)

Известно, что на ранних этапах филогенеза ВНС служила в основном для того, чтобы аккумулировать и сохранять энергию. В дальнейшем, на более поздних этапах эволюции по мере постепенного формирования и развития симпатического отдела, стала проявляться ее способность к мобилизации внутренних ресурсов и расширению диапазона компенсаторно-приспособительных реакций организма. У высших животных и человека деятельность ВНС, направленная на сбережение энергии и ресурсов, осуществляется в основном за счет парасимпатического отдела, а экстренная мобилизация энергии и поддержания адекватного уровня гомеостаза в экстремальных ситуациях и новых условиях жизни преимущественно зависит от реактивных возможностей симпатического отдела. Подводя итоги накопившимся данным и обобщая результаты основных исследований в данной области, Л.А. Орбели сформулировал представление о ВНС как о системе адаптационно-трофической и отметил, что ВНС регулирует уровень активности того или иного органа воздействием на протекающие в нем процессы.

В учении о нервной трофике содержится то основное звено, которое объединяет теоретические проблемы физиологии и патологии с клиникой. В настоящее время представление о нервно-дистрофическом компоненте механизмов заболевания начало занимать надлежащее место в мышлении врачей, а идея о том, что лечить нужно не только болезнь, но и больной организм, в том числе его нервную систему, стала ведущей в сознании многих клиницистов.

Адаптивные, компенсаторно-приспособительные и патологические реакции организма

Как элемент биосферы, образующий единство с окружающей средой, организм представляет собой ту наиболее выгодную систему, у которой автоматически изменяется способ действия с целью наилучшего управления. Такое автоматическое приспособление живого организма к непрерывно меняющимся условиям внешней и внутренней среды называется адаптацией. Организм – это адаптивная система, которая сохраняет работоспособность при непредвиденных изменениях окружающей среды. Это происходит путем изменения свойств управляемого объекта, а также целей управления, путем поиска наиболее целесообразного состояния. Проявления адаптации есть процессы обучения и самообучения, управления и самоуправления. Следует подчеркнуть, что процесс адаптации, то есть достижение самого выгодного режима работы, всегда происходит к определенным конкретным сложившимся условиям среды. То есть адаптироваться можно и к болезни. И резкое избавление пациента от какого-либо длительно сохраняющегося недуга может привести к серьезной дисгармонии в работе всех его витальных систем и функций. Иными словами, следует очень осторожно подходить к лечению хронических заболеваний, к которым организм практически адаптировался.

Устойчивость системы и ее способность к адаптации и компенсации нарушенных функций зависит от количества обратных связей между всеми ее уровнями и согласованности в их активности по времени и месту. На основе интеграции в системах управления и координации деятельности командных и исполняющих систем и осуществляется необходимый уровень обеспечения гомеостаза.

Живая система постоянно находится в колебательном состоянии, причем ширина диапазона разнообразных колебаний определяет устойчивость системы и ее способность к адаптации и компенсаторным реакциям в условиях жизнедеятельности. Расширение адаптивных и компенсаторно-приспособительных реакций (КПР) особенно ярко проявляется в состоянии напряжения, когда организм стремится к увеличению периода колебаний, чтобы продлить время восстановления, накопить энергетические и пластические резервы, необходимые для последующего повышенного их расходования.

Система поддержания организмом гомеостаза исключительно сложна по своим механизмам и строится на практически бесконечном разнообразии его реакций. Вместе с тем все они формируются из функций организма, отличаясь друг от друга лишь своеобразием комбинаций тех или иных функций в каждом конкретном случае, и объединены общим призна-

ком компенсаторно-приспособительной сущности и гомеостатической направленности. Приспособительные (адаптивные) реакции обеспечивают гомеостаз в повседневных условиях при умеренных колебаниях функциональных нагрузок за счет изменения скоростей биологических реакций в пределах физиологической нормы. Компенсаторно-приспособительные реакции обеспечивают гомеостаз в условиях превышения пороговой величины воздействия (при действии чрезвычайных раздражителей или повреждающих агентов) на той же основе, то есть это те же адаптивные реакции, но более выраженные и направленные не только на обеспечение процессов жизнедеятельности, но и на устранение повреждающего фактора или образовавшегося дефекта с последующим восстановлением функций. При этом любое изменение функционального состояния базируется на структурных изменениях.

Материальной основой адаптивных и КПР служат два основных типа структурных перестроек: перестройки, отражающие дегенеративные (разрушительные) и регенеративные (восстановительные) процессы. По сути своей реактивные, они являются одновременно и функциональными, и органическими. По качественному признаку эти структурные изменения делятся на дегенеративно-дистрофические и регенеративно-гиперпластические.

Дегенеративно-дистрофические изменения могут быть проявлением как поломки (разрушения, вплоть до гибели) структур под влиянием различных факторов, так и выражением крайней степени функционального напряжения (гипертрофии или атрофии, вплоть до гибели).

Репаративно-гиперпластические изменения направлены на возмещение образовавшегося дефекта и последующее восстановление функций. Они осуществляются за счет внутрисклеточных перестроек, увеличивающих активность в сохранившейся после повреждения части СФРЕ, в других, родственных ей или качественно отличных, но заменяющих ее в функциональном отношении структур. Оба типа структурных изменений по степени выраженности, то есть по количественному признаку, могут быть обратимыми или необратимыми.

Эти изменения имеют место и в условиях нормы. Они являются полярными, но сбалансированными формами одного и того же процесса – физиологического обновления СФРЕ организма. В условиях, превышающих пороговую величину адаптации, но не выходящих за пределы компенсаторных возможностей той или иной СФРЕ, также поддерживается равновесие этих двух качественно различных форм структурных изменений, хотя интенсивность их приобретает иную степень выраженности вследствие возрастающей функциональной активности. Если же функциональное напряжение оказывается чрезвычайным или не устраняет действие патогенного фактора, наступает предельная степень КПР, затем полное истощение и утрата способности к поддержанию необходимого баланса деструктивных и репаративных перестроек и, как следствие, «перекося» функций в ту или иную сторону с соответствующими клинико-анатомическими проявлениями в виде различных симптомокомплексов и болезней (рис. 20).

Нарушение внутренней дифференциации между различными управляющими и функциональными системами организма или между организмом и его окружением приводит к патологическим реакциям гомеостаза, к нарастанию и дезорганизации самоподдерживающихся колебаний на организменно-системном уровне, т.е. к управлению без обратных связей. Критическое состояние управляющих параметров (точка бифуркации), после которого организм спонтанно переходит в одно из двух возможных состояний – улучшение или гибель, хорошо знакомо клиницистам, когда они констатируют состояние «кризиса» у больного. В условиях неустойчивого состояния, когда признаки патологических реакций достаточно очевидны, особенно трудно бороться за жизнь пациента, поскольку обычные методы лечения, при которых результаты пропорциональны усилиям, уже не действуют. Ранее (в теории перестроек) мы рассматривали структуру развития патологических реакций в плане самоподдерживающихся колебаний СФРЕ, и подчеркивали, что если максимальное ухудшение состояния пересекает условную линию «смерти», изменения преобладают, и нелинейная система (в нашем случае больной организм) устремляется к гибели.

Философы полагают, что факты рождают идеи, и в некотором смысле это верно. Но я нахожу в истории естествознания следующее: для того, чтобы понимать факты, необходимо иметь в голове определенные идеи и что глазами можно не увидеть того, что увидит разум.

Ю. Либих

20. ВЫСШАЯ НЕРВНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ. ПСИХИКА И СОЗНАНИЕ. ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ ПОЛЯ ЧЕЛОВЕКА

1. Мозг, нервная система, тело

Весь окружающий мир отражается в мозге человека. Контакт с этим миром, воздействие его на организм возможны благодаря высокоспециализированным нервным аппаратам, получившим название сенсорных систем.

В сенсорных системах мозга существует ряд уровней переработки информации. Каждый уровень строится так, чтобы обеспечить наиболее полную и точную связь как между однозначными элементами сигналов одного уровня, так и более широкие взаимодействия между всеми элементами каждого уровня (рис. 22). В самом упрощенном виде любая сенсорная система имеет два основных канала: специфический – с прямым переключением сигнала на определенные точки коры мозга и ассоциативный – принимающий сигнализацию от результата взаимодействия различных специализированных каналов данной сенсорной системы (рис. 23).

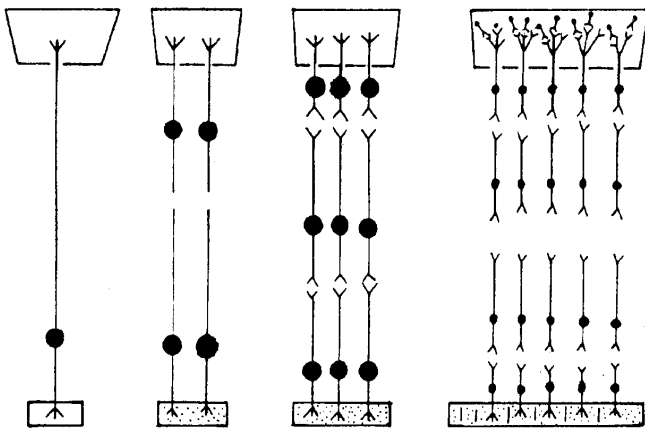


Рис. 22. Схема многоканальности и многоуровневости в конструкции сенсорных систем (по А.А. Заварзину, 1959). I–IV этапы усложнения сенсорных систем: снизу – рецепторы; сверху – высшие отделы мозга

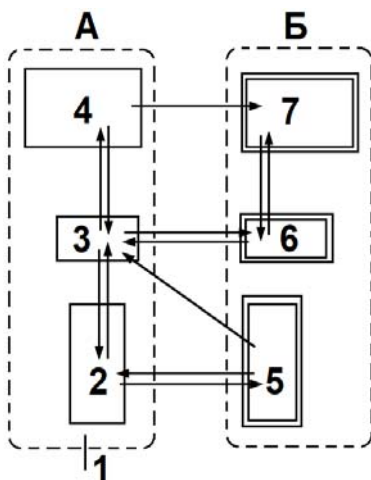


Рис. 23. Схема двухканальной структуры сенсорной системы (по А.С. Батуеву, 1972). А – специфический канал; Б – ассоциативный канал; 1 – рецептивный канал; 2 – ствольные ядра сенсорного пути; 3 – таламические сенсорные ядра; 4 – кора, сенсорная проекция; 5 – ретикулярная формация ствола мозга; 6 – ассоциативный и неспецифический таламус; 7 – ассоциативная область коры мозга. Стрелки – прямые и обратные связи между отдельными каналами сенсорной системы

Схема обоих каналов включает в себя несколько уровней повторной переработки сигналов: рецепторный, стволовой, таламический и кортикальный. Между уровнями в обоих каналах существуют двусторонние связи, которые обеспечивают наиболее полную переработку и «запечатление» информации, сличение в процессах оперативной памяти следов имеющейся информации с новыми сигналами.

Все это в комплексе обеспечивает полноценное распознавание образа и оценку его адаптивной значимости. Ассоциативные структуры мозга – это центры, обеспечивающие объединение и интеграцию всех сенсорных систем, поскольку всякая целостная функция мозга является полисенсорной. Так, например, функция зрительного распознавания осуществляется при взаимодействии зрительной, двигательной и вестибулярной сенсорных систем. Следовательно, мы имеем дело со сложной рефлекторной деятельностью, через которую человек наиболее полно проявляет для себя окружающий мир. Основными элементами условных рефлексов являются: память (структурный след), восприятие (отражение настоящего) и адаптивная реакция, имеющая смысл в качестве приспособления организма к предвидимому будущему. По-видимому, в условно-рефлекторном акте проявляется наличие основы, в которой уже заложены элементы прошлого, настоящего и будущего. Применяя и проверяя на практике правильность этих отражений, человек приходит к истине.

Прежде чем должным образом описать устройство мозга, мы введем термины: центральная нервная система (ЦНС), периферическая нервная система (ПНС). ЦНС включает те части нервной системы, которые лежат внутри черепа и позвоночного столба: головной и спинной мозг. В ЦНС входят и выходят нервы. Если они располагаются вне черепа или позвоночника, то становятся частью периферической нервной системы (ПНС). Некоторые отделы ЦНС и ПНС могут работать совершенно самостоятельно, хотя являются составными частями этих систем или функционируют при весьма ограниченном контроле со стороны ЦНС. Такие отделы и составляющие их элементы образуют автономную, или вегетативную нервную систему (ВНС), которая в основном ответственна за регуляцию внутренней среды: она управляет работой сердца, легких и других внутренних органов.

Сам мозг состоит из ряда хорошо различимых отделов (рис. 24). Внутри отделов имеется много произвольных границ между подотделами, установленных специалистами – исследователями мозга, которые не всегда пользовались отчетливыми ориентирами. Тем не менее, среди довольно запутанной неврологической номенклатуры выделены общепринятые структуры, как на географической карте выделяются государства со своими границами. Эти «государства» называются областями, комплексами или формациями, которые в свою очередь делятся на более мелкие участки – поля или ядра в зависимости от того, насколько тесно располагаются в них отдельные структурные единицы – нейроны.

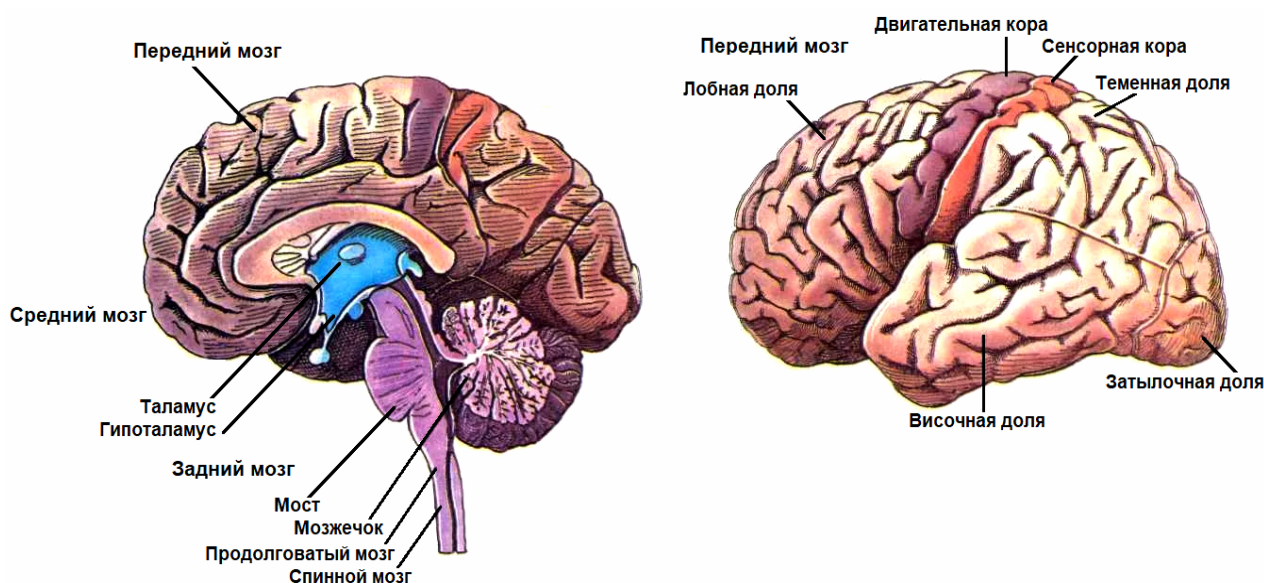


Рис. 24. Полушария мозга и ствол (Ф. Блум и др., 1988)

Мозг имеет два парных образования – правое и левое полушария. Поверхностный слой полушарий – кора вместе с подкорковым белым веществом и несколькими небольшими ядерными структурами, например, ядрами миндалевидного комплекса, составляют передний мозг. Все образования, находящиеся под полушариями, называются стволовыми структурами, так как они составляют ствол мозга, уподобляемого стволу дерева, а полушария – как бы его крона.

В «кроне» главными областями являются: затылочная доля (в основном ответственная за зрение); височная доля (слух); теменная доля (реакция на сенсорные стимулы и управление движениями); лобная доля (координация функций других областей коры). В стволе мозга различают конечный мозг, промежуточный мозг (его важнейшие структуры – таламус и гипоталамус), средний и задний мозг, куда входят мост и мозжечок (малый мозг), а также продолговатый мозг (рис. 25, 26 и 27).

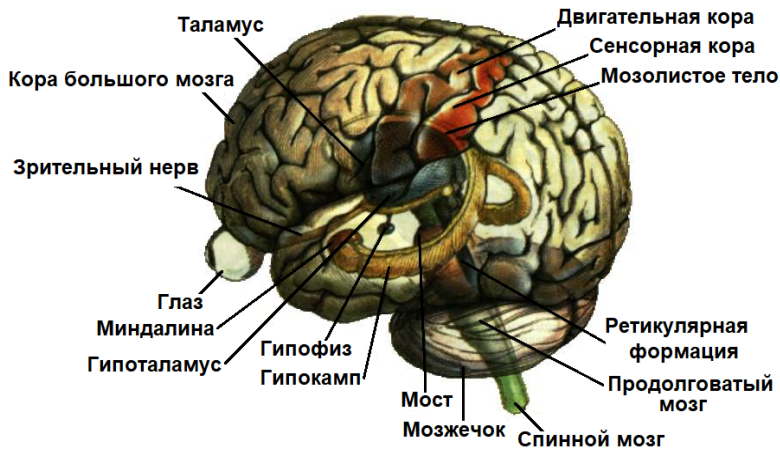


Рис. 25. Объемное изображение нерасчлененного мозга: показаны основные структуры, участвующие в сенсорных процессах и внутренней регуляции (Ф. Блум и др., 1988)

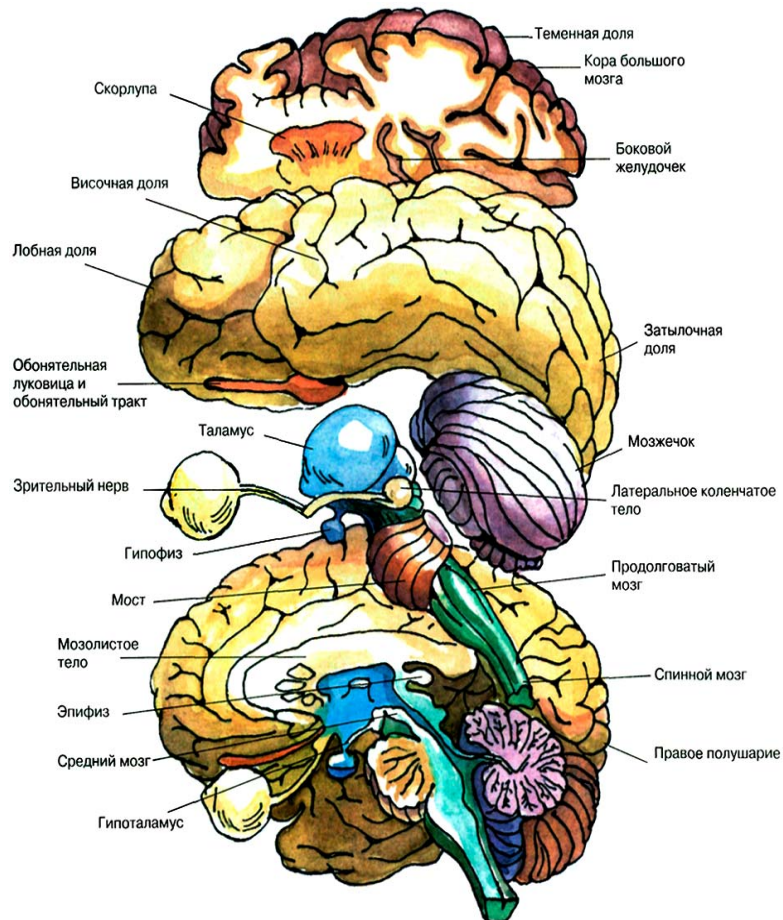


Рис. 26. Отдельные срезы мозга, на которых можно увидеть важнейшие области и детали строения мозга (Ф. Блум и др., 1988)

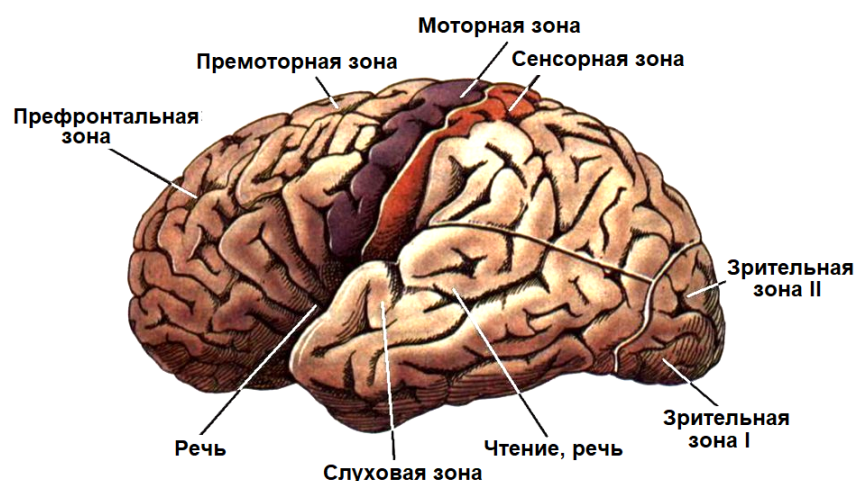


Рис. 27. Вид человеческого мозга сбоку: здесь еще раз показаны важнейшие сенсорные и двигательные зоны коры. Информация от всех органов чувств, также как и текущая информация, связанная с двигательными программами, интегрируется лобной корой, которая представляет собой высший уровень функциональной иерархии (Ф. Блум и др., 1988)

Поля и ядра всех перечисленных образований выполняют разнообразные функции: передают, перераспределяют или сохраняют полученную информацию, играя роль «реле», «распределителя» или «банка»; контролируют, объединяют и проверяют ее с тем, чтобы успешно управлять подчиненными структурами с помощью нервов и желез внутренней секреции (рис. 28).

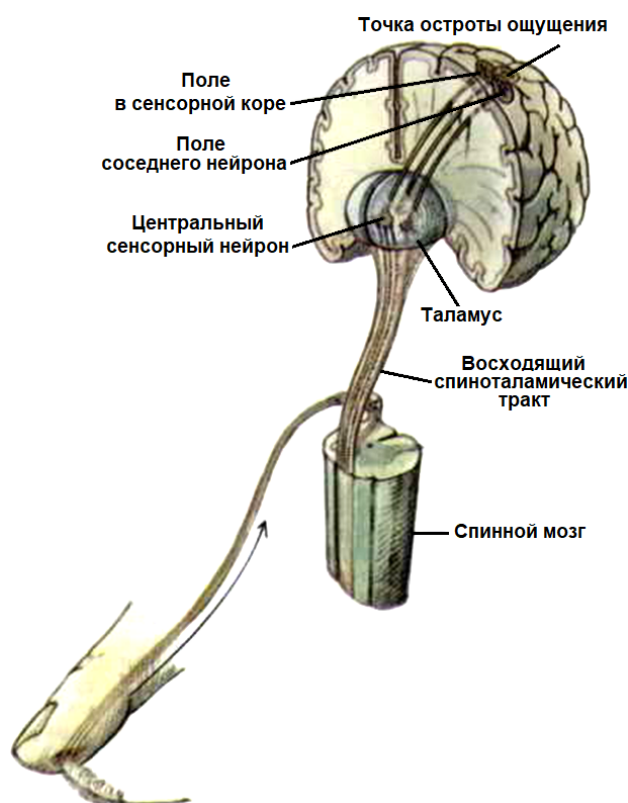


Рис. 28. Ощущение и движение (Ф. Блум и др., 1988)

В этой связи следует отметить, что, несмотря на приблизительно одинаковое гистологическое строение любого участка одной и той же зоны коры (например, сенсомоторной), физиологические функции распределены в ней с различной плотностью. Например, приблизительно 3/4 территории двигательной области коры мозга человека (см. рис. 29) занято процессом управления тонусом мимических мышц, мышц кисти руки и фаланг пальцев (особенно большого

пальца), а также локализации и эрогенных зон. И лишь 1/4 территории всей двигательной области остается для управления преобладающей массой мышц туловища, рук и ног.

Это связано, во-первых, со значительной важностью для жизнедеятельности человека в качестве общественного индивида всех средств индивидуальной коммуникации (средств связи, передачи и получения информации), таких как голосовой аппарат и мимика.

Во-вторых, уровень общей культуры (быт, производство, искусство, общественная деятельность) человеческого общества таков, что от индивида требуется не столько тонкое управление мышцами туловища, как, например, для лазанья по деревьям, скалам, ползанья по труднодоступным узким расщелинам, сколько отличное владение бытовыми и рабочими инструментами, которое без тонкого управления мышцами кисти и пальцев практически невозможно.

В-третьих, это то, что присуще любому живому объекту – инстинкт воспроизведения и сохранения потомства. Однако не все так просто и однозначно, как описано выше. Природа оставила возможность для варьирования акцента в управлении тонусом различных групп мышц и другими СФРЕ. Эта возможность осуществляется благодаря тому, что афферентных (чувствительных) нервных клеток значительно больше, чем эфферентных (двигательных), и поэтому всегда происходит конкурентная «борьба» между чувствительными нейронами за «овладение» вниманием двигательного нейрона и осуществление того или иного двигательного акта.

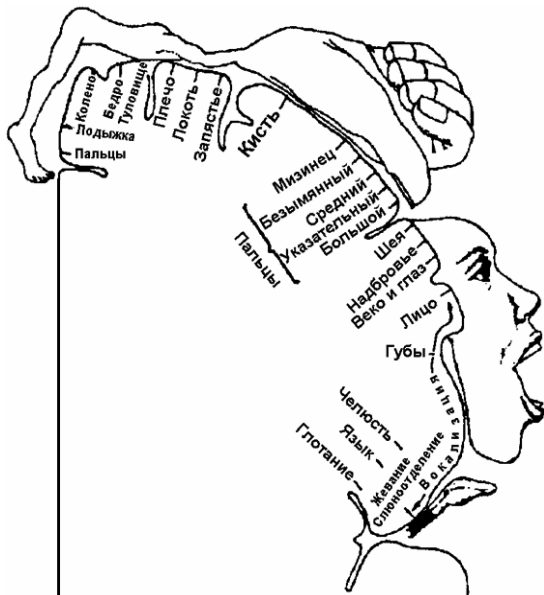


Рис. 29. Двигательная область коры головного мозга человека.

На этой карте показаны участки двигательной коры, стимуляция которых приводит к сокращению определенных групп мышц. В частности, отдельные области, по-видимому, могут кодировать угловое положение суставов, приводимых в движение соответствующими мышцами (Ф. Блум и др., 1988)

Вся гамма описанных выше сложных управленческих функций ЦНС осуществляется при помощи такой структурной единицы, как нейрон.

Отдельные нервные клетки-нейроны выполняют свои функции не как изолированные единицы, подобно клеткам печени или почек. Работа многих миллиардов нейронов состоит в том, что они получают сигналы от каких-либо других клеток и передают их дальше. Передающие и принимающие клетки объединены в нервные цепи и сети. Отдельный нейрон с дивергентной структурой может посылать сигналы тысячам других нейронов. Точно так же какой-либо нейрон может получать входную информацию от других нейронов с помощью одной, нескольких или очень многих входных связей, если на нем сходятся конвергентные пути.

Нейроны обычно находятся в двух состояниях: либо в спокойном (торможение), либо в возбужденном (возбуждение). Они включаются и срабатывают тогда, когда получают сигнал, превосходящий их уровень невосприимчивости – порог. При этом происходит и временное, и пространственное суммирование – накопление сигналов. В нейроне число сигналов, которое он принимает, может быть очень разным. Оно изменяется от нескольких единичных сигналов до нескольких тысяч. Нейрон – гибкая, надежная и очень экономичная структура управления и одновременно мощное хранилище памяти.

Места соединения нейронов – специфические участки на поверхности нервных клеток, где происходит их контакт, называют синапсами, а сам процесс передачи информации в данных местах – синаптической передачей (рис. 30). При взаимодействии нейронов с помощью синаптической передачи посылающая сигнал пресинаптическая клетка выделяет определенное вещество на поверхность воспринимающего постсинаптического нейрона. Это вещество называется нейромедиатором. Оно служит молекулярным посредником для передачи информации от передающей клетки к воспринимающей и замыкает цепь, осуществляя химическую передачу информации через структурный разрыв (синаптическую щель) между передающей и принимающей клетками в месте контакта.

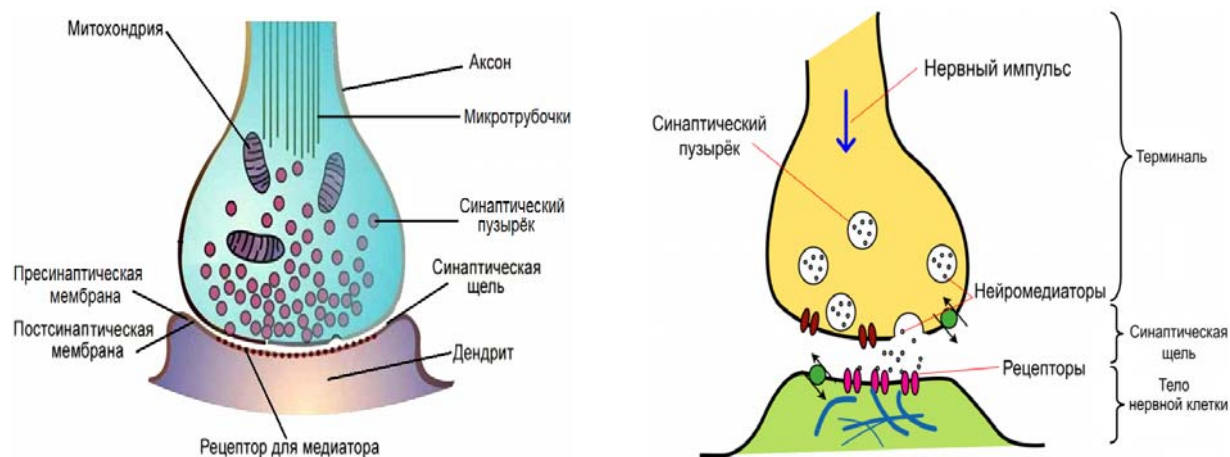
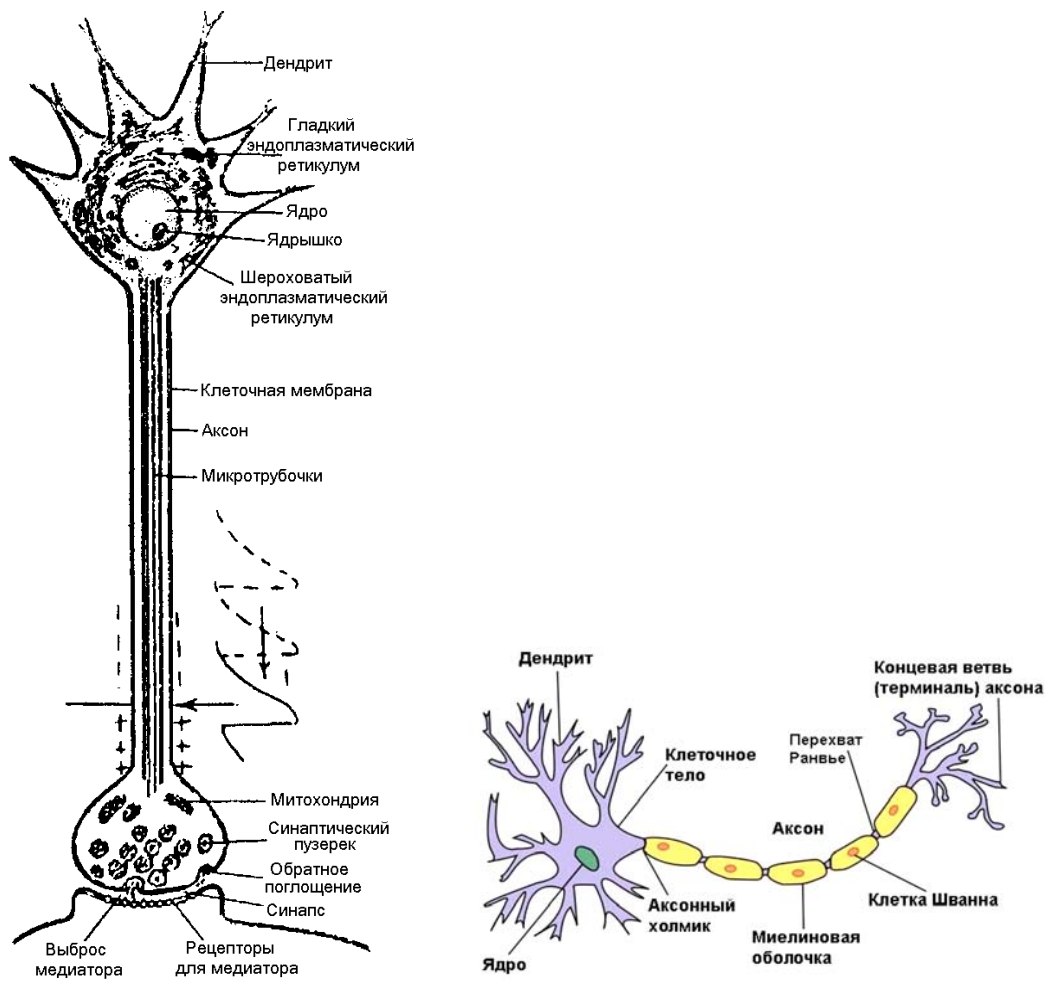


Рис. 30. Синаптическая передача

Типичная структура синапса (межнейронного контакта). В окончании аксона (терминали) производятся нейромедиаторы (особые сигнальные вещества, при помощи которых нейроны общаются друг с другом). Когда по аксону к терминали приходит электрический нервный импульс, нейромедиаторы из синаптических пузырьков выбрасываются в синаптическую щель. Здесь они взаимодействуют с рецепторами, расположенными на мембране «принимающего» нейрона (внизу). Кроме рецепторов, на мембранах нейронов есть белки, осуществляющие откачку нейромедиаторов из синаптической щели. Остальные пояснения см. в тексте.

Нейроны являются «электрически возбудимыми» клетками и обладают способностью регулировать свой внутренний электрический потенциал. В обычном состоянии этот потенциал отрицателен и обусловлен состоянием «внутренности» клетки. Во время краткого периода возбуждения «внутренность» нейрона менее чем за 1/1000 секунды становится заряженной положительно. Этот период от отрицательного состояния «содержимого» клетки к кратковременному положительному называют потенциалом действия или нервным импульсом. Положительное состояние длится недолго, потому что реакция возбуждения носит саморегулируемый характер, и нейрон возвращается к исходному состоянию с отрицательным потенциалом внутри до следующего сигнала. Потенциал действия распространяется вдоль отростка нейрона, который называют аксоном, и как «волна активности», достигает всех синаптических окончаний нейрона. Главное преимущество электрического проведения импульса по аксону состоит в том, что возбуждение достаточно быстро распространяется на большие расстояния без какого-либо ослабления сигнала. Однако быстрая электрическая передача, так хорошо действующая в аксоне, доходя до синапса, перестает «работать»: здесь вступает в действие химическая передача (рис. 31). Не вдаваясь в биологические причины этого, мы можем просто констатировать, что химическая связь в синапсах обеспечивает наиболее полную передачу информации. Так, при общении друг с другом вы, передавая основное содержание своей речи, делаете акценты или усиливаете смысл, пользуясь ударениями, тембром голоса, мимикой. При коммуникации нервных клеток основные единицы информации передаются специфическими химическими посредниками – синаптическими медиаторами. Если продолжить нашу аналогию со способом общения между людьми, то можно сказать, что одни химические посредники (иногда их называют трансмиссерами) передают «факты», а другие – дополнительные смысловые оттенки или акценты.



Типичная структура нейрона

Рис. 31. Схема нейрона. Электрическая и химическая передача

Человеческий мозг отличается от мозга животных не только своей массой, но и невероятной взаимосвязанностью своих частей. Эти взаимосвязи намного расширяют для нас возможность фиксировать и оценивать ту информацию, которую мы воспринимаем и позже извлекаем из памяти. Это в свою очередь наделяет нас способностью разрабатывать аналитические стратегии и «взвешивать» результаты прошлого опыта, что далеко превосходит возможности мозга, наделенного меньшим количеством связей.

Физические и химические поля человека

Такая форма жизнедеятельности человека и животных, которая изменяет вероятность, продолжительность контакта с внешним миром и способность удовлетворить имеющуюся у человека потребность, называется поведением. Прерывание или предотвращение вредоносного воздействия на организм, способствующее сохранению особи, ее потомства и вида в целом, представляет частный случай поведения. Хорошо известно, что поведение человека определяется осознаваемыми и неосознаваемыми мотивами. Многие реакции организма представляют собой результат неосознаваемой сферы высшей нервной деятельности. Эта сфера постоянно вторгается в наши повседневные поступки и во многом их формирует. Пока этот вид психической деятельности людей не принимался во внимание, некоторые поведенческие акты человека казались таинственными и совершенно необъяснимыми.

В настоящее время никого уже не удивляют способности животных предчувствовать землетрясения, находить воду в засушливых местах или дорогу в местах обитания, их умение лечить себя и друг друга и многие другие качества, не присущие большинству людей. Однако до сих пор существование таких способностей у некоторых представителей рода че-

ловеческого, называемых сенсетивами или экстрасенсами, представляется либо пустыми фантазиями, либо чем-то сверхъестественным. Между тем, многочисленными научными исследованиями показано, что любой биологический объект в процессе жизнедеятельности генерирует сложную картину физических полей и излучений, а также передает и воспринимает информацию, заложенную в этих полях и излучениях.

Картина этих полей отражает работу физиологических систем организма, обеспечивающих его гомеостаз. Человеку дана возможность видеть себе подобных (впрочем как и другие живые организмы) в отраженном свете узкого спектрального интервала частот электромагнитного поля. Визуализация физических полей и излучений биологических объектов не только существенно расширяет наше «видение», но и дает возможность заглянуть вглубь тела и мозга, наблюдать динамику физиологических процессов в их собственном «свете». Для человека можно выделить шесть основных видов полей и излучений, приведенных на цветной вклейке. Следуя (Годик Э.Э., Гуляев Ю.В. Физические поля человека и животных // В мире науки. – 1990. – № 5. – С. 75–83) приведем их характеристики.

Физические поля человека

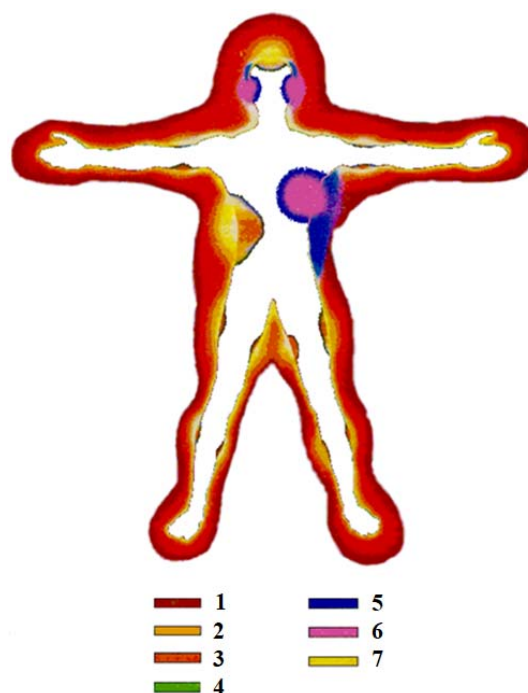
1. Инфракрасное тепловое излучение характеризует температуру кожи, определяемую капиллярным кровотоком. Это излучение у человека наиболее сильно в среднем инфракрасном диапазоне длин волн (3–14 мкм), где его интенсивность порядка 10 мВт/см^2 , что составляет более 100 Вт со всей поверхности тела. Характерная глубина поглощения этого излучения в биологических тканях порядка 100 мкм.

2. Радиотепловое излучение несет информацию о динамике тепловых полей внутренних органов и мозга. Это излучение очень слабое, его интенсивность в дециметровом диапазоне длин волн порядка $10\text{--}12 \text{ Вт/Гц}\cdot\text{см}^2$. В отличие от инфракрасного теплового излучения характерная глубина поглощения этого излучения в биологических тканях порядка нескольких сантиметров, поэтому оно и несет информацию из глубины тела.

3. Акустотепловое излучение в ультразвуковом диапазоне длин волн характеризует распределение температуры внутри тела с более высоким пространственным разрешением, чем радиотепловое, так как длина ультразвуковой волны много меньше, чем длина волны электромагнитного поля, выходящей с той же глубины. Кроме того низко частотные акустические сигналы несут информацию о физиологической механике внутренних органов (сердце, легкие и др.). В диапазоне частот 1–10 МГц биологические ткани достаточно прозрачны для акустических волн. Интенсивность его очень мала и составляет величину порядка $10\text{--}16 \text{ Вт/см}^2$ в полосе частот 100 кГц. Длина волны в этом диапазоне порядка 1 мм, что намного меньше длины волны радиотеплового излучения, выходящего с той же глубины.

4. Оптическая хемилюминесценция, связанная, в первую очередь, с перекисным окислением липидов, дает информацию о насыщении тканей кислородом, антиоксидантном статусе организма и др.

5. Электрическое поле отражает биоэлектрическую активность мозга, сердца, мышц и других внутренних органов. Кроме того, электрические поля вокруг человека связаны с трибоэлектрическим зарядом (зарядом, возникающим из-за трения) на роговом слое эпидермиса, обладающего высоким омическим сопротивлением ($10^9\text{--}10^{11} \text{ Ом/см}^2$) и поэтому отражают физиологическую «сейсмичность» торса.



6. Магнитное поле, создаваемое биоэлектрическими источниками, очень слабое, примерно в 10–100 раз меньше геомагнитного поля. Магнитное поле более прямо, чем электрическое, отражает распределение биоэлектрической активности мозга и внутренних органов, так как практически не экранируется диамагнитными тканями организма. Другими словами, биоэлектрический «пейзаж» внутри организма через «магнитное окно» виден без искажений, как через прозрачное стекло, в то время как через «электрическое окно» – с искажениями, как через витраж.

7. Кроме перечисленных выше шести физических полей и излучений следует выделить химическую «микроатмосферу», образуемую выдыхаемыми газами, испарениями через кожу в процессе неощутимой перспирации и др.

Таким образом, в каждом из названных полей и излучений физиологическая информация заключена в пространственно-временном распределении сигналов, т.е. в их динамических изображениях и может быть использована на ранних стадиях диагностики различных заболеваний.

Установлено, что в животном мире существуют и эффективно используются рецепторы электромагнитного, акустического и других излучений, имеющие тесную связь как с корой мозга, так и с его подкорковыми структурами. Для восприятия информации такого рода требуется только создание условий для согласованного управления амплитудой, фазой и частотой тех излучений, которые индуцируются нервными клетками и белковыми молекулами. Если такие условия возникают, то в принципе нет никаких запретов для направленного излучения, переносящего энергию на большие расстояния без существенного затухания. Аналогичным образом, вызывая необходимые фазовые сдвиги колебаний, когда они восприняты соответствующими структурами мозга, и складывая их, можно усилить и выделить слабые сигналы, пришедшие от некоторого источника к принимающей системе. Это, по сути дела, хорошо известный в технике принцип радиотелескопа с электрическим сканированием, который находит свое применение и в работе центральной нервной системы. Получая сведения об окружающей действительности через сенсорные каналы, человек часто остается на уровне неосознаваемых восприятий. Каждому из нас приходилось бывать в ситуации, когда, не осознавая, какую информацию получили, мы говорим: «Я не знаю почему, но чувствую, что это так».

Исследователи полагают, что некоторые люди в состоянии воспринимать локальные искажения различных физических полей, хорошо известных науке: электромагнитного, гравитационного, электрического, магнитного, радиационного и акустического. Если к этому добавить, что и известные органы чувств могут многое воспринимать из внешнего мира и тем самым «породить» сведения о нем в мозге, то источник информации, на основе которого происходит проявление тех или иных реакций человека, теряет свою мистичность.

Психика и сознание

Создание множественных и разнообразных форм межклеточных связей отражает эволюционный закон морфологического прогресса в нервной системе, который гласит, что с увеличением функциональной адаптации в нейронах происходит образование и удлинение новых отростков, а размер тела нервной клетки и диаметр аксона не связаны со специализацией, а пропорциональны богатству и распространению концевых ветвлений, и, следовательно, обилию и многообразию связей. Все колебания в топографии и морфологии, а также сама теория динамической аксонной поляризации (строгая направленность возбуждения от аксона), по-видимому, детерминируются тремя принципами экономии: экономия материи (развитие кратчайшего пути между двумя связанными областями), экономия времени проведения (динамическое следствие предыдущего пункта) и экономия пространства. Каждое периферическое раздражение, получаемое чувствительными отростками отдельной нервной клетки (дендритами) распространяется к центрам в виде лавин; или, другими словами, число нейронов, вовлекаемых в проведение, постепенно увеличивается от периферии к большому мозгу, в извилинах которого (третичные чувствительные поля) находится основание конуса общего сенсорного притока и начало новых связующих проводящих путей. Этот анатомо-физиологический закон еще в прошлом веке был сформулирован Кахалем как «закон един-

ства восприятия и нервной лавины» и успешно использовался им при объяснении механизмов таких психологических процессов, как внимание, память, ассоциация идей и т.д. Адаптация, интеллектуальное развитие, профессиональное усовершенствование функций упражнением (физкультура, речь, письмо, игра на фортепиано и другие виды активности) объясняются как постепенным утолщением проводящих путей, возбуждаемых при прохождении импульсов, так и образованием новых отростков (рост и развитие новых дендритов и распространение и разветвление сенсорных коллатералей), способных улучшать приспособляемость и протяженность контактов и даже целиком создавать новые связи между нейронами, первоначально независимыми, – утверждал Кахаль. Он писал: «Умственные способности и их самые благородные проявления – талант и гений – зависят не от размеров или числа корковых нейронов, а от богатства их соединительных отростков или, другими словами, от сложности ассоциативных проводящих путей на короткие и длинные расстояния. Положением, уже защищавшемся в более ранние времена Мейнертом и Флексигом, является то, что обилие белого вещества указывает на богатство связей и, следовательно, на высший интеллектуальный ранг». Последующие исследования полностью подтвердили это положение. В настоящее время ученые считают, что структурные изменения в нервной системе могут быть результатом процессов обучения и хранения следов памяти. Другими словами, изменения в поведении, возникающие в результате опыта, развиваются на основе обучения и запоминания и могут быть закреплены на структурном уровне.

Существует два разных способа усвоения и запоминания информации в зависимости от того, что именно нужно усвоить. Процедурное знание – это знание того, как нужно действовать. При этом приобретенные навыки сохраняются на высоком уровне довольно длительное время, однако отсутствуют осознание того, что произошло обучение и воспоминание о путях решения поставленной задачи. Именно это второе, «*декларативное*» знание требует особой переработки информации и связано с сознанием и мышлением.

Все знают, что такое «бессознательное состояние». Это то состояние, когда мы не осознаем свои мысли и поступки, например, когда оглушены ударом по голове или падаем в обморок. Понятие же сознания настолько многозначно, что не имеет простого определения. Традиционная нейрофизиология утверждает, что сознание является функцией мозга, в коре которого объединяется информация, поступающая по органам чувств, с информацией, извлекаемой из кладовых нашей памяти, что позволяет нам осмысленно интерпретировать специфические (зрительные, слуховые, тактильные и др.) ощущения и по-разному реагировать на них в зависимости от того, как текущая информация взаимодействует с эмоциями и воспоминаниями, целевыми установками, самооценкой и шкалой ценностей (иерархией потребностей). Однако из-за того, что нейрофизиологи пока еще не могут окончательно выявить те мозговые механизмы, которые ответственны за сознание, природа его остается предметом извечных и непрекращающихся дебатов, в которых участвуют философы, теологи, специалисты-кибернетики, занимающиеся искусственным интеллектом, а также нейробиологи всех уровней. Один из вопросов, вызывающих разногласия, состоит в том, является ли все-таки сознание специфической материальной функцией мозга или обособленным нематериальным процессом, воплощением духа или души. Не претендуя на решение этого вопроса, все же можно в качестве первого рабочего определения активного сознания, как состояния, в котором мы осознаем свои мысли и действия, принять следующее: *сознание* есть активное декларативное знание о нашей умственной и физической деятельности. Декларативное знание включает фиксацию индивидуального и общественного опыта, информацию о том, когда и где происходили хранящиеся в памяти события и возможность внутреннего воспроизведения их в форме воспоминаний, структурирование своего и чужого опыта, позволяющего размышлять о явлениях и связях между ними, составлять планы, придавать действиям тот смысл, который вытекает из поставленных целей. Способность к декларативному знанию, разумеется, не означает, что все действия организма постоянно осознаются. Многие виды умственной и физической деятельности осуществляются без подключения сознания, которое является только одним из сложных психических процессов, отражающих действительность. Неслучайно

И.П. Павлов объединил корковые отделы анализаторов, где происходит раскодирование информации, в первую сигнальную систему действительности, а такие психические процессы, как память, сознание, планирование и т.д., отнес ко второй сигнальной системе. Совместная деятельность обеих сигнальных систем представляет собой высшую нервную деятельность, и различия между животными, обладающими мозгом, заключаются в том, насколько развиты эти системы, и какую роль в жизнедеятельности играют психические процессы.

Само понятие «психика» является очень широким. Оно включает в себя все формы отражения действительности: ощущения, восприятия, представления, эмоции, волю, разум, интеллект и т.д. В сущности по своему содержанию оно соответствует тому базису, на котором формируется внутренний мир человека.

На уровне ощущений образы, формирующиеся в корковых отделах анализаторов, по-видимому, сходны у всех животных, обладающих «великой серой мантией коры». Их можно идентифицировать по общей реакции на раздражитель, но помимо этого образы связаны с генетической информацией и накопленным индивидуальным опытом, что делает каждого из нас уникальным и неповторимым. Активные поиски организационного принципа, который обеспечил бы подходы к явлению сознания, привели по крайней мере к одному бесспорному утверждению: видоспецифическим типом поведения, уникальным для *Homo sapiens*, является использование языка, связанное с важным процессом последовательной переработки информации в одном из полушарий головного мозга.

Если сознание действительно связано с языком, то и у человека оно, очевидно, появляется не с самого рождения. Оно развивается по мере того, как приобретает жизненный опыт и оснащается «словарь», который позволяет размышлять о явлениях и связях между ними, планировать действия и прогнозировать результаты. А самое главное, возникает способность к самоанализу, осознанию своего «я», переходу к самосознанию в самом широком смысле этого слова и к общественному сознанию. Как полагают некоторые психологи, в частности Джулиан Джейнс (1975), такие формы сознания возникли в истории человеческого рода на удивление недавно в результате определенных изменений в языке и культуре, произошедших где-то около VII в до новой эры. Характерно, что первоначально в греческом языке слово «*psyche*» означало «жизнь», «живое состояние», а «*soma*» – «труп» или «безжизненное состояние». Только благодаря сочинениям Пифагора и других мыслителей *psyche* стало обозначать «душу», а *soma* – тело. «Не следует думать, – говорит Джейнс – что это только изменение слов. Изменение слов – это изменение понятий, а изменение понятий – это изменение поведения. Вся история религии, политики и даже науки убедительно свидетельствует об этом. Без таких слов, как «душа», «свобода», «истина», в драме человеческой истории были бы иные роли, иные кульминации». И далее: «нервный субстрат сознания достаточно пластичен для того, чтобы на основе обучения и культуры мог произойти переход... к самосознанию». Это утверждение невозможно подтвердить с помощью научного исследования, т.к. экспериментировать на живом человеческом мозге попросту невозможно. Вместе с тем, научные факты, которые связаны со специальными проблемами сознания, мышления, а в конечном итоге человеческого поведения, всё-таки были получены и имеют наибольшую ценность. Широкое использование результатов изучения мозга и поведения животных, достоверные сведения о функционировании здорового и больного мозга человека в какой-то мере позволяют выяснить способы, с помощью которых нервная система координирует потребности организма с условиями внешней и внутренней среды и организует поведенческий акт, направленный на достижение поставленной цели. Обобщение принципов работы более или менее изученных систем может действительно привести к пониманию сложных процессов, близких к мышлению. На сегодняшний день мы предлагаем придерживаться той точки зрения, что все осознаваемые и неосознаваемые психические процессы в принципе являются производными психических процессов в нервной системе и могут рассматриваться как ее функция. Если же будут изобретены такие методы и представлены такие данные, которые убедительно покажут, что духовная деятельность не является свойством человеческого мозга, значит, нам придется отказаться от одной ошибочной теории в пользу другой, менее ошибочной.

Познай самого себя.
Надпись на фронтоне храма Аполлона в Дельфах

21. СТРУКТУРА И КЛАССИФИКАЦИЯ ПОТРЕБНОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА. ПСИХОСОМАТИЧЕСКИЕ И ПСИХОФИЗИЧЕСКИЕ РАССТРОЙСТВА. СВЯЗЬ ПСИХОСОМАТИЧЕСКОЙ ПАТОЛОГИИ С МОЗГОВЫМИ СТРУКТУРАМИ

Структура и классификация потребностей человека

Представление об основных потребностях человека сложилось на основе научных данных о мозговых механизмах поведения животных как с точки зрения этологии, так и с точки зрения биологии развития. Широкое использование результатов изучения мозга животных, достоверные сведения об особенностях функционирования здорового и больного мозга человека в какой-то мере позволяют выяснить способы, с помощью которых нервная система координирует потребности организма с условиями внешней среды и организует поведенческий акт.

Эволюционно исходными – базовыми потребностями всех живых информационных систем являются потребности в веществах, энергии и информации. Эти потребности необходимы для роста и развития любой живой информационной системы от клетки или субклеточного организма (вирусы) до многоклеточного живого организма, обладающего психикой.

В *филогенезе* потребности, присущие живым информационным системам, развивались вместе с самими информационными системами, и у человека они наиболее многообразны. Вместе с тем, они базируются на едином генетическом материале – *филогенетическую предпосылку развития потребностей человека составляют потребности, вызывающие безусловные рефлексы*, т.е. врожденные потребности человека, в основном, те же, что и у животных, однако они качественно преобразованы культурно-историческим процессом развития мышления и сознания.

В *онтогенезе* потребности каждого человека, базируясь на единых для всех нас потребностях, развиваются в зависимости от «истории жизни». Поэтому поведение, обусловленное безусловными рефлексами (БУР), одинаково для всех животных одного вида, а поведение на основе условных рефлексов (УР) и психической деятельности сугубо индивидуально для каждого субъекта.

Прежде чем перейти к потребностям человека, отметим, что с точки зрения информационной теории, *сложнейшие безусловные рефлексы – инстинкты – это врожденная, специфическая для каждого вида животных, форма информационного отражения, представляющая собой целостный поведенческий комплекс, включающий побуждающие и подкрепляющие компоненты.* Например, в реализации пищевого поведения побуждающим компонентом является чувство голода, а подкрепляющим – внешний объект, представляющий собой пищу.

Сложнейшие БУР человека, основанные на удовлетворении его врожденных потребностей, такие же, как и у высших животных и их можно разделить на 3 группы: витальные, зоосоциальные (ролевые) и рефлексы саморазвития и общественного развития.

Витальные БУР: пищевой, питьевой, дыхательный, терморегуляционный (регуляция температуры тела), рефлекс регуляции сна и бодрствования, ориентировочно-оборонительные рефлексы (так называемые рефлексы «биологической осторожности» или убегания и «биологической агрессии» – нападения), рефлекс экономии сил и некоторые другие.

Для отнесения рефлекса к группе витальных БУР существуют два критерия:

а) если рефлекс не срабатывает, и потребность не удовлетворяется, то это приводит к гибели организма, т.е. к витальным относят те рефлексы, которые позволяют удовлетворить потребности, необходимые для *жизнеобеспечения одной особи*;

б) вторым критерием служит способ реализации рефлекса: витальные рефлексы *могут реализовываться без участия другой особи того же вида, они индивидуальны по своей природе.*

Конкретная *форма реализации* того или иного рефлекса зависит от сложившейся ситуации. Например, у зайца, загнанного в угол, убежание сменяется нападением. По сути это один и тот же *оборонительный рефлекс в двух своих проявлениях.* Обычно зайцу не свойственна агрессивность, но когда бежать уже некуда, он может кинуться на хищника и нередко побеждает его.

Примером врожденного витального рефлекса у человека является «страх высоты». Он хорошо проявляется у новорожденных обезьян и у человеческих детенышей, несмотря на то, что в своем индивидуальном опыте они с высотой никогда не сталкивались. При попытках подъема ребенка на высоту он инстинктивно цепляется за любой предмет, способный удержать его от падения. Грудные дети крепко держатся за протянутый им палец и могут очень долго удерживаться на весу («хватательный» рефлекс). В такой форме у них проявляется врожденный рефлекс «защиты от падения с высоты».

Зоосоциальные (ролевые) рефлексы – вторая группа БУР. Они связаны с половым, родительским, территориальным, иерархическим поведением и *направлены на сохранение вида.* Сюда же относится и «рефлекс сопереживания» – реакция на эмоциональное состояние другой особи, так называемый «феномен эмоционального резонанса» (в психологии – эмпатия).

Зоосоциальные рефлексы могут быть реализованы только при взаимодействии с другими особями своего вида.

Вступая в групповые взаимоотношения, отдельная особь всегда играет какую-либо роль: брачного партнера, родителя или детеныша, хозяина территории или пришельца, лидера или ведомого.

Любое взаимодействие между двумя или несколькими особями одного и того же вида является «общественным поведением», которое базируется на зоосоциальных некоторых обезьян, они во многом сходны с иерархическим устройством человеческого сообщества.

Рефлексы саморазвития и общественного развития – третья группа БУР. Они включают:

а) «исследовательский» рефлекс – потребность в получении информации заставляет животных и человека осваивать новые территории, получать новые знания и навыки, использовать новые непривычные ситуации;

б) рефлекс «сопротивления принуждению» и его разновидность – рефлекс «преодоления преграды» (И.П. Павлов называл эти рефлексы «рефлексами свободы»);

в) рефлексы «превентивной вооруженности» (превентивный – предварительный), которые не имеют прагматического значения, не реализуют действий, направленных на определенные конкретные цели, а как бы подготавливают особь к возможному поведению в той или иной вновь возникающей ситуации, создают «программу действий», нацеленных в будущее. К ним относятся «игровой» и «имитационный» (подражательный) рефлексы.

В БУР третьей группы проявляется опережающий характер информационного отражения. Для рефлексов третьей группы главной чертой является то, что они не связаны с индивидуальной или групповой адаптацией к привычным ситуациям и условиям внешней среды. Чаще всего они ориентированы на экстремальные условия («экстремум» – крайнее положение) или, как еще формулируют, на «чрезвычайные» воздействия. Образно говоря, БУР третьей группы обращены в будущее и ориентированы на освоение новых ситуаций и сред обитания. *Имитационный и игровой рефлексы базируются на потребностях в «вооруженности» и реализуются в умении «управлять событиями» (to master events), быть компетентным (competence drive).* Эти БУР проявляются как у животных, так и у человека. Они связаны с приобретением навыков и умений, не имеющих практического значения в настоящем времени, хотя в будущем они могут стать необходимыми для успешного удовлетворения витальных и социальных потребностей. Например, у молодых животных формирование пищедобывательного поведения осуществляется с помощью игрового рефлекса детенышей, которых кормят родители, а в игре они только учатся добывать пищу самостоятельно.

Тренировка навыков и умений происходит как в игре, так и при подражании. С помощью подражательного рефлекса молодые животные приобретают определенные навыки, воспроизводя действия «демонстратора» – родителя, лидера, хозяина. Важно отметить, что подражательное поведение способствует обучению только в раннем возрасте. Например, обезьяны, не обученные сооружению гнезда в детстве, теряют способность к обучению этому навыку, становясь взрослыми. Сколько бы они не наблюдали за тем, как строится гнездо, освоить это умение они не в состоянии. У людей при «социальной депривации» (отсутствии коммуникации с себе подобными) появляются дети-животные, которых невозможно научить человеческому общению, в частности научить говорить после 8–10 лет. Вот почему говорят о решающей роли личного примера родителей (воспитателей) в развитии многих навыков у ребенка.

Краткое знакомство с потребностями, которые лежат в основе БУР высших животных и человека и запрограммированы на генетическом уровне, позволяет подойти к ряду вопросов, не имеющих удовлетворительного решения в пределах психологического знания, а подчас и не поставленных психологией из-за недооценки их ключевого положения в сохранении психического и психосоматического здоровья человека. Одной из причин подобного положения вещей является не выполненная до сих пор задача систематического изучения фонда врожденных и приобретенных потребностей человека. Тем не менее представление об основных потребностях сложилось, и существует весьма удачная попытка их классификации. **По мнению выдающегося нейрофизиолога П.В. Симонова основные потребности человека можно классифицировать как биологические (витальные), социальные и идеальные.**

Биологические (витальные) потребности в пище, воде, сне, температурном комфорте, защите от внешних вредных воздействий и т.д. призваны обеспечить индивидуальное и видовое существование человека как части живой природы. Они порождают множество вторичных и третичных потребностей типа материальных потребностей в одежде, жилище, средствах передвижения, защитных сооружениях. К числу биологических относится **и потребность в экономии сил**, побуждающая человека искать наиболее быстрый и короткий путь к достижению своей цели и получению оптимального результата с наименьшими затратами (энергетическими, материальными). Принцип экономии сил лежит в основе совершенствования навыков и изобретательства, однако может трансформироваться в лень и приобрести главенствующее значение в иерархии потребностей.

Социальные потребности включают потребность принадлежать к той или иной социальной группе (общности) и занимать в ней определенное (не обязательно главенствующее) место, пользоваться вниманием и уважением окружающих, быть объектом их привязанности и любви, т.е. потребность в коммуникации с себе подобными. Несмотря на то, что у разных людей эта потребность различна по своей интенсивности, полное ее отсутствие является четким критерием расстройств психики или даже психических заболеваний. Взаимодействуя с социальной средой, человек стремится к двум целям: слиться с общностью, став ее полноценным членом и вместе с тем выделить свое «я». Исходя из этого к социальным потребностям относят **потребность в социальной защищенности** (социальной защите), **в принадлежности** («боязнь одиночества»), **в достижении определенного социального уровня** и в то же время **потребность в самоактуализации**: самостоятельности, самоидентификации, самоуважении и самооценке. В структуре самооценки 20 % занимает внешняя сторона (как оценивают другие) и 80 % – внутренняя. С помощью внешних факторов компенсируется недостаточность внутренней самооценки (для поднятия «реальной стоимости» используется «показная стоимость», так называемая «упаковка»). В норме «атрибутика» занимает 5%, статус или ранг – 2 %. С помощью внешних факторов компенсируется недостаточность внутренней самооценки (самодостаточности).

Свидетельством самостоятельного происхождения социальных потребностей человека служит развитие ребенка. Тщательные исследования показали, что потребности, обуславливающие «привязанности» и «боязнь одиночества», не являются производными ни от потребности в пище, ни от ранней сексуальности, как полагал З. Фрейд. Более того, если функции удовлетворения биологических потребностей (кормление, гигиенический уход) и общение в виде улыбок, разговоров, игры разделить между двумя людьми, то ребенок больше привязывается к тому

человеку, который вступает с ним в «психологический» контакт. В то же время он остается равнодушен к взрослому, бесстрастно удовлетворяющему его первейшие жизненные нужды.

Идеальные потребности, базируясь на потребности в получении информации, включают потребности в познании законов существования и развития окружающего мира и своего места в нем как путем **присвоения уже имеющихся культурных ценностей, так и путем открытия совершенно нового, неизвестного предыдущим поколениям**. Эти потребности существуют безотносительно к прагматическому удовлетворению витальных и социальных потребностей, хотя и тесно связаны с ними. Они направлены в будущее и реализуются не только на уровне сознания, но и на уровне сверхсознания. В отличие от животных человек стремится уяснить правила и закономерности, которым подчиняется окружающий мир. Постигая эти закономерности, человек кладет их в основу создаваемых им «моделей мира», будь то научные теории или произведения искусства. Идеальные потребности лежат в основе творчества, и именно они побуждают людей участвовать в таких формах познания мира, как наука, искусство и религия. **Наука удовлетворяет потребность человека в познании объективных (относительных) истин**. Она относится к рациональной сфере мышления и включает в себя открытие научных фактов, создание гипотез и теорий, которые позволяют фиксировать предмет или явление и выявлять их свойства и связи вне зависимости от субъективного восприятия. **Искусство и религия удовлетворяют потребность в поиске абсолютной истины**, т.е. в познании того, что на данном этапе развития головного мозга не может быть объяснено с помощью рационального подхода. Искусство и религия относятся к иррациональной сфере мышления и опираются на тезисы: «я чувствую» или «я верую», в то время как тезис науки – «я знаю».

В **структуре** биологических, социальных и идеальных потребностей выделяют две разновидности: **потребности сохранения и потребности развития (нужды и роста)**. При этом различают потребности **индивидуального** сохранения и развития (эгоистические потребности – «для себя») и потребности **общественного** сохранения и развития (альтруистические потребности – «для других»).

Потребности сохранения удовлетворяются в пределах существующих «текущих» условий жизни и индивидуальных и общественных норм. Потребности развития превышают нормы и направлены на расширение пределов сред обитания и изменение к лучшему условий жизни (улучшение «качества жизни»). Например, в сфере социальных потребностей индивидуальное самосохранение и саморазвитие проявляется стремлением сохранить, упрочить или улучшить свое общественное поведение, а общественное требует совершенствования социальных норм или улучшения положения какой-либо социальной группы. Среди социальных норм выделяют правовые (законы и наказание за их нарушение – юриспруденция), нравственные (общественная мораль и этикет, включая порицание за их нарушение), эстетические (понятие о прекрасном и уродливом). Последняя группа норм наименее регламентирована, но их несоблюдение также может вызвать общественное порицание, отторжение субъекта из группы или непринятие его в ту или иную общность. В идеальных потребностях норма – это достигнутое к настоящему времени знание. Идеальная потребность сохранения удовлетворяется присвоением знания, потребность развития побуждает стремление к непознанному, ранее никому не известному. Соотношение потребностей «для себя» и «для других» в структуре личности позволяет выделять «разумный эгоизм» и «разумный альтруизм» в норме, при девиантном (отклоняющемся от нормы) поведении – «эгоцентризм» и «неразумный альтруизм». Относительно соблюдения общественных норм выделяются «новаторы» и «консерваторы» (обыватели), при девиантном поведении – «аддикты» (экстремалы) и «конформисты». В животном мире любой «экстремизм» не приветствуется. Самка никогда не будет спариваться с партнером, в чьем поведении наблюдаются признаки «экстремизма» или любых других «неправильных» девиантных действий.

Потребности сохранения и развития порождают две основные формы эмоций: отрицательные и положительные.

Механизм сохранения (выживания) не нуждается в положительных эмоциях. Он может существовать за счет одних отрицательных эмоций, когда устранение дискомфорта путем удовлетворения той или иной потребности является «наградой» для человека. Положитель-

ные эмоции – механизм развития (недаром говорят – «охота пуще неволи»). В его основе лежит потребность в преодолении препятствий на пути к достижению какой-либо цели, первично иницирующей поведение, а также потребность в вооруженности. В то время как *отрицательная эмоция является пусковым стимулом, побуждением к действию, положительная эмоция в качестве удовольствия от преодоления или от получения новых знаний, умений, навыков или даже материальных благ, является подкрепляющим стимулом*. Поэтому потребность в преодолении и потребность в вооруженности считаются дополнительными к витальным, социальным и идеальным потребностям.

Способность к преодолению препятствий обычно называют *волей*. С точки зрения нейрофизиологии, *воля – это активность субъекта, обусловленная потребностью преодоления, самостоятельная и дополнительная к мотиву, определяющему поведенческий акт*. Удовольствие от преодоления – наиболее яркий показатель воли. В то же время, активность, вызванная преградой, в определенной ситуации и определенных субъектов может оттеснить первоначальное поведение на второй план. Тогда можно встретиться с необоснованным упрямством, т.е. с таким типом поведения, когда преодоление стало самоцелью, а исходный мотив утратил свое значение или даже уже забыт.

Свойство, негативно коррелирующее с волей – *внушаемость*, в том числе предрасположенность к гипнозу. Это позволяет использовать внушаемость как тест для оценки волевых качеств личности. Многочисленные исследования показали, *что внушаемость зависит не от устойчивости психики, а от типа мышления*. Рациональный тип мышления снижает уровень внушаемости, иррациональный – повышает. В онтогенезе наиболее высокая степень внушаемости отмечается у людей в возрасте до 25–30 лет и особенно у детей и подростков с 6 до 18 лет. С одной стороны, это способствует воспитанию, а с другой – вызывает опасность длительной задержки подражательного поведения у детей или возвращения к нему у взрослых. При этом происходит полное подчинение «лидеру» – демонстратору, утрата самосознания и чувства личной ответственности за свои действия и поступки. *Чувство личной ответственности*, так же как и механизм прогнозирования последствий того или иного поступка, формируется в процессе развития мозга человека, его мышления и сознания. У человека с развитым мышлением и сознанием внушаемость снижена. Опасность значительно меньше и при аналитическом мышлении, позволяющем включить механизмы всестороннего и повторного анализа своих действий и их последствий, благодаря чему личность способна самостоятельно противостоять неблагоприятным ситуациям и искать выход из состояния дискомфорта, не полагаясь на помощь «всезнающего лидера».

Самостоятельные по происхождению потребности в «вооруженности» и «преодолении препятствий» вместе с другими потребностями участвуют в регуляции поведения и вносят свой вклад в формирование личности. Иерархия и сочетание потребностей у каждого человека имеют свой уникальный характер. По набору потребностей люди могут быть принципиально сходными, однако по их иерархии и сочетанию – кардинально различаться. Наряду с индивидуальными особенностями соматической и психической конституции человека набор и иерархия его потребностей вносят свой вклад в структуру личности, формируя физиологическую, психологическую и социальную составляющие индивидуальности.

Большинство составляющих индивидуальности окончательно формируется к возрасту совершеннолетия и практически не меняется в течение жизни. Девиации (отклонения) возникают в условиях длительных чрезвычайных напряжений, событий, угрожающих жизни, тяжелых и длительных соматических и психических заболеваний и могут касаться всех аспектов личной индивидуальности, в том числе и потребностей. В норме для любого живого существа и особенно для человека, обладающего самым большим набором потребностей, особую ценность имеют те виды деятельности, которые одновременно ведут к удовлетворению комплекса потребностей, позволяют достичь высшей степени квалификации и профессионального мастерства.

Например, труд (работа) способен удовлетворить материальную потребность в зарплате, социальную потребность в определении своей «общественной ниши» или достижении престижно-

го положения в своей социальной среде, а также идеальную потребность в приобретении дополнительных знаний, если человек стремится привнести в свою работу элементы творчества.

Социальные и идеальные потребности, как мы увидим ниже, являются основными при формировании людей в этнос.

Особенности ВНД человека. Первая и вторая сигнальные системы

Условно-рефлекторная деятельность человека имеет очень много общего с условно-рефлекторной деятельностью животных. У человека условные рефлексы (УР) вырабатываются так же как и у животных, с помощью пусковых и подкрепляющих стимулов. Подкрепляющими безусловными стимулами являются реакции слюноотделения, дыхания, изменение ЧСС, двигательные, кожно-гальванические, оборонительные и другие реакции. Так же как и у животных, УР человека способны к угасанию, они подвержены действию внешних тормозных раздражителей, динамической стереотипии и т.д. Вместе с тем ВНД человека, включающее психическое отражение, характеризуется рядом существенных отличий.

В количественном отношении среди них выделяют:

- высокую скорость всех видов научения;
- возможность выработки УР высоких порядков (ассоциаций);
- развитую способность к дифференцировкам;
- быструю переделку поведенческих стереотипов;
- развитую способность к прогнозированию и планированию;
- преобладание социальных потребностей над витальными.

В качественном отношении ВНД человека характеризуется более сильным развитием психического отражения (у животных присутствуют только отдельные его элементы), способностью к хранению, обработке и передаче информации с использованием символических знаковых систем (языков) и осознанием того, что произошло научение. Наиболее существенной в деятельности человека является словесная знаковая система, т.е. речь (устная и письменная). Используются и другие знаки (символы): цифры, ноты, рисунки, жесты, мимика и др. Человек способен давать определенным понятиям условные обозначения, оперировать этими обозначениями и передавать информацию с использованием внешних носителей (от наскальных рисунков до компьютерных дисков). На этой основе у человека развивается абстрактное мышление, сознание, самосознание и общественное сознание, способности к артистическому самовыражению, художественному и научному творчеству, а также возможность передачи знаний и опыта из поколения в поколение для пополнения и развития социальных отношений, искусства, науки, т.е. для всего того, что мы называем культурно-историческими ценностями.

Первая и вторая сигнальные системы

Перечисленные особенности ВНД человека нашли отражение в представлениях И.П. Павлова о первой и второй сигнальных системах, связанных, соответственно, с «конкретными» и «абстрактными» условными сигналами. Эти сигналы являются пусковыми в реализации ВНД и имеют значение стимулов. **Безусловные раздражители, имеющие «подкрепляющее» значение, в структуру сигнальных систем не включаются.** По Павлову:

– **первая сигнальная система** – это система временных связей, возникающих в мозге при воздействии сигналов, имеющих конкретное содержание (они отражают определенные признаки предметов и явлений, а также события окружающего мира в пределах текущего момента);

– **вторая сигнальная система** – это система временных связей, возникающих в мозге при действии сигналов абстрактного характера (слов и других символов, кодирующих обобщенные понятия и имеющих значение как для анализа прошлого опыта, так и для прогнозирования будущего).

И.П. Павлов выделял **три уровня (инстанции) ВНД:**

- 1) **безусловные рефлексы;**
- 2) **условные рефлексы первой сигнальной системы, связанные с конкретными сигналами (например, ответ собаки на ее кличку, ответ человека на телефонный звонок);**

3) *условные рефлексы второй сигнальной системы, связанные с сигналами абстрактного характера – символами.*

Первые два уровня являются общими для человека и животных, третий свойственен, в основном только человеку, хотя у высших животных присутствуют определенные зачатки УР второй сигнальной системы, которые возникают только после обучения человеком.

Работы этологов показывают, что животные довольно хорошо используют знаковые системы: «языки» звуков и запахов при ритуальном поведении (например, в брачный период); особые сигналы для передачи определенной информации (например, сигналы о приближающейся опасности, о направлении и расстоянии до источника пищи или воды, о «территориальном» праве, о «лидирующем» или «подчиненном» положении). Однако «язык» животных является совокупностью конкретных сигналов и относится к первой сигнальной системе. Абстрактные сигналы лишь в крайнем случае, да и то после обучения человеком могут восприниматься некоторыми высокоорганизованными животными. Например, известен случай, когда пару шимпанзе удалось обучить языку жестов глухонемых людей. Он включал 90 знаков, обозначающих предметы, действия и качества. С помощью этого языка обезьяны общались с экспериментаторами и даже между собой, однако сложность задач, решаемых животными с помощью знаковых систем, не превышал уровень, доступный двух-, трехлетнему ребенку.

В настоящее время, кроме тех уровней, которые выделил И.П. Павлов, в рамках физиологии ВНД исследуются и такие механизмы психического отражения, как эмоции, память, мышление и сознание. Широкое развитие получили заложенные еще И.П. Павловым основы клинической физиологии ВНД как науки о патологических изменениях ВНД и СС и, в частности, учения о неврозах и психических заболеваниях.

Адаптивное и девиантное поведение

В здоровом организме любое проявление активности определяется целесообразностью (так называемый «постулат сообразности»), т.е. любой поведенческий акт направлен на достижение конкретной цели. С точки зрения теории управления, *организм представляет собой оптимизированную систему, которая автоматически меняет свое поведение (способы действия) с целью наилучшего управления.*

В связи с этим *процессы самоорганизации и развития детерминированы тремя принципами экономии:*

– *экономия материи (развитие кратчайшего пути-канала связи между двумя взаимодействующими областями);*

– *экономия времени проведения импульса – передачи информации (динамическое следствие предыдущего пункта);*

– *экономия пространства – структурирование, т.е. приобретение определенных форм, позволяющих уместиться в ограниченном объеме организма.* При этом сам организм тоже ограничен определенными размерами для оптимального функционирования (например, рост человека считается нормальным в диапазоне от 1,5 до 2 м, другие размеры человеческого организма предопределяют сбой в работе различных функциональных систем).

Управляющая деятельность нервной системы регламентирована также тремя принципами:

1. *Гомеостатическая направленность* – устранение конфликтности во взаимодействии организма с внешней средой, в том числе с социумом; устранение длительных состояний напряжения; установление баланса между различными физиологическими и психическими процессами, протекающими в организме, т.е. поддержание динамического гомеостаза.

2. *Гедонистическая целесообразность* – максимизация чувства удовольствия (комфорта) и минимизация страдания (дискомфорта).

3. *Прагматическая целесообразность* – оптимизация поведения, направленного на достижение цели (польза, выгода, успех достигаются с наименьшими затратами).

Существование организма в постоянно меняющихся условиях внешней среды приводит к тому, что внешние раздражители «стремятся» вызвать изменения в организме, а организм

вынужден поддерживать свое относительное постоянство в пределах определенного диапазона, непрерывно приспосабливаясь к каждой конкретной ситуации. Такое **автоматическое приспособление организма к условиям внешней среды называется адаптацией**. Личность тоже адаптируется к изменяющимся условиям и требованиям окружающей среды, только на уровне психических реакций. Психические реакции базируются на физиологических процессах и имеют те же закономерности. Они также направлены на сохранение «гомеостаза» – относительного постоянства состава и свойств внутренней среды и устойчивости основных физиологических функций, в том числе и психических. Иногда даже говорят о «психическом гомеостазе», имея в виду диапазон адаптивных реакций психики. Основная закономерность эволюционного развития – это развитие по спирали. На плоскости спираль изображается в виде синусоиды, отражающей уровень (диапазон) тех или иных реакций.

Адаптация как одно из важнейших свойств организма, выработанное в процессе эволюции, проявляется по-разному, но всегда с одной целью – добиться самого выгодного режима работы в «конкретных» сложившихся условиях среды.

Адаптироваться можно и к болезни или чрезвычайным воздействиям, поэтому резкое избавление человека от какого-либо заболевания или слишком быстрый переход от «чрезвычайной» ситуации к нормальным условиям может привести к серьезной дисгармонии всех его функций, в том числе и психических. Именно поэтому такое серьезное внимание придается клинической (медицинской) психологии, которая имеет дело с больными, страдающими какими-либо соматическими заболеваниями. Слово *cline* (греч.) обозначает постель – больничную койку и вначале клиническая психология, которую активно разрабатывали психиатры, была нацелена на изучение отклонений интеллектуального и личностного развития таких больных, а также на коррекцию дезадаптивного поведения, однако со временем сфера клинической психологии была расширена за счет изучения психического состояния больных с соматическими заболеваниями в плане их адаптации к условиям болезни. Проявлениями адаптации являются процессы обучения, самообучения, управления и самоуправления, т.е. по сути – процессы самоорганизации.

Устойчивость и эффективность

Устойчивость любой функциональной системы, в том числе и человеческого организма, является одной из важнейших характеристик его деятельности. **Устойчивость, отражающая способность системы к адаптации и компенсации нарушенных функций, зависит от количества обратных связей между всеми ее уровнями и согласованности в их активности по месту и времени.** На основе интеграции в системах управления и координации действий командных и исполнительных структур обеспечивается необходимый уровень гомеостаза. Живая информационная система постоянно находится в колебательном состоянии, при этом именно **ширина диапазона различных колебаний и определяет устойчивость системы в условиях жизнедеятельности**. Особенно ярко устойчивость проявляется в **состоянии напряжения**, когда организм стремится не только **расширить диапазон адаптивных и компенсаторно-приспособительных реакций, но и увеличить период колебаний**, чтобы продлить время восстановления, накопить пластические и энергетические ресурсы, необходимые для дальнейшего повышенного их расходования. Таким образом, устойчивость – это одна из характеристик сложных систем. Краткое определение устойчивости – **способность системы сохранять свои внутренние свойства в условиях возмущающих воздействий**.

Область устойчивости системы – это те границы изменения ее параметров, при которых система выполняет свои функции достаточно эффективно. Именно с эффективностью связаны понятия о физиологической и психической норме. Показатели эффективности (с точки зрения наблюдателя) являются основными критериями нормы, они отражают степень приспособленности той или иной функциональной системы к выполнению поставленных перед нею задач. Сама **эффективность как функциональная характеристика, связана с качеством выполнения целевой функции и величиной затрат, пошедших на достижение цели**.

Показатели эффективности могут быть выражены как количественно (например, числовыми значениями, которыми можно описать внутренние процессы при измерении тех или иных параметров), так и качественно (по принципу «лучше – хуже»). В благоприятных условиях показатели эффективности имеют одно значение, в условиях противодействия неблагоприятным влияниям, когда система использует дополнительные средства, добиваясь стабилизации какого-либо процесса или параметра, показатели эффективности уменьшаются. Тем не менее в физиологии и психологии выработаны понятия об «условной норме», к которой относят адаптивные и компенсаторно-приспособительные реакции, и о «патологических процессах», когда речь идет о дезадаптации и декомпенсации.

В психологии между условной нормой личности и ее расстройствами (в старом употреблении термина – психопатиями) находятся так называемые акцентуации. **Акцентуации – это резкие (заостренные) проявления психических процессов, не достигающие до патологической степени.** По сути – это выраженные компенсаторно-приспособительные реакции, которые располагаются на границе между условной нормой и патологией.

В **трактовке** проявлений нормы, акцентуаций и патологических симптомов до сих пор существуют разногласия среди психологов, психиатров и клинических психологов. То же касается и девиантного поведения человека. Девиантный – отклоняющийся, в нашем контексте – отклоняющийся от нормы, аномальный.

Девиантное поведение определяют как систему поступков или отдельные поступки, противоречащие принятым в обществе нормам и проявляющиеся в виде несбалансированных психических процессов, низкой адаптационной способности, нарушении процессов самоактуализации либо в виде уклонения от нравственного, эстетического или этического контроля за собственными действиями. Для того, чтобы судить об отклонениях в поведении и о степени патологии, необходимо определить «точку отсчета», т.е. ту индивидуальную или общественную норму, по отношению к которой то или иное поведение является девиантным. Важно помнить, что одни и те же симптомы могут соответствовать как психологическим проявлениям индивидуальных особенностей личности (вариантам нормы), так и психопатологическим изменениям, связанным с заболеванием. В оценке симптома нельзя основываться на определениях, которые дает собеседник, особенно, если идет обследование личности с высоким уровнем развития, широкими знаниями в области философии, психологии, медицины. Попытки обследуемого не только описать свое состояние, но и самостоятельно проанализировать его увеличивают риск неправильной оценки того или иного психического процесса, когда особенности проявления психики в той или иной конкретной ситуации трудно отдифференцировать от клинического симптома «душевной болезни». Например, обследуемый может жаловаться на апатию и тоску, в то время как объективно у него имеются гипопатия и тревога. В этой связи очень важно разобраться в терминологии и постараться дать как можно более точную формулировку того или иного понятия.

Сходство негативных и позитивных изменений психики у здоровых и больных людей вызывает сложности в дифференциальной диагностике психологических особенностей личности и психопатологических проявлений заболевания. До настоящего времени остаётся неясным, возможно ли появление психопатологических феноменов у здоровых людей или же в период их появления такого человека нельзя признать вполне здоровым и следует признать наличие у него по крайней мере невротических расстройств. Вместе с тем знания физиологии ВНД и сенсорных систем позволяют понять, что многие из так называемых психопатологических симптомов нельзя категорически отнести к числу патологических проявлений, так как зачастую они являются «ситуационными» проявлениями вариантов нормы. Несмотря на то, что до сих пор не существует четких дифференциально-диагностических приемов для разграничения многих болезненных и неболезненных проявлений психики, **важнейшим критерием оценки вариантов нормы психических процессов является их относительно целесообразный характер и отсутствие чрезмерно длительной фиксации, не соответствующей требованиям текущей действительности или потребностям индивидуального развития.** Например, выбор одиночества, отказ от всяческих коммуникаций, изоляция

от внешнего мира при всей своей кажущейся патологичности (симптоматика аутизма) не всегда является психопатологическим феноменом. На тех этапах развития личности, когда речь идет о выдвижении целей или о наборе и ранжировании потребностей, а представления о желаемом еще не сформировались, погружение в мир собственных переживаний, отгороженность от внешнего мира, ограничение коммуникативных функций, отсутствие реальной адаптации к требованиям жизни со склонностью к мечтам и фантазиям (т.е. мышление, обходящееся без постоянного притока информации извне) является фазой развития, хотя в конкретный момент времени может оцениваться как стабильная черта личности – интроверсия. У *подростков* признаки аутизма чаще всего не относятся к патологическим состояниям. В то же время такие симптомы *в раннем детском возрасте или у взрослых людей* сочетают в себе не только нежелание устанавливать контакты с окружающими, но и невозможность это сделать, а способность наслаждаться одиночеством, отсекая всякую внешнюю информацию, относится к патологическим проявлениям.

Вторым важным диагностическим критерием оценки вариантов нормы является наличие критики к проявлениям того или иного психического процесса. При этом нужно помнить, что продуктивные (позитивные, не в смысле положительные, а в смысле добавленные, т.е. + признак или + качество, которых раньше не было) симптомы человек способен понять и описать. Поэтому существует возможность критического отношения к вновь появившимся изменениям психики. Отрицательные же симптомы (негативные, дефицитарные – исчезнувшие) во многих случаях не поддаются критическому анализу. Человек не замечает или не понимает, что утратил те или иные качества, т.к. существует так называемый «синдром обкрадывания психики». Предполагается, что наряду с активно неосознаваемыми симптомами такими как бредовые или сверхценные идеи, имеются условно неосознаваемые или осознаваемые не в полной мере и не в любое время (галлюцинации, навязчивые ритуалы и др.). Например, неосознаваемой является абулия (состояние патологического отсутствия воли, при котором пациент не способен выполнить действие, необходимость которого осознаётся), а осознаваемой гипобулия (греч. *hupo* – слабая степень + *bule* – воля, т.е. слабОВОлие); то же относится к парам аутизм – интроверсия; апатия – гипопатия и т.д. Из этого следует, что проявление тех или иных отклонений логичнее было бы объяснять разными терминами, имея в виду психопатологический симптом или акцентуацию характера, определяемую как вариативную норму психики (множество вариативных норм психики и определяет разнообразие индивидуальностей). Примером этому является описание аутизма и интроверсии. Если прочесть определение того и другого понятия, которое дают психологи, то они очень сходны. Однако по механизмам возникновения эти два состояния принципиально различны. Оценивая личность по параметру коммуникабельности, можно прийти к неверному выводу о наличии у интроверта признаков аутизма. Чтобы этого избежать, необходимо проследить развитие признаков в динамике и помнить, что *интроверсия – это вариативная норма*, которая связана с индивидуальным (конституционным) уровнем развития определенных структур мозга и особенностями их взаимодействия, а также с особенностями воспитания и самоактуализации человека. Интроверсия, в отличие от аутизма, не возникает внезапно, способна к компенсации под влиянием внешних факторов и может нивелироваться в определенных условиях и конкретных ситуациях. *Аутизм – это стойкое состояние, не подверженное значительным колебаниям и не зависящее от условий среды.* У маленьких детей это состояние является врожденным, у взрослых – возникает внезапно. Оно рассматривается в рамках дефицитарных симптомов и по сути представляет собой процесс «обкрадывания» здоровой психики, нанесения ей ущерба. Поэтому при психологическом анализе адаптивных, компенсаторно-приспособительных и патологических реакций крайне важной является оценка изменений психических функций конкретного человека на протяжении длительного времени с учетом наследственных и онтогенетических факторов становления личности.

В психологическом плане патологическое поведение отличается от нормального следующими параметрами:

- 1) склонностью к генерализации, т.е. способностью проявляться в самых разных ситуациях и вызываться самыми различными поводами;
- 2) склонностью приобретать свойства стереотипа, т.е. к повторению одного и того же, часто неадекватного поведения, по разным поводам;
- 3) склонностью превышать пределы отклонений от общепринятого поведения, никогда не превышаемые той социальной группой, к которой принадлежит субъект (например, 60-летняя учительница стала стриптизершей);
- 4) склонностью приводить к социальной дезадаптации.

В целом следует помнить, что наличие тех или иных симптомов, которые часто относят к психопатологическим, не являются признаком расстройства психики, а может быть вариантом нормы, если симптом сопровождается критическим отношением к себе и адекватной оценкой окружающей среды, когда человек не смешивает необычные субъективные ощущения и фантазии с обыкновенной реальностью, а поведение не выходит за рамки социальных норм.

Говоря о человеке, нельзя не затронуть вопрос о таких понятиях, свойственных *homo sapiens*, как **сознание**, **подсознание** и **сверхсознание**. Остановимся кратко на их характеристике.

Сознание – специфическая человеческая форма отражения действительности, формирование внутренней программы действий, основанное на оперировании декларативным знанием. Получаемое и передаваемое знание позволяет человеку отделить себя от других животных и неживых систем. Осознать – значит приобрести потенциальную возможность сообщить, передать свое знание другому, в том числе и другим поколениям в виде памятников культуры. Сознание объединяет все то, что коммуницируется или может быть сообщено другим людям. Коммуникативное происхождение сознания обуславливает способность мысленного диалога с самим собой, суждения о собственных поступках, планирования действий и прогнозирования последствий, то есть к появлению самосознания.

По отношению к коммуникативному сознанию речь является важнейшим, ведущим средством декларативного знания, но при этом нельзя забывать о грандиозной системе художественных образов, которые, не будучи полностью вербализуемы, безусловно, принадлежат к сфере сознания. В восприятии человеком искусства участвует как «первичный язык» чувственно непосредственных конкретных образов и «вторичный язык» довербальных понятий (результат деятельности первой сигнальной системы), так и вербальные понятия (результаты деятельности второй сигнальной системы), присущие исключительно человеку. Высшая нервная деятельность человека включает в себя не только первую сигнальную систему, общую для всех высших животных и специфическую человеческую речь – вторую сигнальную систему, но и третий фактор, связанный с процессом воображения, мысленного представления, так называемый имагинарный фактор, непосредственно связанный с сознанием. Экспериментальные и клинические исследования функций больших полушарий подтвердили, что сохранение связей познавательных зон коры с речевыми структурами мозга является обязательным условием функционирования сознания.

Сигнальная система – система условно- и безусловно-рефлекторных связей высшей нервной системы животных (включая человека) и окружающего мира. Различают первую и вторую сигнальные системы. Термин введен академиком И.П. Павловым. Первая сигнальная система развита практически у всех животных, тогда как вторая система присутствует только у человека и, возможно, у некоторых китообразных.

Подсознание – разновидность неосознаваемой психической деятельности, непосредственно связанная с сознанием и включающая в себя все то, что было осознаваемым или может стать таким в определенных условиях. К этой группе явлений относятся хорошо автоматизированные и поэтому переставшие осознаваться навыки, а также вытесненные из сферы сознания мотивационные конфликты. В сферу подсознания входят и глубоко усвоенные социальные нормы. К подсознанию относятся и те проявления интуиции, которые не связаны с порождением новой информации, а предполагают использование ранее накопленного опыта. Именно подсознание является источником многих умозаключений, при которых зачастую невозможно объяснить, какие именно внешние признаки объекта или явления привели к это-

му заключению, если не провести мысленную реконструкцию ранее осознаваемого опыта. Имеется и прямой путь, минующий рациональный контроль сознания. Это механизмы имитационного поведения, которые со временем становятся внутренними регуляторами поступков и нередко формируют личность в большей мере, чем интеллектуальная сфера. Подсознание всегда стоит на страже полученного и хорошо усвоенного процедурного и декларативного знания, будь то автоматизированный навык или социальная норма. Благодаря консерватизму подсознания, индивидуально усвоенное (условно-рефлекторное) знание приобретает императивность и жесткость, присущие безусловным рефлексам.

Сверхсознание – порождение новой, ранее не существовавшей информации путем рекомбинации следов получаемых извне впечатлений, минуя контроль сознания, хотя материалом для рекомбинационной деятельности могут служить и осознаваемый опыт, и резервы подсознания. К сфере сверхсознания относятся и первоначальные этапы творческой деятельности (иногда даже в виде сновидений) – порождение догадок, гипотез, творческих озарений. Зарождение, формулировка проблемы и постановка ее перед познающим умом происходит в подсознании и сознании, но принципиально новая информация, непосредственно не вытекающая из ранее накопленного опыта, порождается сверхсознанием. Затем она переводится на уровень сознания, где происходит вторичный отбор информации путем логической оценки и проверки на практике. Творческая интуиция содержит две разновидности сверхсознания. **Интуиция-догадка** – порождение гипотез и **интуиция-суждение** – порождение аксиом, т.е. прямое усмотрение результата (истины), не требующего формально-логических доказательств. В их генезисе лежит нечто принципиально общее, а именно дефицит информации, необходимый и достаточный для логически безупречного заключения. В первом случае (интуиция-догадка) этой информации еще нет, но ее можно получить в ходе проверки гипотезы. Во втором случае (интуиция-суждение) необходимую информацию получить вообще невозможно, так как существующий уровень индивидуального и общественного сознания пока еще не в состоянии обеспечить вторичный отбор при помощи формализуемых доказательств. В этом случае полученное «новое» остается на уровне интуиции и формализовано быть не может, т.е. это аксиома.

Таким образом, психоэвристическая **интуиция-догадка** в рамках формализованной системы аксиом может быть дискурсивно сведена к некоторым основным положениям, принятым за аксиомы или постулаты. **Интуиция-суждение** тем и отличается от интуиции-догадки, что **принципиально не сводится** к каким-либо аксиомам, поскольку сама имеет характер аксиомы, а в ряде случаев ею и является.

Установление **аксиом** всегда есть акт интуиции-суждения. **Важнейшим и принципиальным для всей науки видом такого суждения является суждение о достаточности опытной проверки, о доказуемости опыта, который всегда с неизбежностью ограничен.** Однако мы пользуемся этим суждением во всех случаях, когда прибегаем к «критерию истины». Здесь уместно процитировать нашего выдающегося соотечественника – философа, естествоиспытателя и священнослужителя о. Павла Флоренского, утверждавшего еще в начале XX века: «Истина есть интуиция. Истина есть дискурсия. Или проще: истина есть интуиция – дискурсия».

Психосоматические и психофизические расстройства. Связь психосоматической патологии с мозговыми структурами

Развитие гомеостатических реакций реализуется таким образом, что при наличии уже заметных морфологических изменений в СФРЕ клинические признаки нарушений ее функций могут быть относительно скудными или отсутствовать, так как структурные изменения обладают высокой степенью компенсации, которая обеспечивается за счет интенсификации регенераторно-гиперпластических процессов не только в самом месте повреждения, но и рядом, и даже на отдалении от него. В таком случае патологический процесс может долго оставаться компенсированным и клинически проявиться только тогда, когда наступает фаза декомпенсации той или иной болезни, то есть уже та предельная степень напряжения КПП, которая близка к полному истощению.

Практически это означает, что к первым субъективным и объективным клиническим проявлениям болезни надо относиться крайне внимательно, помня о том, что гораздо чаще они являются сигналами не начала болезни, а по существу уже далеко зашедшей фазы декомпенсации (рис. 32).

Началом болезни, с одной стороны, могут служить нарушения процессов восприятия и переработки афферентных сигналов о состоянии скелетно-мышечного аппарата, кожной, вестибулярной, зрительной, слуховой и других сенсорных систем (экстерорецепция), о слиянии висцеральных органов, уровнях метаболизма и потребностях организма в данный момент (интерорецепция), с другой стороны – нарушения эфферентных процессов регуляции, направленных на адекватное завершение приспособительных и компенсаторных реакций в ответ на изменения, происходящие во внутренней и внешней среде. При этом сигналы с интерорецепторов могут до известного момента не иметь самостоятельного значения, но взаимодействуя с экстероцептивными сигналами, они становятся важным компонентом аналитико-синтетической деятельности организма. В нормальных условиях афферентные и эфферентные импульсы висцеральной сферы являются мощным фактором поведения, выступая элементами различных функциональных систем, обеспечивающих жизнедеятельность.

В условиях патологии висцеральные сигналы, подавляя отдельные реакции всех других сигналов, могут приобретать главенствующее значение и определять векторы поведения организма. К этой категории патологических явлений относятся психосоматические (или психофизиологические) расстройства, развитие которых ускоряется причинами, прямо связанными с поведенческими или социальными факторами окружения больного. Сочетание этих факторов способствует началу рецидивирующих проявлений определенных симптомов: дисфункции желудочно-кишечного тракта, некоторых форм артрита, хронических кожных заболеваний, астмы, гипертонии и т.д. В таких случаях мы имеем дело с преувеличенной реакцией организма, возникающей главным образом при участии ВНС.

С целью быстрого и наиболее полного восстановления соматических и психосоматических функций применяются разнообразные методы направленного воздействия на корковые и подкорковые центры, афферентные и эфферентные звенья специфических и неспецифических функциональных систем. В настоящее время успешно используются как традиционные методы патогенетической терапии и фармакологии, так и новые пути устранения некоторых дефектов сенсорных функций с помощью механических устройств обратной связи, которыми можно заменять неисправные элементы функциональных систем или совершенствовать элементы, необходимые для оптимизации того или иного вида деятельности. Включением в функциональную систему внешних элементов обратной связи, отражающих состояние определенных физиологических параметров, достигаются положительные результаты по саморегуляции гомеостаза у здоровых и больных людей, которые закрепляются затем в процессе тренировок.

Основой саморегуляции в этих случаях являются естественные процессы образования новых необходимых для достижения желаемых результатов, функциональных связей, подкрепляющихся информацией о степени вероятности удовлетворения той или иной потребности и таким образом включаемых в сферу эмоциональной деятельности субъекта.

Достижения последних десятилетий в области психо- и нейрофизиологии, исследующих взаимосвязи между мышлением, памятью, способностью к обучению и эмоциям, позволили определить основу этих процессов (структуры мозга, ответственные за них); механизмы взаимосвя-



Рис. 32. Схема развития болезни

симости между этими структурами и их функциями; направление и ход развития реакций нервной системы на различные внешние и внутренние воздействия и позволили оценить роль и значение рациональной и эмоциональной сферы деятельности организма в адаптивном поведении.

Выяснилось, что ряд мозговых образований, таких, как корковые отделы сенсорных систем, передние и височные отделы новой коры, лимбическая кора, ядра миндалевидного комплекса и гипоталамус, являются нейроанатомическим субстратом возникновения и реализации комплексных взаимосвязанных реакций, сознания и памяти, эмоциональных реакций и реакций соматических и висцеральных органов в ответ на изменяющиеся условия среды, что создает целостную психовегетомоторную реакцию организма на любое воздействие.

Получены очень важные данные по нейрохимической организации мозга у экспериментальных животных и у человека при клинических исследованиях. Они позволили установить, что как в реализации любой вегетомоторной реакции, так и в реализации любой эмоции участвуют одни и те же основные нейромедиаторные системы: норадренергическая, серотонинергическая, дофаминергическая, пептидергическая (включающая эндогенные опиаты) и холинергическая – т.е. те самые системы, которые используются ВНС для регуляции гомеостаза. Эти данные хорошо объясняют медиаторную природу эффекторных (двигательных и вегетативных) проявлений эмоциональных реакций и позволяют включить эмоции в контекст организации целенаправленного поведения и саморегуляции процессов жизнедеятельности организма и еще шире – в контекст эволюции живой природы, где организм человека выступает как элемент системы более высокого порядка – биосферы.

С физиологической точки зрения, эмоция есть активное состояние специализированных мозговых структур, побуждающих изменить поведение в направлении минимизации или максимизации любого состояния. В целом эмоции, являющиеся результатом высшей нервно-психической деятельности, определяется как отражение мозгом актуальной потребности и оценка вероятности ее удовлетворения на основе генетического и ранее приобретенного индивидуального опыта, т.е. эмоция есть функция от потребности и информации о средствах и способах ее удовлетворения.

При этом для организации целенаправленного действия важным этапом является не только актуализация потребностей (активирования памяти о целях), но и мотивация – физиологический механизм активирования хранящихся в памяти следов (энграмм) тех объектов, которые должны удовлетворить имеющуюся потребность, а также оценка вероятности ее удовлетворения. Если потребность не стала актуальной и мотивированной или вероятность ее удовлетворения очень мала, то целенаправленного действия не возникает. За счет интеграции актуализированной и мотивированной потребности с высокой вероятностью ее удовлетворения возникает положительная эмоция и осуществляется заключительный этап организации целенаправленного поведения. Поскольку положительная эмоция свидетельствует о приближении удовлетворения потребности, а отрицательная – об удалении от нее, субъект стремится максимизировать (усилить, продлить) первое состояние и минимизировать (ослабить, прервать, предотвратить) второе.

Важным звеном в выработке и закреплении навыков саморегуляции является формирование такого набора и такой иерархии потребностей, которые наиболее благоприятны для осуществления поставленной цели и реализации всех потенциальных возможностей организма.

В частности, большое значение в этом процессе имеет воля как присущая человеку потребность преодоления препятствий на пути к удовлетворению той доминирующей потребности, которая первично инициировала поведение. На самостоятельность воли как специфической потребности указывает ее способность порождать собственные эмоции в связи с преодолением или непреодолением преграды до того, как будет достигнута конечная цель.

Положительная эмоция создает дополнительное подкрепление в выработке необходимых навыков и является подсознательным помощником врача. Следует помнить, что подсознание – это разновидность психической деятельности, к которой принадлежит все то, что было осознанным в определенных условиях, в частности хорошо автоматизированные и поэтому переставшие осознаваться навыки. Суть обучения и последующей тренировки заключается в том, чтобы вначале на осознанном уровне с помощью положительных эмоций обучить желаемым навыкам, а затем путем тренировок автоматизировать их и перевести на уровень подсознания.

В предыдущих разделах мы познакомили читателя с основами знаний физиологических механизмов приспособительных, компенсаторных и патологических реакций организма. Следует помнить, что решающая роль в сохранении здоровья или в формировании болезни организма, бесспорно, принадлежит микро- и макросоциальному окружению. Даже у животных многие заболевания определяются не врожденными задатками или приобретенными повреждениями тех или иных органов, а отношениями, складывающимися в зоосоциальной группе. Например, в одной из подопытных групп обезьян лидерство захватил самец, который стал вожаком благодаря тому, что умел громко бить палкой по пустой железной бочке. После того, как у него отняли бочку, члены группы перестали признавать в нем вожака, лидерство захватил другой молодой самец, а у «свергнутого короля» развился инфаркт миокарда, от которого он впоследствии умер.

По данным Всемирной организации здравоохранения, количество психосоматических заболеваний за последнее время многократно возросло. Причину столь резкого скачка часто усматривают в особенностях жизни, характерных для населения промышленно развитых стран, в негативных последствиях научно-технической революции. Возникло представление об «информационных неврозах» и даже «информационной патологии» высшей нервной деятельности человека. Признавая важную роль этих факторов в происхождении хронического эмоционального напряжения, нам вместе с тем трудно согласиться с мнением о росте числа психосоматических заболеваний как непосредственном следствии НТР. По мнению Б.Д. Корвасарского, интенсификация производственного процесса, также как и самой жизни, сама по себе не является патогенной.

Неврастения вследствие переутомления – чрезвычайно редкое явление. Что же является причиной психосоматических заболеваний человека?

Еще И.П. Павлов пытался найти эту причину «в крайнем напряжении физиологических реакций, которое обусловлено действием социальных конфликтов», Этим конфликтам (служебным, семейным, возрастным, бытовым) придается особое значение, так как, повторяясь, они закрепляются и на структурном уровне, определяя патологические нарушения во взаимодействии мозговых структур. Результаты опытов на животных с последовательным или одновременным повреждением различных мозговых структур наводят на мысль, что индивидуальные особенности проявления основных разновидностей человеческих неврозов определяются особенностями взаимодействия лобной коры, височной коры и подкорковых ядер переднего и среднего мозга (гипоталамуса, миндалевидного комплекса).

Из клинического опыта лечения больных с устойчиво-измененным состоянием, известно, что группа фармакологических препаратов, обладающих лечебным эффектом, имеет также и нормализующее эмоциогенное действие. Единого взгляда на механизм их действия еще не выработано, но является очевидным, влияние на психические функции эти соединения реализуют через нейромедиаторные системы.

У больных часто встречается конкуренция существующих потребностей, когда поведение направлено на преимущественное или даже исключительное удовлетворение одной из них. В этих случаях задача врача заключается в изыскании путей и средств удовлетворения той или иной потребности или корректного переключения стремления больного на другую, заменяющую потребность, которая может быть удовлетворена доступными способами. В психологическом аспекте воля – это активность, обусловленная потребностью преодоления препятствий, самостоятельной и дополнительной к мотиву, организующему поведенческий акт.

Несложившиеся судьбы, драматические коллизии и житейские неурядицы, подчас тянущиеся годами – вот типичнейшие ситуации, с которыми сталкивается врач, беседуя с больными, страдающими психосоматическим заболеванием. Подчеркиваем, что вопреки мнению З. Фрейда, усматривавшего причину этих заболеваний чуть ли не исключительно в дисгармонии сексуальных отношений, преобладание сексуальных конфликтов отмечено только в 15 % случаев у больных в возрасте от 19 до 50 лет.

Клиника неврозов практически не встречается с отрицательными эмоциями, возникающими на базе неудовлетворения чисто биологических потребностей. Как правило, эмоциональный конфликт невротика, приводящий к развитию соматической патологии, социален по своей природе.

В настоящее время общепринятым считается определение неврозов как психических заболеваний, в развитии которых существенную роль играет столкновение эмоционально на-

сыщенных отношений человека с непереносимой для него жизненной ситуацией. Базой, на которой формируются психогенные соматические заболевания, являются индивидуальные особенности нервной системы человека и ее взаимодействие с другими функциональными системами. Напомним, что конкуренция одновременно важных и зачастую несовместимых друг с другом потребностей реализуется после трансформации этих потребностей в соответствующие эмоции, то есть с учетом вероятности (возможности) их удовлетворения в данной конкретной ситуации. Невроз – «болезнь неудовлетворенных потребностей» (А.М. Вейн).

Два фактора являются решающими для возникновения невроза и вслед за ним соматических психогенных заболеваний: ситуация трудного выбора, субъективно зависящего от человека, и структурно-функциональные особенности его нервной системы, располагающие к невротической реакции. Невроз не возникает, если не возникает ситуация, требующая от человека непосильного выбора, или если отсутствует предшествующая (врожденная или приобретенная) недостаточность соответствующих функциональных систем мозга. При нормальном взаимоотношении правильно организованных мозговых структур человек всегда может, заменив одну потребность другой или выбрав наиболее доступный путь для удовлетворения своей потребности, решить ту или иную ситуацию без крайнего эмоционального напряжения и срыва в болезнь. При патологических нарушениях взаимодействия мозговых структур возникают проявления всех известных разновидностей человеческих неврозов. Для истерии характерна, например, сверхценная идея, занимающая господствующее положение в жизни больного. Истерики навязывают среде свою версию истолкования внешних событий. Он выраженный «социальный эгоист», ожесточенно требующий к себе внимания окружающих, в его поступках отчетливо проступает болезненно гипертрофированная социальная потребность «для себя». Истерию, или невроз навязчивых состояний, дает патология взаимоотношений в системе лобная кора – гипоталамус (гипоталамический вариант истерии, или невроз, в случае преимущественного дефекта лобной коры).

При неврастении ослабление волевых побуждений сочетается с обостренной чувствительностью и раздражительностью. Любое неожиданное событие: стук в дверь, телефонный звонок – способно вызвать состояние тревоги, сердцебиение, потливость, мышечный тремор. К неврастению приводит вызванном заболеванием нарушение функций системы височная кора – миндалевидный комплекс, который, как правило, не затрагивает высших интеллектуальных функций, что свидетельствует о полноценной деятельности структур новой коры. Вовлечение в патологический процесс передних отделов (лобной коры) в сочетании с нарушением функционирования миндалевидного комплекса ведет к психостенической симптоматике. Характернейшая черта психостении – нерешительность, неспособность быстро принять решение и руководствоваться им (патология миндалевидного комплекса). Этой нерешительности сопутствуют мнительность, навязчивые страхи, ипохондрия. Последняя группа симптомов заставляет думать о дефекте лобных отделов коры. «Биологический эгоизм» психостеника, сосредоточенного на малейших признаках своих внутренних болезненных ощущений, отличается от «социального эгоизма» истерика. Озабоченность своим здоровьем, при которой весь мир оказывается заслонен малейшими признаками (подчас несуществующих!) заболеваний, есть не что иное, как гипертрофированная биологическая потребность «для себя» – основа ипохондрии.

Другое дело – чувство вины, тревога и отчаяние при мысли о том, что «ничего у меня не получается, и ничто мне не удастся». Здесь уже очевидна хроническая неудовлетворенная потребность «для других». Неудовлетворенность потребностей развития, продвижения, улучшения своей жизненной позиции порождает депрессию тоски. Подчеркнем, что потребности осознаются человеком лишь частично и далеко не соответственно их реальному содержанию. Хорошо проявляются лишь признаки чрезвычайного эмоционального напряжения и возникающие вследствие этого компенсаторные и патологические реакции организма. На поздних стадиях заболевания выделяются и структурные признаки нейрогенного поражения тех или иных функциональных систем и составляющих их тканей и органов.

Экспериментаторам и клиницистам давно известны болезни, связанные с нейрогенными дистрофиями в области легких, желудочно-кишечного тракта, сердечно-сосудистой, выделитель-

ной и мочеполовой систем: язвенная болезнь желудка и двенадцатиперстной кишки, ишемическая болезнь сердца, инфаркт миокарда, трофические язвы конечностей и многие другие.

«В случае человека, – писал И.П. Павлов, – надлежит отыскать вместе с больным или помимо него, или даже при его сопротивлении, среди хаоса жизненных отношений те разом или медленно действовавшие обстоятельства и условия, с которыми может быть с правом связано происхождение болезненного отклонения».

Лучше, пожалуй, трудно сказать, и нам остается только добавить, что первейшая задача врача – выяснив причины возникновения болезни, вооружить пациента средствами борьбы с ней. Помимо медикаментозной или нетрадиционной коррекции нарушенных функций, необходимо воздействовать на сознание больного, указать ему пути и способы удовлетворения той или иной потребности или ее замены на другую равноценную с целью снятия эмоционального напряжения и, тем самым, устранения патогенного фактора.



Симонов Пáвел Васи́льевич (урожд. Станкéвич, 20.04.1926 – 06.06.2002) – советский, российский психофизиолог, биофизик и психолог. Академик РАН (1991 г.; академик АН СССР с 1987 г.), доктор медицинских наук (1961 г.), профессор (1969 г.). Лауреат Государственной премии СССР (1987 г., в коллективе) за создание и разработку методов диагностики и прогнозирования состояния мозга человека, премии СМ СССР, премии им. И.П. Павлова (АН СССР, 1979 г.). Удостоен золотой медали РАН им. И.М. Сеченова (1999 г.).

Научные работы П.В. Симонова посвящены физиологии высшей нервной деятельности, то есть изучению мозговых основ поведения. Им создан и экспериментально обоснован потребностно-информационный подход к анализу поведения и высших психических функций человека и животных, который позволил дать естественно-научное обоснование таким ключевым понятиям общей психологии, как потребность, эмоция, воля, сознание.

Междисциплинарный характер исследований П.В. Симонова создаёт основу для комплексного изучения человека физиологами, психологами, социологами, представителями других областей знаний. «Наука опирается на принципы презумпции доказанного... – писал академик П.В. Симонов. – Все остальное принадлежит царству веры, а верить можно во что угодно, поскольку свобода совести гарантируется законом».

Информационная теория Симонова

Симонов попытался в краткой символической форме представить всю совокупность факторов, влияющих на возникновение и характер эмоции. Он предложил для этого следующую формулу[3]:

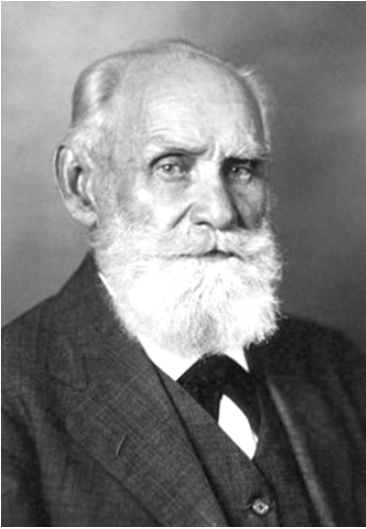
$$\mathcal{E} = f[P, (Ic - In), \dots],$$

где \mathcal{E} – эмоция (её сила, качество и знак); P – сила и качество актуальной потребности; $(Ic - In)$ – оценка вероятности (возможности) удовлетворения данной потребности, на основе врождённого (генетического) и приобретённого опыта; In – информация о средствах, прогностически необходимых для удовлетворения существующей потребности; Ic – информация о средствах, которыми располагает человек в данный момент времени.

Собственно, вышеприведённая формула является очень общей, и в упрощённом виде может быть представлена так:

$$\mathcal{E} = P (Ic - In).$$

Из этой упрощённой формулы хорошо видно, что при $Ic > In$ эмоция приобретает положительный знак, а при $Ic < In$ – отрицательный.



Иван Петрович Павлов (14(26).09.1849 – 27.02.1936) – великий русский учёный, первый русский нобелевский лауреат, физиолог, создатель науки о высшей нервной деятельности, физиологической школы; лауреат Нобелевской премии в области медицины или физиологии 1904 г. «за работу по физиологии пищеварения». Действительный статский советник. Всю совокупность рефлексов разделил на две группы: условные и безусловные.

Награды:

Медаль Котениуса (1903 г.).

Нобелевская премия (1904 г.).

Медаль Копли (1915 г.).

Круновская лекция (1928 г.).

Цитаты И.П. Павлова:

«...я был, есть и останусь русским человеком, сыном Родины, её жизнью прежде всего интересуюсь, её интересами живу, её достоинством укрепляю своё достоинство».

«Мы жили и живём под неослабевающим режимом террора и насилия. <...> Я всего более вижу сходства нашей жизни с жизнью древних азиатских деспотий. <...> Пощадите же родину и нас».

Из выступления И.П. Павлова в декабре 1929 г. в первом Медицинском институте в Ленинграде по случаю 100-летия со дня рождения И.М. Сеченова:

Введён в Устав Академии [наук] параграф, что вся работа должна вестись на платформе учения Маркса и Энгельса – разве это не величайшее насилие над научной мыслью? Чем это отличает от средневековой инквизиции? <...> Нам приказывают (!) в члены Высшего ученого учреждения избирать людей, которых мы по совести не можем признать за учёных. <...> Прежняя интеллигенция частью истребляется, частью и развращается. <...> Мы живём в обществе, где государство – всё, а человек – ничто, а такое общество не имеет будущего, несмотря ни на какие Волховстрой и Днепрогэсы».

Из письма министру здравоохранения РСФСР Г.Н. Каминскому от 10 октября 1934 г.:

«К сожалению, я чувствую себя по отношению к Вашей революции почти прямо противоположно Вам. Меня она очень тревожит... Многолетний террор и безудержное своеволие власти превращает нашу азиатскую натуру в позорно рабскую. А много ли можно сделать хорошего с рабами? Пирамиды? Да; но не общее истинное человеческое счастье. Недоедание и повторяющееся голодание в массе населения с их непременными спутниками – повсеместными эпидемиями подрывает силы народа. Прошу меня простить... Написал искренне, что переживаю».

Из письма в адрес СНК от 21 декабря 1934 г.:

Вы напрасно верите в мировую революцию. Вы сеете по культурному миру революцию, а с огромным успехом фашизм. До Вашей революции фашизма не было. Ведь только политическим младенцам Временного правительства было мало даже двух Ваших репетиций перед Вашим Октябрьским торжеством. Все остальные правительства вовсе не желают видеть у себя то, что было и есть у нас, и, конечно, вовремя догадываются применить для предупреждения этого то, чем пользовались Вы, – террор и насилие.

Но мне тяжело не от того, что мировой фашизм попридержит на известный срок темп естественного человеческого прогресса, а от того, что делается у нас, и что, по моему мнению, грозит серьёзной опасностью моей Родине.

«...Россия – такая страна, где хотя бы один человек должен говорить правду. Хоть один такой должен быть». И.П. Павлов передал эту обязанность П.Л. Капице, а тот В.В. Иванову.

«История души человеческой, хотя бы самой мелкой души, едва ли не любопытнее и не полезнее истории целого народа, особенно когда она – следствие наблюдений ума зрелого над самим собою и когда она писана без тщеславного желания возбудить участие или удивление».

М.Ю. Лермонтов

22. ГЕНЫ ВЛИЯЮТ. ЗЕРКАЛЬНЫЕ НЕЙРОНЫ. КРАСОТА И МОЗГ. ПОЛИТОЛОГАМ ПОРА УЧИТЬ ГЕНЕТИКУ (и снова частично А. Марков)

Гены влияют

«Особенности нашей психики зависят от генов (не определяются генами, а именно зависят). Никакого жесткого генетического детерминизма! Гены вообще влияют на фенотип лишь вероятностным образом. Особи с идентичными геномами, даже выращенные в одинаковых условиях, все равно будут чуть-чуть разные. Влияние генов на психические и поведенческие признаки еще менее детерминистично, чем на признаки морфологические и физиологические.

Мозг человека отличается от мозга наших ближайших родственников – шимпанзе и бонобо – в основном размером (он втрое массивнее). Структурные различия, конечно, тоже есть, но они сравнительно невелики и приурочены в основном к отделам, связанным с решением социальных задач. Этот факт наряду со многими другими указывает на то, что Дарвин, по видимому, все-таки был прав, когда говорил, что различия между интеллектом человека и «высших животных» имеют не столько качественный, сколько количественный характер: обезьяны обладают теми же умственными способностями, что и мы, только эти способности у них развиты слабее.

«Крайне интересно было бы узнать, хотя и не совсем понятно, какие эксперименты нужно поставить для получения ответа на подобный вопрос, как бы работало человеческое мышление и как была бы устроена наша речь, в особенности ее грамматическая структура (здесь, к слову, стоит упомянуть и о том, что, согласно известной теории Ноама Хомского, в честь которого не без иронии был назван вышеупомянутый шимпанзе Ним Чимпски, у человека имеется «врожденная грамматика» – некое генетически обусловленное представление о грамматической структуре речи, хотя эта теория в настоящее время не разделяется большинством экспертов), и как развивалась бы человеческая культура и наука, если бы наша эволюция не остановилась на достигнутом уровне развития кратковременной рабочей памяти, соответствующем, по мнению большинства психологов, ОКРП ~ 7, хотя некоторые, как отмечалось выше, предпочитают более осторожно говорить о величине 7 ± 2 , о чем можно прочесть в недавно вышедшей книге известного психолога и нейробиолога Криса Фрита «Мозг и душа» (2010 г.), которую я настоятельно рекомендую всем, кто интересуется современными достижениями науки о мозге, а продвинулась несколько дальше, обеспечив нас по крайней мере такой величиной ОКРП, при котором произнесение и понимание сложных и длинных, но при этом логично структурированных, внутренне непротиворечивых и даже в какой-то мере осмысленных фраз, подобных этой, не говоря уже о кратких конструкциях с повышенной степенью рекурсивности вроде «напуганный преследуемой выгуливаемой погруженным в рекурсивные размышления человеком собакой кошкой воробей улетел» (это калька с английского примера, обнаруженного автором в книге С.А. Бурлак «Происхождение языка» и ввергнувшего его в глубокую рекурсивную задумчивость: The cats the dog the men walk chases run away. По-английски такие фразы выглядят еще ужаснее, чем

по-русски, из-за отсутствия грамматических «подсказок» в окончаниях слов), не составляло бы труда» (Марков А.В. «Эволюция человека»).

ОКРП – объем кратковременной рабочей памяти. Говоря упрощенно, это та часть памяти, в которой хранится и обрабатывается информация, непосредственно необходимая субъекту в данный момент. Это то, на чем сосредоточено наше внимание. В вашей КРП сейчас, скорее всего, находится несколько последних слов этого текста – примерно столько, сколько вы сможете повторить с закрытыми глазами, не задумываясь и без запинки.

Универсальный аппарат для принятия решений

«Психика, она же душа, является результатом работы мозга. Мозг сделан из нервных клеток – нейронов. Мы не будем вдаваться в тонкие детали устройства нервных клеток, ведь эта книга не учебник по нейробиологии.

Нейрон – универсальное живое устройство для принятия решений. Это главное, что нам следует о нем знать.

Я чуть было не назвал его простейшим или элементарным устройством, но вовремя вспомнил, что есть и более простые биологические структуры, способные к принятию решений: разнообразные биохимические и генетические «переключатели» (Казанцева, 2011 г.). Однако нейроны действительно являются элементарными устройствами – в том смысле, что из них (в отличие от генетических переключателей) можно собрать вычислительную схему или аппарат для принятия решений практически любой степени сложности и эффективности.

На самом деле, конечно, все гораздо сложнее (это моя «любимая» фраза). Ее можно вставлять после почти каждого высказывания, относящегося к сфере естественных наук, и это будет правдой. Конечно, жизнь – штука очень сложная, поэтому любой биологический вывод, теория или модель всегда упрощает реальность. В устах опытных демагогов фразы типа «вы все упрощаете», «в действительности все сложнее» (вариант – «не занимайтесь редукционизмом!») иногда становятся чем-то вроде универсального оружия против любых научных идей. Защититься от таких умников помогает следующая байка, восходящая к одному из рассказов Борхеса (Фрит, 2010 г.). Говорят, что в некоей стране географы приобрели настолько большое влияние, что им предоставили возможность сделать самую подробную в мире географическую карту. По размеру она была равна всей стране и совпадала с ней во всех деталях. Пользы от этой карты не было никакой. Описанная картина так сильно упрощена, что автор даже опасается, как бы специалисты нейробиологи не обвинили его в дезинформировании населения. Но это, напомню, не учебник, а для понимания того, о чем пойдет речь далее, сказанного достаточно. Более полную и подробную информацию о работе нейронов читатель может без труда найти в соответствующих учебниках, справочниках или в интернете. Достаточно сделать поиск по словам «нейрон», «синапс» и «потенциал действия».

Сегодня, когда каждый человек хоть немного, но знаком с принципами работы компьютеров, никому из прочитавших это описание, наверное, не нужно долго объяснять, что нейрон – превосходный элементарный блок для сборки вычислительных устройств любой степени сложности. Даже таких сложных, как человеческий разум.

В мозге человека, по современным оценкам, примерно 100 млрд (10^{11}) нейронов (в мозге мыши – около 10^7 , в мозге мушки дрозофилы – примерно 10^5). Типичный нейрон имеет от 10^3 до 10^4 синапсов. Итого получаем 10^{14} – 10^{15} синапсов на душу населения. Даже самое примитивное, сверхупрощенное и сверхсжатое описание структуры синаптических связей мозга, отражающее только то, какие два нейрона контактируют при помощи данного синапса (указываем для каждого синапса два числа – порядковые номера нейронов, по 4 байта на номер), едва поместится на жесткий диск емкостью в 1000 терабайт. Это называется петабайт, и таких дисков, насколько мне известно, еще не делают. Мозг – серьезное устройство, современным компьютерам до него очень далеко.

Построение хорошей, качественной модели (животные, чей мозг делает некачественные, лживые модели реальности, отсеиваются отбором) позволяет нам надеяться, что большинство наших представлений об окружающем мире более-менее правдивы (см. главу

«Происхождение человека и половой отбор», кн. 1. А.В. Марков). Впрочем, для отбора важна не истинность модели, а лишь ее практичность. Если способность в каких то ситуациях обманываться (не случайным, конечно, а неким вполне определенным образом) повышает репродуктивный успех, такая способность будет поддержана отбором, и мы будем систематически обманываться. Например, для выживания палеолитическому человеку незачем было понимать, что скалы в основном состоят из пустоты. С такой «чрезмерно правдивой» моделью реальности недолго и голову расшибить. Поэтому мы воспринимаем камни как непроницаемые, сплошные, плотные объекты. Что не совсем правдиво с точки зрения физики, зато очень практично. Можно просчитать оптимальную тактику своего поведения, то есть последовательность нервных импульсов, которые нужно послать мышцам, чтобы совершить нужные телодвижения. Например, убежать как можно быстрее и дальше, если распознанная «картинка» идентифицирована как нечто опасное – скажем, крупный хищник. Физическая природа «картинки», как и всего остального, что происходит в нашей душе, – это определенный рисунок (паттерн) возбуждения нейронов, все те же нервные импульсы, пробегающие по определенным путям в сплетениях аксонов и дендритов. Чтобы надолго запомнить данную картинку – скажем, тигриную морду, выглянувшую из-за пальмы, – нужно просто усилить синаптическую проводимость вдоль всего пути следования импульсов, формирующих именно эту картинку. И тогда достаточно будет легкого напоминания – запах, шорох, пара полосок, желтый глаз, – и по проторенному пути сразу пробегут такие же нервные импульсы, как при первой встрече. Возникнет мысленный образ тигра.

Мы рождаемся не с кашей в голове. Мы рождаемся с нейронами мозга, уже каким-то образом соединенными между собой в громадную, сложнейшую сеть. Каким именно образом они соединятся в процессе эмбрионального развития, зависит от генов. Какие из бесчисленного множества возможных путей для прохождения нервных импульсов будут от рождения более проторенными, чем другие, тоже зависит от генов. Из этого неизбежно следует, что по крайней мере некоторые наши знания вполне могут быть врожденными. Для того чтобы от рождения иметь в голове образ тигра – обладать врожденным знанием о том, как выглядит тигр, – нужно лишь одно. Нужно, чтобы отбор закрепил в нашем геноме такие мутации генов – регуляторов развития мозга, которые от рождения обеспечивали бы повышенную синаптическую проводимость вдоль того пути следования нервных импульсов, по которому они пробегали при встрече с тигром у наших предков, еще не имевших этого врожденного знания.

Разумеется, знания могут быть не полностью, а лишь отчасти врожденными. Это значит, что соответствующий нейронный маршрут будет от рождения проторен лишь отчасти, недостаточно сильно или не на всем протяжении. Тогда нужно будет немного «довести» врожденное полужнание при помощи обучения. Частичная врожденность, конечно, делает обучение гораздо более легким и быстрым.

По всей видимости, у людей действительно есть кое-какие врожденные «заготовки» зрительных образов: например, новорожденные дети иначе реагируют на вертикальный овал с большой буквой Т посередине (похоже на лицо), чем на другие геометрические фигуры. Удивительная легкость, с которой маленькие дети овладевают речью, тоже объясняется наличием некоего врожденного «полужнания», то есть предрасположенности к легкому усвоению знаний определенного рода.

Могут существовать и такие знания, которым очень трудно или даже вовсе невозможно научиться, потому что врожденная структура межнейронных связей не предусматривает такой возможности.

Нейроны мозга от рождения соединены между собой лишь каким-то одним способом из бесконечного числа возможных. Из этого следует, что любое животное, включая человека, чему-то научиться может, а чему-то – нет. Одни науки даются нам легко, другие трудно. Абсолютно универсальных мозгов не бывает. Любой мозг специализирован, «заточен» под решение определенного – пусть и очень широкого – круга задач. Он принципиально не способен решать задачи, лежащие за пределами этого круга. Возможно, человеческий мозг более универсален, чем мозг других животных, но абсолютная универсальность – не более чем несбыточная мечта.

Гиппокамп – часть так называемой лимбической системы мозга. Выполняет несколько важных функций, включая управление запоминанием пережитых событий. В том числе путем многократного «прокручивания» дневных воспоминаний во время сна. Люди с удаленным гиппокампом помнят все, что было с ними до операции, но не могут запомнить ничего нового.

Пирамидальные нейроны – особый тип нейронов, которых очень много в коре головного мозга млекопитающих. Отличаются пирамидальной формой «тела» и наличием двух групп дендритов – базальной и апикальной. По-видимому, именно пирамидальные нейроны отвечают за самые сложные мыслительные процессы и высшие когнитивные функции.

Зеркальные нейроны

Некоторые учёные называют открытие зеркальных нейронов самым главным событием в нейробиологии за последние двадцать лет. А затраты на исследования в области зеркальных нейронов, по подсчётам журнала *The Economist*, ежегодно растут едва ли не в геометрической прогрессии, а самому направлению прочат роль одного из основных трендов в развитии науки в ближайшие годы. Впервые зеркальные нейроны были обнаружены в 90-х годах у обезьян, а позднее и у человека группой итальянских исследователей во главе с Джакомо Риццолатти.

Зеркальные нейроны – нейроны головного мозга, которые возбуждаются как при выполнении определённого действия, так и при наблюдении за выполнением этого действия другим существом. Такие нейроны были достоверно обнаружены у приматов, утверждается их наличие у людей и некоторых птиц. Зеркальные нейроны – группа клеток в человеческом мозгу, дающих разряд, когда человек либо бьёт по футбольному мячу, либо видит, как по нему бьёт другой, либо даже просто произносит или слышит слово «Удар!».

Имитация. Зеркальные нейроны – это клетки, которые заполняют разрыв между «я» и другими, обеспечивая «симуляцию» чужих действий. Имитация и расположение к человеку часто идут рука об руку. Когда кто-то нас имитирует, это располагает нас к нему.

Младенец и мать зеркалят друг друга, запечатляют образы, действия, эмоции. А маленькие дети приходят в восторг, когда взрослые принимают их имитировать.

Между родителями и грудным ребёнком то и дело происходит взаимная имитация. Зеркально-нейронная система осуществляет внутреннюю проекцию (психоаналитик сказал бы: интроекцию) других людей в наш мозг.

Мы пользуемся имитацией даже на экзаменах. Так, проводились исследования со студентами. Студентов просили просто подумать об университетских профессорах, когда они испытывали затруднения на экзамене, и студент(ка) становился(ась) умнее. Так наверное, и каждый из нас, когда нам становится трудно, думаем о любимом человеке и становится легче, решение приходит, настроение улучшается. Не зря в родильной палате, в экстренных ситуациях люди зовут маму... Люди давно используют это свойство человеческой психики, не давая этому определения.

Исследованиями доказано, что имитация может делать нас медлительными, быстрыми, сообразительными, глупыми, способными к математике, неспособными к математике, услужливыми, грубыми, вежливыми, многоречивыми, нетерпимыми, агрессивными, склонными к сотрудничеству, склонными к соперничеству, уступчивыми, неуступчивыми, консервативными, забывчивыми, осторожными, беспечными, опрятными, неряшливыми.

Но зеркальные нейроны способствуют автоматическим имитационным воздействиям, которые мы испытываем зачастую неосознанно и которые ограничивают нашу самостоятельность, заставляя нас подчиняться мощным социальным импульсам. На способности к имитации держится мода, реклама, продажи, преподавание... Вспоминается фраза из песни 1090-х гг. – «Смотри на меня, делай как я!».

Эмпатия. Деятельностью зеркальных нейронов объясняется эмпатия. Эмпатия – это способность поставить себя на место другого человека, понять эмоции и намерения, чувства и желания своего собеседника, что делает нас социально интегрированными и более успешными. Чтобы понять, к примеру, чувства влюблённой девушки, другой человек должен сам

войти в роль влюблённого. Два человека, находящиеся лицом к лицу и копирующие друг друга, словно перед зеркалом, используют один и тот же участок пространства. Мы «делим» это пространство и благодаря этому становимся в прямом смысле ближе друг к другу. Одна из первичных целей имитации – способствовать выраженной в телесных формах близости, «интимности» между «я» и другими. С помощью зеркальных нейронов мы и в других людях видим себя. Мы воспроизводим чужие движения как особую форму внутренней имитации, как если бы мы находились внутри другого человека. Эмпатия позволяет нам делиться эмоциями и опытом, иметь общие нужды и цели.

Эмпатия хорошо развита у людей следующих профессий – врачей, психологов, актёров... Зеркальные нейроны вашего собеседника, как и ваши собственные, распознают фальшь, ибо они способны воспринимать более тонкие невербальные сигналы. Зеркальность при взаимодействии истолковывается как выражение большей солидарности, вовлечённости, близости. Мы понимаем чужие состояния, в буквальном смысле вживаясь в них. И здесь стоит отметить недооцененную важность позитивного мышления. Иными словами – повернитесь лицом к миру, и мир повернется лицом к вам.

У всей этой, казалось бы, «магии», есть осязаемая биологическая основа. Наш мозг способен зеркально воспроизводить глубочайшие аспекты чужого внутреннего состояния на тонкострунном уровне **ОДНОЙ КЛЕТКИ!**

Любовь зеркалит любовь, и её становится больше. Все мы были когда-то влюблены. И удивительным образом мы знаем о том, что человек в нас влюблён, мы способны улавливать любовь на тонком уровне. Часто психологи призывают менять свою жизнь и окружать себя любимыми людьми, теми людьми, которые вам близки на глубинном ценностном уровне, способные разделять ваши устремления, чувства и эмоции. И расставаться с людьми, которые тормозят, саботируют, крадут, мешают жить и радоваться. Не всё так просто, но хочется с ними согласиться. От того, в каком окружении вы живёте, зависит качество вашей жизни, ваша успешность и даже здоровье. Наверное, каждому из нас хочется жить с любящим человеком, улыбающимся вам в лицо, нежно смотрящим, понимающим...

Исследования нейробиологов добавляют веса в сторону выбора и выражения любви и радости. Так, было установлено, что пары с лучшей моторной координацией отличаются самым высоким уровнем эмоциональной близости, теплоты (наклон тела вперёд, улыбки, кивки) и побуждают окружающих к таким же действиям. Зеркальные нейроны разряжаются и на звуки, выражающие удовольствие и торжество, – например, смех и радостные возгласы, – у нас активизируют моторные области мозга, управляющие улыбкой.

Так что выбор, что транслировать и что отражать только за Вами!

Чем сильнее люди нравятся друг другу, тем больше, как правило, они подражают один другому. Потому супруги, долго прожившие друг с другом, похожи друг на друга лицом. Чем выше качество супружеских отношений, тем выше лицевое сходство.

Имитация и координация – тот клей, что скрепляет людей. Это облегчает вхождение человека в окружающую его социальную обстановку, помогает извлекать из своего положения максимум возможного.

И даже если вы работаете с тяжёлыми людьми, больными и расстроенными, то ваше отношение и состояние любви способно изменить окружающих.

Мы созданы для эмпатии, и это должно вдохновить нас на новые шаги по формированию нашего общества с тем, чтобы людям в нём лучше жилось. Взаимодействуя, мы делимся эмоциями и намерениями.

О чём же говорит нам наше тело, которое содержит нейроны – зеркала?

Мы все связаны друг с другом на базовом, дорефлективном, глубоком уровне!

Долговременная память у высших животных делится на сознательную (эксплицитную, или декларативную) память о событиях, фактах, ощущениях и бессознательную, имплицитную, или процедурную, память (например, о двигательных навыках). Процедурная память хранится в моторной коре (моторная кора – часть коры головного мозга, отвечающая за планирование и осуществление произвольных движений). Моторная кора тянется полосой вдоль

заднего края лобных долей, там, где они граничат с теменными долями и мозжечком. В ее формировании участвуют такие отделы мозга, как стриатум, или полосатое тело, и миндалина (миндалевидное тело). Декларативная память локализуется в тех отделах коры, которые отвечают за восприятие соответствующих сигналов, – например, память об увиденном хранится в зрительной коре. Ключевым отделом мозга, необходимым для запечатления приобретенного опыта в виде долговременной декларативной памяти, является гиппокамп.

Установлено, что во сне происходит закрепление обоих типов долговременной памяти, причем декларативная память закрепляется в фазе медленного сна, а процедурная – в фазе быстрого сна (так называемого REM сна, от слов rapid eye movement – «быстрое движение глаз»).

Разумеется, для того чтобы осуществлять подобные аналитические процедуры – и в результате совершать вполне осмысленные, адаптивные поступки, – вовсе не нужно обладать сознанием (в одной англоязычной научно-популярной книге, к сожалению, не могу вспомнить, в какой именно, мне попалась очаровательная (и при этом абсолютно верная) фраза: «Чтобы учиться, не нужно обладать ни разумом, ни сознанием»). По-моему, она подошла бы в качестве девиза многим образовательным учреждениям. Даже очень простые нейронные контуры могут справляться с такой работой, совершая ее автоматически, без всякого осознания или рефлексии, подобно интерактивной компьютерной программе. Эта простая мысль до сих пор кажется чуждой многим людям, что вообще-то немного странно в наш компьютерный век.

Кратковременная рабочая память (КРП) – это та часть памяти, в которой хранится и обрабатывается информация, непосредственно необходимая субъекту в данный момент. Это то, на чем сосредоточено наше внимание. Повторимся, в вашей КРП сейчас, скорее всего, находится несколько последних слов этого текста – примерно столько, сколько вы сможете повторить с закрытыми глазами, не задумываясь и без запинки. Ключевое значение имеет емкость КРП, измеряемая количеством идей, образов или концепций, с которыми исполнительный компонент рабочей памяти может работать одновременно. Компьютерным аналогом КРП является не оперативная память (которая больше похожа на ДРП, хотя сходство очень неполное), а регистры процессора.

Эту важнейшую характеристику рабочей памяти называют объемом кратковременной рабочей памяти (ОКРП) (по-английски – short term working memory capacity, STWMC). Многочисленные эксперименты показали, что у человека ОКРП ~ 7 (хотя некоторые исследователи склоняются к более осторожным оценкам и предпочитают говорить о величине 7 ± 2). Большинство других животных не может обдумывать комплексно, как часть единой логической операции, более одной, от силы двух идей (ОКРП $<$ или $= 2$).

У наших ближайших родственников шимпанзе и бонобо ОКРП ≤ 3 . Одновременное оперирование тремя понятиями – предел возможностей для современных нечеловеческих обезьян, а также, скорее всего, для последнего общего предка шимпанзе и человека, жившего 6–7 млн лет назад (иначе пришлось бы предполагать умственную деградацию в линии шимпанзе, а для этого нет серьезных оснований).

(Напоминание! По-видимому, правое полушарие стремится создать целостный образ, максимально близкий к реальности, а левое – схематичный, бедный деталями, зато простой и удобный для мысленного оперирования).

Эффект Болдуина: обучение направляет эволюцию. Эффект Болдуина может ускорить развитие интеллекта благодаря положительной обратной связи. Чем выше интеллект и способность к обучению, тем выше вероятность, что животное изобретет какую-то новую, особо удачную манеру поведения. Чем чаще будут изобретаться отдельными особями новые полезные хитрости, чем больше их будет в поведенческом репертуаре популяции, тем полезнее будет способность к быстрому обучению, быстрому схватыванию, эффективному перенятию чужого опыта. В такой ситуации отбор может начать поддерживать закрепление не только какого-то конкретного нового приема или действия (залезания на деревья или переваривания молока), но и более общей, генерализованной способности быстрее соображать и учиться. Может начаться отбор на «общий интеллект».

Прогрессивное развитие мозга и умственных способностей у приматов неразрывно связано с общественным образом жизни, с необходимостью предвидеть поступки соплеменников, манипулировать ими, учиться у них, а также оптимально сочетать в своем поведении альтруизм с эгоизмом. Такова точка зрения большинства специалистов на сегодняшний день. Идея о том, что разум у приматов развился для эффективного поиска фруктов или, скажем, выковыривания пищи из труднодоступных мест (гипотеза экологического интеллекта), сейчас имеет мало сторонников. Она не может объяснить, зачем приматам такой большой мозг, если другие животные (скажем, белки) отлично справляются с очень похожими задачами по добыче пропитания, а мозг у них при этом остается маленьким. Намного лучше обоснована гипотеза социального интеллекта (или «социального мозга»). Ее называют также гипотезой макиавеллиевского интеллекта в честь великого итальянского политолога Никколо Макиавелли (1469–1527), которому приписывают такие афоризмы, как «цель оправдывает средства» и «люди всегда дурны, пока их не принудит к добру необходимость».

Альтруисты процветают благодаря статистическому парадоксу

Могут ли быть в природе ситуации, когда альтруисты ни прямо, ни косвенно не получают никакой выгоды от своего альтруизма и совсем не умеют бороться с обманщиками, но альтруизм тем не менее развивается и процветает?

Теоретически это возможно, о чем в свое время говорили и Джон Холдейн, и Уильям Гамильтон. Даже если быть эгоистом, безусловно, выгоднее, чем альтруистом, развитие альтруизма может идти за счет той пользы, которую получает от альтруистов вся популяция в целом, в сочетании со странным статистическим эффектом, который называется *парадоксом Симпсона*.

В результате совместного действия этих двух факторов может возникнуть ситуация, которая интуитивно кажется невозможной: в каждой отдельной популяции процент носителей «генов альтруизма» неуклонно снижается (альтруисты всегда проигрывают в конкуренции своим эгоистичным сородичам), но если мы рассмотрим все популяции в целом, то окажется, что в глобальном масштабе процент альтруистов растет. *Принцип действия парадокса*.

Главный вывод, который можно сделать из этой работы, состоит в том, что межгрупповая конкуренция – мощнейший стимул для развития внутригрупповой кооперации и альтруизма.

Аналогии с человеческим обществом вполне очевидны. Ничто так не сплачивает коллектив, как совместное противостояние другим коллективам. Множество внешних врагов (N) – обязательное условие существования тоталитарных империй и надежное средство «сплочения» населения в альтруистический муравейник.

При помощи математических моделей было показано, что альтруизм мог развиваться только в комплексе с ксенофобией – враждебностью к чужакам.

Получается, что такие, казалось бы, противоположные свойства человека, как доброта и воинственность, развивались в едином комплексе: ни та, ни другая из этих черт по отдельности не способствовала бы репродуктивному успеху их обладателей.

Реципрокность (от лат. *reciprocus* – возвращающийся, обратный, взаимный, чередующийся)

Естественные науки вообще слабо приспособлены для выяснения вопроса, что хорошо, а что плохо. Их главная задача – расшифровка причин и механизмов наблюдаемых явлений, а не вынесение им моральных оценок (это относится и к эволюционной психологии. Если выясняется, что та или иная особенность нашего поведения имеет эволюционные корни, это абсолютно ничего не говорит о том, хорошим или плохим мы должны считать такое поведение сегодня. Скажем, моногамия и ксенофобия – два человеческих свойства с одинаково глубокими и прочными эволюционными корнями. При этом первое из них, по-моему, довольно хорошее, а второе – отвратительное).

Однако до сих пор не только дилетанты, но и некоторые эксперты твердо убеждены, что эмоции, интуитивные побуждения и прочие природные позывы – вполне надежные критерии истинности в этических вопросах. Эта точка зрения основана на предположении, или, скорее, на

интуитивной убежденности в том, что первая, непосредственная, не затуманенная всяческими умствованиями эмоциональная реакция и есть самая верная, потому что она идет «из глубины души» и несет в себе «глубинную мудрость». Голос сердца, одним словом. На это особенно нападают противники клонирования, стволовых клеток, искусственного осеменения и других технологий, «покушающихся на самое святое» и «вызывающих естественное отторжение».

Тем временем дотошные нейробиологи проникают все глубже в пресловутые «глубины души», и то, что они там находят, не всегда похоже на мудрость, которую следует почитать превыше рассудка.

Мытье рук порождает в нашем сознании обобщенную идею освобождения от уз прошлого («начало с чистого листа»), что и приводит к снижению беспокойства по поводу былых грехов или ошибочного выбора. В обоих случаях когнитивный диссонанс, требующий компенсации путем пересмотра собственных взглядов и ценностей, может порождаться тем, что как безнравственные, так и просто ошибочные действия угрожают нашей самооценке. Ведь мы склонны считать себя хорошими и умными, то есть высокоморальными и способными принимать правильные решения в спорных ситуациях.

Такие исследования наглядно показывают, насколько необъективен и нелогичен наш мыслительный аппарат, для которого чисто внутренние, «технические» потребности (такие как потребность сохранения высокой самооценки) подчас важнее рациональности и объективной картины мира (чувство собственной важности – это гипертрофированная потребность в поддержании высокой самооценки). Возможно, именно поэтому я меньше доверяю мнению коллег, страдающих повышенной серьезностью и ЧСВ (чувство собственной важности), по сравнению с теми, кто способен пошутить над собой и своими теориями. Н.В. Тимофеев-Ресовский говорил: «Не занимайся наукой со звериной серьезностью, науку надо делать весело и красиво, иначе нечего в нее и соваться». Естественно предположить, что в эгалитарном обществе должно быть меньше предпосылок для развития ЧСВ по сравнению с обществом, основанном на жесткой иерархии. Это одна из причин, в силу которых различия в политической организации общества могут влиять на развитие науки). Наши, на первый взгляд, логичные умозаключения порой зависят от физических и физиологических факторов, не имеющих ни малейшего отношения к делу. Именно поэтому, кстати, не следует осуждать тех ученых, которые при помощи хитроумных и дорогостоящих экспериментов порой подтверждают вещи, кажущиеся самоочевидными. Подобная «очевидность» немногого стоит, а научный метод как раз для того и придуман, чтобы преодолевать несовершенства нашего природного мыслительного аппарата» (Марков А.В. «Эволюция человека»).

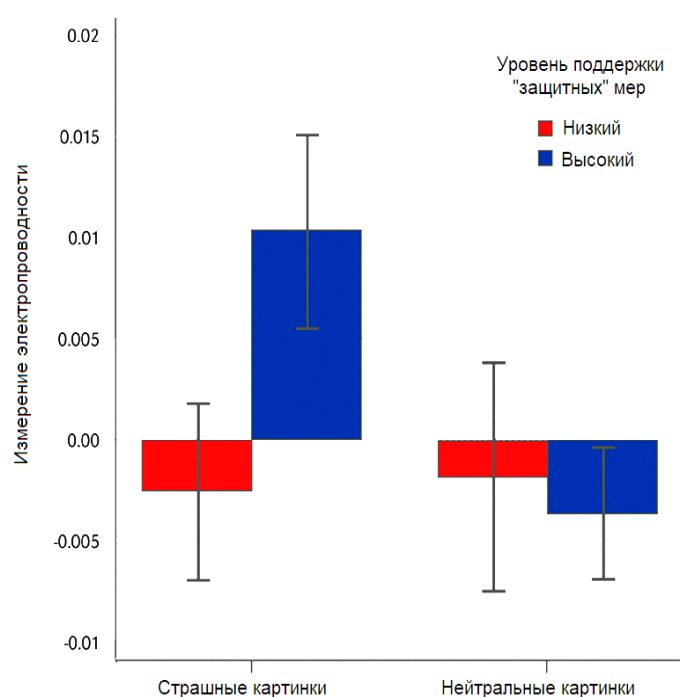
Политологам пора учить генетику

«Политические пристрастия. Исследования последних лет показали, что политические пристрастия людей определяются не только рассудочными умозаключениями. Эти пристрастия, по-видимому, уходят корнями в более глубокие слои психики и даже в физиологические свойства организма. Было показано, например, что страх заболеть коррелирует с негативным отношением к иностранцам (Faulkner et al., 2004), а приверженность «своей» социальной группе (например, патриотизм) – с развитостью чувства отвращения (Navarrete, Fessler., 2006). Выяснилось также, что у консерваторов (здесь и далее эти термины используются в том смысле, в каком их принято употреблять в США. Для американцев «консерватор» – это противник аборт, гей-парадов, исследований стволовых клеток, генно-модифицированных продуктов, иммигрантов и теории Дарвина, сторонник войны в Ираке и Афганистане и роста расходов на вооружение) по сравнению с либералами в среднем больше размер миндалевидных тел. Эти подкорковые участки мозга играют важную роль в эмоциональной регуляции поведения и связаны, в частности, с чувством страха. Зато передняя поясная кора у консерваторов развита слабее, чем у либералов. Этот участок коры выполняет много разных функций, в том числе он связан с любовными переживаниями, сексуальным возбуждением и сознательным восприятием боли (как своей, так и чужой).

Недавно американские психологи исследовали зависимость политических пристрастий от степени выраженности физиологических реакций на испуг (Oxley et al., 2008). Эти реакции имеют адаптивный характер, поэтому их легко интерпретировать с позиций эволюционной психологии.

У людей, озабоченных общественной безопасностью, физиологическая реакция на оба вида пугающих стимулов оказалась более сильной. Например, при виде страшных картинок у них возрастала электропроводность кожи, тогда как у лиц с противоположными политическими взглядами этого не наблюдалось (см. рисунок).

Этот результат остался статистически значимым и после того, как были учтены дополнительные факторы, способные повлиять на политические взгляды: пол, возраст, доход и уровень образования испытуемых (расовую и этническую принадлежность учитывать не пришлось, поскольку все добровольцы были белыми американцами неиспанского происхождения).



Скорее дело тут в наследственных, генетически обусловленных вариациях, в активности некоторых участков мозга, в особенности миндалины, которую иногда называют «центром страха».

У людей, озабоченных общественной безопасностью, наблюдается сильная физиологическая реакция (рост электропроводности кожи) на пугающие стимулы. По рисунку из Oxley et al., 2008.

Ранее было показано (Martin et al., 1986), что склонность к тем или иным политическим взглядам больше зависит от наследственности, чем от воспитания. Известно, что вариации в активности миндалины также имеют во многом наследственную (генетическую) природу. У консерваторов миндалина в среднем крупнее, чем у либералов (см. выше). Так что картина складывается вполне определенная.

Если наши политические взгляды действительно обусловлены физиологией и наследственностью, то становится понятно, почему люди так упорно держатся за свои убеждения и почему так нелегко добиться политического согласия и единодушия в обществе. И я не удивлюсь, если скоро за прогнозами результатов выборов станут обращаться не к социологам, а к специалистам по популяционной генетике.

Аристотель, которого считают основоположником научной политологии, называл человека «политическим животным». Очень неплохое определение даже по меркам сегодняшнего дня! Однако до самых недавних пор политологи не рассматривали всерьез возможность влияния биологических факторов (таких как генетическая вариабельность) на политические процессы. Политологи разрабатывали свои собственные модели, учитывающие десятки различных социологических показателей, но даже самые сложные из этих моделей могли объяснить не более трети наблюдаемой вариабельности поведения людей во время выборов. Чем объясняются остальные две трети? Похоже, ответ на этот вопрос могут дать нейробиологи и генетики.

Крупномасштабные политические проблемы впервые встали перед людьми совсем недавно в эволюционном масштабе времени. Судя по всему, для решения мировых проблем мы используем старые, проверенные генетические и нейронные контуры, которые развились в ходе эволюции для регуляции наших взаимоотношений с соплеменниками в небольших коллективах. А если так, то для понимания политического поведения людей совершенно недостаточно учитывать только социологические данные. Политологам пора объединить свои усилия со специалистами по генетике поведения, нейробиологами и эволюционными психологами (Fowler, Schreiber, 2008).

Первые научные данные, указывающие на то, что политические взгляды отчасти зависят от генов, были получены в 1980-е годы (Martin et al., 1986), но поначалу эти результаты казались сомнительными. Убедительные доказательства наследуемости политических убеждений, а также других важных личностных характеристик, влияющих на политическое и экономическое поведение, удалось получить за последние 5–6 лет в ходе изучения большого количества пар близнецов (Alford et al., 2005). Было показано, что склонность людей вступать в те или иные политические партии отчасти наследуется и даже результаты выборов могут в известной мере зависеть от генотипа голосующих. **По-видимому, не менее трети вариативности по политическим взглядам определяется генами, около половины – факторами среды, различающимися для близнецов из одной пары, и лишь около 1/6 – общими для близнецов условиями воспитания в семье.**

Ни большое число друзей, ни наличие аллеля 7R по отдельности не делают человека либералом. Однако вместе эти два фактора – генетический и социальный, врожденный и средовой (*количество друзей обладает низкой наследуемостью, то есть этот признак мало зависит от генов*) – оказывают существенное влияние на политические взгляды.

Авторы по-честному отмечают, что подобные новаторские результаты, как правило, начинают считаться твердо доказанными лишь после того, как несколько исследовательских групп независимо подтвердят их на разных выборках. Пока же, по мнению авторов, лучше не объявлять на весь мир об «открытии гена либерализма» (что, впрочем, уже успели сделать некоторые журналисты). Главная ценность исследования в том, что оно наглядно продемонстрировало специфическое взаимодействие между генетическими и социальными факторами, совместно влияющими на формирование политических взглядов.

Мы уже говорили выше о том, что наличие у человеческого поведения тех или иных причин (в том числе нейробиологических и генетических) не снимает с нас ответственности за свои поступки. Человеческий интеллект достаточно развит для того, чтобы понимать, какое поведение является общественно допустимым, а какое нет. Понятия «ответственность» и «вина» не являются абсолютными, они не даны нам свыше, более того – попытки их абсолютизации неизбежно сталкиваются с серьезными логическими трудностями (как и в случае со «свободой воли»). Они, тем не менее, необходимы для нормальной жизни общества. Что поделаешь, мир несправедлив, и генетический полиморфизм людей – яркое тому подтверждение. Кому-то больше повезло с генами, кому то меньше; кому-то приятно совершать хорошие поступки, кому то приходится себя заставлять. Но спрос со всех один, и это правильно. Приведу один наглядный пример. Знаете ли вы, что генетики нашли в геноме человека фрагмент, присутствие которого в несколько раз повышает вероятность того, что человек станет убийцей? Такой фрагмент действительно найден, и статистические данные, подтверждающие его влияние на вероятность совершения тяжких преступлений, обширны и убедительны. Значит ли это, что мы должны давать поблажку преступникам – обладателям этого генетического фрагмента? Судить их менее строго? Ведь они не виноваты, что им достался такой геном. Им действительно труднее воздерживаться от убийств, чем остальным людям. Или, может быть, нужно срочно разработать какие то медицинские средства, препятствующие работе этого генетического фрагмента? Подозреваю, что правильный ответ на все эти вопросы – твердое «нет». Почему – станет ясно каждому, когда я скажу, как называется этот фрагмент генома. Он называется игрек хромосома» (Марков А.В. «Эволюция человека»).

Красота и мозг

(Частично с использованием одноименной статьи С. Добрынина)

Похожа ли математическая красота на художественную, и можно ли найти отдел человеческого мозга, отвечающий за ее восприятие?

Совместное исследование нейробиологов и математиков, проведенных в последние годы, показало, что восприятие «красивых математических формул» затрагивает тот же отдел мозга, что и восприятие живописи и музыки. Эти работы стали одной из первых попыток разобратся с понятием математической красоты с помощью строгого научного метода.

Красота и вероятность

Однажды у известного математика, специалиста в области динамических систем Анатолия Вершика брали интервью. Корреспондент попросил написать на доске какую-нибудь красивую формулу – для фона. Вершик написал формулировку Большой эргодической теоремы – широкого обобщения закона больших чисел. Вот как этот закон выглядит:

$$\varphi_n(x) := \frac{1}{n} \sum_{j=0}^{n-1} \varphi(f^j(x)) \xrightarrow{n \rightarrow \infty} \bar{\varphi}(x).$$

Основная часть формулировки Большой эргодической теоремы (она же теорема Биркгофа – Хинчина).

Эта странная формула отражает закон, который объясняет, что суммарный эффект большого числа случайных событий мало зависит от исхода каждого отдельного из них. Подброшенная монета может выпасть орлом или решкой – это случайность, но если подбросить монету много раз, число выпадений орла и решки окажутся почти равными – случайность единичного события при большом количестве событий переходит в закономерность. Именно благодаря закону больших чисел мы можем изучать явления нашего мира, не отвлекаясь на его хаотическую сущность, благодаря ему мы можем с уверенностью делать вывод о большом на основе малого. Это тот самый случай (для некоторых удивительный), когда математика явно отражает = отображает фундаментальное устройства природы. В этом и есть красота – красота эргодической теоремы. Анатолий Вершик написал формулировку Большой эргодической теоремы, потому что она – плод чистого разума, и описывает глубинное устройство природы.

Красота и медиальная орбитофронтальная кора – МОФК

«Математика, если правильно на нее посмотреть, несет не только правду, но и высшую красоту» (Бертран Рассел «Мистицизм и логика», 1918 г.).

Насколько эта категория универсальна? Ранее, в самом начале, мы сделали смелое утверждение, что «красота математики» абсолютна, в отличие от красоты живописи или литературы. А насколько она универсальна – абсолютна для самих математиков? Можно ли сравнить понятие о прекрасном в этой точной науке с красотой в поэзии, музыке, изобразительном искусстве?

В начале 2014 года в журнале *Frontiers in Human Neuroscience* была опубликована статья группы авторов, ключевыми из которых были британский нейробиолог Семир Зеки и великий ученый, британский математик Майкл Атья.

Зеки прославился работами, связывающими чувственное восприятие с конкретными областями в мозгу, на протяжении своей карьеры он поставил множество экспериментов над приматами и людьми, в которых искал корреляции между опытом любви, красоты и ненависти с работой тех или иных отделов мозга. Майкл Атья – лауреат обеих крупнейших в математике Филдсовской и Абелевской премий, известен в первую очередь работами в области алгебраической топологии, в частности созданием К-теории.

Таким образом, впервые специалисты в очень далеких друг от друга научных направлениях объединились, дабы попробовать исследовать «математическую красоту» строгим научным подходом. В 2004 г. вышла работа Зеки, в которой обсуждалась физиологическая подоплека опыта восприятия изобразительного искусства. В том опыте группе испытуемых было предложено оценить 300 картин по шкале «прекрасная – нейтральная – уродливая». Затем участникам опыта демонстрировали те же полотна, а происходящие в их мозгу процессы параллельно отслеживали с помощью магнитно-резонансной томографии. Результат: разница в реакции на красивые и отвратительные изображения особенно заметна в отделе мозга, ко-

торый называется медиальная орбитофронтальная кора – мОФК (это часть коры головного мозга, находящаяся примерно за глазами). Научные данные о конкретных функциях тех или иных участков мозга далеко не полны, но другие исследования связывают орбитофронтальную кору с контролем импульсов (ее повреждения могут привести, например, к агрессии и сексуальной распущенности), а также за представление ценности вознаграждения на основе сенсорной информации. Несмотря на ценность этой работы открытия в мозге «центра красоты», естественно, не произошло. Зеки лишь говорит, что между восприятием прекрасного в изобразительном искусстве и работой мОФК наблюдается определенная корреляция.

В 2011 г. Семир Зеки опубликовал следующую работу по данной проблеме. Но в ней он изучал уже восприятие музыки. И опять, как показал эксперимент, важнейшую роль играет отдел мОФК.

Наконец, в 2013 г. Семир Зеки и Майкл Атья поставили естественный вопрос: связано ли восприятие «математической красоты» с тем же отделом мозга? Аналогично экспериментам 2004 и 2011 гг. 15 молодым математикам показали 60 формул (среди них были и знаменитые теоремы, и фундаментальные тождества и определения). Сначала испытуемые поставили каждой из них оценку по шкале от –5 (уродливая) до +5 (прекрасная). Спустя 2-3 недели им снова продемонстрировали все 60 формул одну за другой, но в другом порядке, наблюдая за их реакцией на МРТ. Кроме того, испытуемых (в отличие от восприятия искусства и это важно!) попросили оценить понятность каждой формулы – чтобы затем статистически разобраться с ловушкой «красиво – то, что понятно».

Итог. Скорее любопытными, чем существенными с научной точки зрения оказались результаты субъективной оценки красоты формул из списка.

Лучшую среднюю оценку (3,375) с заметным отрывом от других получила формула Эйлера, связывающая самые важные математические константы: 0, 1, e , π , корень из минус единицы и три действия – сложение, умножение и возведение в степень, причем каждая константа и каждое действие участвуют в формуле только один раз. Это выражение (как мы уже говорили в самом начале нашего курса) в элементарном виде связывает чрезвычайно далекие, на первый взгляд, области математики; легко предположить, что формула Эйлера была бы названа самым красивым математическим тождеством и при глобальном опросе!

Самой «уродливой», опять же, с большим отрывом от остальных (средний балл –1,687), оказалась формула Рамануджана для разложения в ряд $1/\pi$ – в списке не было более громоздкого и несимметричного выражения. Однако, эта внешне «уродливая», но чрезвычайно интересная формула весьма полезна для инженеров – с ее помощью можно быстро получать приближенные значения числа π . Даже первый член ряда (для $k = 1$) дает значение π с точностью до шестого знака после запятой. Можно найти в тождестве Рамануджана и абстрактную красоту – она связывает фундаментальную константу, описывающую свойства правильной окружности, с совершенно непонятными числами – 9801, 1103, 396 и 26390. Почему именно они дают возможность вычислить π , – непонятно. И так, она «уродлива»? А как же тогда Иероним Босх??? Посмотрите ниже его триптихи.

$$1 + e^{i\pi} = 0$$

$$\frac{1}{\pi} = \frac{2\sqrt{2}}{9801} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(4k)!(1103 + 26390k)}{(k!)^4 396^{4k}}$$

Самая красивая (Эйлера) и самая отвратительная (Рамануджана) из известных математических формул.

Пожалуй, единственным значимым результатом опыта оказалось подтверждение гипотезы – различие в восприятии красивых формул по сравнению с уродливыми и нейтральными отражалось в первую очередь (хотя и не исключительно) в работе той же зоны мозга, медиальной орбитофронтальной коры, что и восприятие художественной красоты в предыдущих экспериментах. Значит ли это, что математическая и художественная красота влияют на нас схожим образом, что у этого чувственного опыта одинаковая физиологическая подоплека? Возможно, отчасти это

верно. С другой стороны, низкий отрицательный балл формулы Рамануджана говорит о том, что возможно? отчасти при оценке учитывались внешние характеристики записи выражения – его НЕкраткость и НЕсимметричность. *Такое восприятие красоты видимо в чем-то похоже на восприятие художественного полотна и задействует те же участки мозга.*

Таким образом, исследование Зеки и Атья, основанное на достаточно ограниченном эксперименте, доказывает лишь то, что восприятие математической красоты в одном из ее аспектов в чем-то похоже на восприятие каких-то граней художественной или музыкальной красоты. И только!

Но есть ли что-то в математической красоте, объединяющее различные ее ипостаси и фундаментально отличающее ее от других видов прекрасного (а может, наоборот – связывающее с ними)? «Платон считал математическую красоту высшей формой прекрасного, – пишут Семир Зеки и Майкл Атья, – ведь она происходит из чистого разума и связана с вечной и неизменной истиной». Это и есть «абсолютная красота», о которой мы говорили в начале нашего курса.

Именно те правила, которые кажутся интересными математику, и выбрала природа.

«Математик играет в игру, правила для которой он выдумывает сам, физик играет игру по правилам, которые даны природой. Но со временем становится все более очевидно, что именно те правила, которые кажутся интересными математику, и выбрала природа» (Поль Дирак? 1939 г.). Красота математики – в способности увидеть истинную суть вещей. Но ведь это относится к любой красоте.



Сэр Майкл Фрэнсис Атья (род. 22.04.1929) – английский математик. Родился в Лондоне, в семье ливанского писателя Эдуарда Атья (православного вероисповедания) и матери-шотландки. В 1934–1941 гг. он посещал начальную школу в Хартуме (Судан), в 1941–1945 гг. – Виктория-колледж в Каире. Затем он вернулся в Англию и обучался в школе Манчестера. В 1947 г. он поступил в Тринити-колледж Кембриджского университета, а в 1955 г. под руководством Вильяма Ходжа, защитил диссертацию на тему *Some Applications of Topological Methods in Algebraic Geometry*.

До 1963 г. преподавал в Кембриджском университете, после чего получил престижную должность Савилиановского профессора геометрии в Оксфордском университете. Атья оставался в Оксфорде до 1990 г. (с перерывом в 1955–1956 и 1969–1972 гг., когда он был профессором Института перспективных исследований), а затем вернулся в Кембридж.

Атья занимал множество почётных должностей, в частности он был президентом Лондонского математического общества (1974–1976 гг.), Лондонского королевского общества (1990–1995 гг.) и Королевского общества Эдинбурга (2005–2008 гг.). Также он был президентом Пагуошского движения учёных (1997–2002 гг.), является членом Британской гуманистической ассоциации.

Награды, членство в академиях:

В числе наград:

Премия Смита (1954).

Филдсовская премия (1966).

Королевская медаль (1968).

Бейкеровская лекция (1975).

Мемориальная лекция Соломона Лефшеца (1976).

Медаль де Моргана (1980).

Премия Фельтринелли (1981).

Международная премия короля Фейсала (1987).

Медаль Копли (1988).

Гиббсовская лекция (1991).

Медаль Бенджамина Франклина (1993).

Чернский приглашенный профессор (1996).

Шрёдингеровская лекция (Имперский колледж Лондона) (1997).

Эйлеровская лекция (2002).

Абелевская премия (2004, совместно с И. Зингером).

Кельвиновская лекция (2006).

Большая медаль Французской академии наук (2010).

Кавалер британского ордена Заслуг. В 1983 г. королевой Елизаветой II он был посвящён в рыцари.

Почётный иностранный член Американской академии искусств и наук (1969). Иностранный член Российской академии наук (1994), Академии наук Грузии (1996), Национальной академии наук США и Французской академии наук. С 2012 г. является действительным членом Американского математического общества.



Семир Зеки – профессор нейробиологии в Университетском колледже, Лондон; его главный интерес – организация визуального мозга приматов; первую научную работу опубликовал в 1967 г.; с тех пор написал более 150 статей и три книги: Видение Мозга (1993), Внутреннее Видение: исследование искусства и мозга (1999) (которая была переведена на шесть языков) и La Quête de l'essentiel (в соавторстве с покойным французским живописцем Balthus (граф Клоссовски де Рола)); в 1994 г. начал изучать нейрооснование творческого потенциала и эстетической оценки искусства; в 2001 г. основал Институт нейроэстетики, базируемый главным образом в Беркли, Калифорния.



Иероним Босх. Сад земных наслаждений. 1500–1510 гг.
Музей Прадо, Мадрид. Дерево, масло. 389,005 × 220 см



Иероним Босх. Страшный суд. 1504 г.
Академия изобразительных искусств, Вена. Дерево, масло. 163,7 × 247 см



Ерўн Антўнисон ван Ёкен (нидерл. Jeroen Anthoniszoon van Aken), более известный как Иероним Босх (около 1450–1516 гг.) – нидерландский потомственный художник, один из крупнейших мастеров периода Северного Возрождения. Из творчества художника сохранилось около десяти картин и двенадцати рисунков. Был посвящён в члены Братства Богоматери (нидерл. Illustre Lieve Vrouwe Broederschap; 1486); считается одним из самых загадочных живописцев в истории западного искусства. В родном городе Босха, голландском Хертогенбосе, открыт центр творчества Босха, в котором представлены копии всех его произведений.

Часть IV. ЭТНОГЕНЕЗ

Вселенский опыт говорит, что погибают царства не оттого, что тяжок быт или страшны мытарства. А погибают оттого (и тем больней, чем дольше), что люди царства своего не уважают больше.

Б.Ш. Окуджава

23. ФИЛОСОФСКО-ИСТОРИЧЕСКИЙ И ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫЙ ПОДХОДЫ К ПРОБЛЕМЕ ЭТНОГЕНЕЗА

Философско-историческая концепция этногенеза (А. Тойнби)

«Постижение единства истории, то есть осмысление всеобщей истории как целостности, составляет порыв исторического знания, которое ищет свой собственный смысл». Эти слова К. Ясперса могут быть выбраны эпиграфом к заданной выше теме.

В теории исторической мысли издавна сложились две существенно разные концепции: культурно-историческая и всемирно-историческая. Первая концепция была впервые высказана еще Геродотом, который противопоставлял мир эллинских полисов (Европу) Персидской монархии (Азии). Правда, позже сюда пришлось добавить совершенно не похожие на Иран и Элладу Скифию и Эфиопию. Дальше список культурных регионов расширялся, пока вся ойкумена не оказалась распределенной на своеобразные культурно-исторические области. Вторая концепция объясняет историю как единый процесс прогрессивного развития, более или менее захвативший все регионы, населенные людьми. Эта концепция сформулирована значительно позже – в средние века, и базировалась на концепции «четырех империй»: Ассирийской, Персидской, Македонской и Римской. Впоследствии к ним присоединилась пятая – «Священная Римская империя германской нации». При такой интерпретации событий «прогрессом» считалось последовательное расширение территорий, охватываемых имперской властью. Если несомненным представителем первой концепции в XX веке можно считать О. Шпенглера («Закат Европы»), то с А. Тойнби дело обстоит не так просто.

Воззрения А. Тойнби знаменуют попытку примирения концепции локальных цивилизаций с идеей единства человеческой истории. Своеобразная ностальгия по «экуменическому» видению всемирной истории возникла у Тойнби не сразу. Если «ранний» Тойнби видел в национальном государстве основную единицу всемирной истории, а «средний» (спустя 10-20 лет) уже искал таковую в локальных цивилизациях, то «поздний» (спустя еще 40 лет) двигался от изучения высших религий к всеохватывающему, «экуменическому» взгляду на диалектику развития всего человечества. Попробуем кратко изложить взгляды Тойнби, сложившиеся в поздний период его творчества. Во-первых, как философ Тойнби свои взгляды базировал на учении К. Юнга о «коллективном бессознательном», во-вторых, на варианте «философии жизни», развитой А. Бергсоном. И, наконец, в-третьих, ядром его мировоззрения, обусловившего фактически программу его глобального понимания истории, является религиозный взгляд на универсум, который эволюционировал от ортодоксального (по своему существу) христианства к мистическому пантеизму эксхристианского толка. В построениях Тойнби мистический пантеизм, уходящий своими корнями в наследие мистического опыта Бергсона, достаточно мирно сосуществует с тезисом о крайней относительности представлений о судьбах истории.

Отправной точкой подхода Тойнби к проблеме смысла истории являются его антропологические взгляды. Появляется понятие о «вечном человеке», и в его родовой природе Тойнби пытался найти корни единства истории, и, что еще более важно, – магического пути

ее развития, просматривающегося в многообразии локальных цивилизаций, тенденции к дезинтеграции сообщества всех людей планеты. Не углубляясь в существо вопроса, охарактеризуем отличительные черты этого «вечного человека». Первой чертой является сознание, включая сюда и самосознание. Способность к волеизъявлению – относительно реальности или иллюзии, – вторая духовная черта его природы. Третья – предрасположенность к различию добра и зла. Четвертый отличительный ингредиент – религия, и это, равно как и свобода выбора, есть духовная реакция на одно из открытий сознания. Тойнби философски обосновывает религиозное сознание, чтобы затем сделать его ферментом развития всемирной истории. Кроме того, в отличие от Шпенглера он сделал основной единицей деления исторического процесса не культуру, а цивилизацию.

В основу возникновения «цивилизаций» Тойнби ввел использование географического фактора. Вкратце концепция разделения общества на «примитивные» и «цивилизированные» сводится к следующему. Цивилизаций по Тойнби двадцать одна в шестнадцати регионах. Допускается, что на одной территории могли последовательно возникать 2–3 «сыновья» цивилизации. Таковы, например, Шумерская и Вавилонская цивилизации в Месопотамии, Минойская, Эллинская и ортодоксальная христианская на Балканском полуострове, древняя Индская и средневековая Индусская в Индостане. В особые цивилизации выделены ирландцы, скандинавы и центрально-азиатские несториане. Существуют своеобразные «задержанные» цивилизации, например, эскимосы и полинезийцы. Еще одна модель цивилизации была названа Тойнби «диаспорической» и связана с существованием народов, живущих среди других, но не теряющих своей самобытности, например, армяне, евреи, левантийцы.

Как же происходит развитие общества? Согласно Тойнби, оно осуществляется через *мимесис*, т.е. подражание. В примитивных обществах происходит подражание предкам, следовательно, такие общества статические. В «цивилизированных» обществах подражания удастаиваются творческие личности, следовательно, такие общества динамические. Таким образом, для развития (динамика) необходимо найти соответствующий фактор. Нахождение этого фактора и есть главная проблема истории. И вот здесь происходит введение географического фактора. Тойнби предлагает весьма своеобразное решение задачи. Он считает, что человек достигает цивилизации не вследствие какого-либо биологического дарования или легких условий географического окружения, а в ответ на своеобразный вызов, в ситуации некой особой трудности, воодушевляющей его на беспрецедентное до сих пор усилие. Указанные «вызовы» делятся на три сорта. Во-первых, это неблагоприятные природные условия. Во-вторых, нападение иноземцев, что тоже можно рассматривать как своеобразный географический фактор (частичная миграция). В-третьих, гниение предшествующих цивилизаций. С учетом координаты времени это тоже географический фактор.

Здесь следует привести замечания Л.Н. Гумилева по поводу «вызовов» и соответствующих им «ответов» («Этногенез и биосфера Земли»). Итак, неблагоприятные болота Нила – вызов для древних египтян; тропический лес Юкатана – вызов для майя; волны Эгейского моря – вызов для эллинов; леса и морозы – вызов для русских. По этой концепции английская культура должна бы быть порождением дождя и тумана, но Тойнби этого не утверждает. Нападение иноземцев–турок, и поэтому Австрия переиграла Баварию и Баден. Однако турки напали сначала на Болгарию, Сербию и Венгрию, но те ответили на вызов капитуляцией, т.е. пример говорит не в пользу концепции, а против нее. И последнее. Гниение эллино-римской цивилизации будто бы «вызвало» византийскую и западноевропейскую цивилизации, но разврат Византии не уступал грекам и римлянам, а между тем падение Западной Римской империи произошло более чем за 300 лет до создания жизнеспособных феодальных королевств Западной Европы. Таким образом, если это «ответ», то очень уж запоздалый. И, наконец, самое важное, что с точки зрения Гумилева не решено Тойнби, а существенно запутано, – это соотношение человека с ландшафтом. Тезис, согласно которому суровая природа стимулирует челове-

ка к повышенной активности, с одной стороны, вариант географического детерминизма, а с другой – просто не верен. Так, если море, омывающее Грецию и Скандинавию, – «вызов», то почему греки дали на него ответ только в VII–VI вв. до н.э., а скандинавы только в IX–XII вв. н.э.? Мы прекрасно знаем, что в другие эпохи не было ни победоносных эллинов, ни грозных викингов, а были ловцы губок и селетки. Шумеры в свое время сделали из Междуречья Эдем, «отделяя воду от суши», а «неразумные» турки все так запустили, что там опять образовались болота и пустыня и не стали отвечать на «вызов» Тигра и Евфрата.

Следует также привести возражения Гумилева и по поводу географической классификации Тойнби. Действительно, по Тойнби в одну цивилизацию зачислены Византийская и Турецкая империи, причем не греки и албанцы, а османы объявлены «задержанными». В «Сирийскую цивилизацию» попали Иудейское царство, империя Ахеменидов и Халифат, а Шумер и Вавилон разделены на отцовскую и сыновью цивилизации. Очевидно, что с одной стороны, критерием служит единство территории, а с другой... – просто произвол. Эти примеры показывают, как легко скомпрометировать плодотворную научную идею с одной стороны слабой аргументацией, а с другой – неудачными применениями непродуманных принципов.

Далее, для Тойнби носителем «жизненного порыва» как универсальной движущей силы истории является элита общества (его «творческое меньшинство»). Элита противопоставляется пассивному большинству, которое она предназначена сплотить. При этом на ее долю выпадают постепенное обновление общественной жизни, реакция на нескончаемые «вызовы», призванная предотвратить застой и разложение. Критерием роста цивилизованности является прогресс по направлению к самодетерминации. Развитие той или иной цивилизации, безусловно, связано с возрастанием степени ее относительной независимости от внешнего природного и социального окружения, но это эмпирически фиксируемое обстоятельство само еще нуждается в научном объяснении применительно к различным общественным организмам. Тойнби же просто зафиксировал данный феномен и предложил его толкование в ключе мысли Бергсона.

По нашему мнению, значительной абстрактностью отмечен и анализ Тойнби причин надлома цивилизации. Время существования той или иной цивилизации по Тойнби нельзя заранее предопределить, равно как бесполезным занятием будет и вычисление запрограммированного пункта ее надлома. Отмежевываясь таким образом от шпенглеровского «догматизма», Тойнби хотел сказать, что он рисует лишь своеобразный «идеальный тип» стадий развития цивилизации, не приписывая ему конкретных характеристик и свойств необходимой реализации в ходе эволюции человечества.

Надлом цивилизации Тойнби связывал в первую очередь с утерей силы и самоуспокоенности у элиты, «творческого меньшинства» общества. Подобно тому, как творческий индивид, отравленный ядом «цивилизованной» самоуспокоенности, «почивает на лаврах» и забывает о необходимости идти вперед, элита теряет свою деятельную способность. Ее самоуспокоенность выражается в зачарованности продуктами собственной деятельности. Над творческой активностью торжествует слепое копирование прошлого, «мимесис», запечатлевающийся в «идолизации эфемерных институтов», непомерном превознесении техники, «интоксикации побед» и других феноменах. При этом влияние такого рода явлений, культивируемых элитой общества, губительно воздействует на большинство, которое не обладает творческой способностью. Итог надлома цивилизации, его наивысшее выражение – утрата цивилизацией внутреннего единства и способности самоопределения. В итоге наступает финальная стадия развития цивилизации, характеризующая процессом ее дезинтеграции, который может затянуться на длительное время, вне определенных границ. Здесь считает Тойнби действуют три силы: «творческое меньшинство», «внутренний пролетариат» и «внешний пролетариат». Под последним подразумеваются «варвары», связанные неким образом с данной цивилизацией и живущие за ее границами. Если первая движущая сила дезинтегрирующей цивилизации создает некий базис ее сохранения, то две последние порождают тенден-

цию прямо противоположную, направленную на ее уничтожение. Далее Тойнби полагает, что этап дезинтеграции создает новые объединительные тенденции, факторы, способствующие распространению ее культуры, ее наследия на иные культурные миры. Это вытекает из необходимости существования непрерывной нити истории. Наивысший продукт дезинтегрирующейся цивилизации Тойнби видит в универсальной церкви, которой и отводится роль связующего звена в истории. Причем, даже универсальное государство, с его точки зрения, не обладает такой всеобъединяющей людей силой.

Проследив историческую тенденцию «ренессансов», имевших место как в Европе, так и на Востоке Тойнби констатирует объединительную тенденцию, запечатленную в их («ренессансов») феномене.

Во многом связывая объединительную тенденцию в культурно-исторической традиции с религиями, именуемыми «высшими», Тойнби к их числу относит следующие: зороастризм, иудаизм, буддизм, христианство и ислам. Особенно высоко оценена им роль трех последних мировых религий. В этом он отчасти прав, поскольку, разумеется, нельзя отрицать того фактора, что во многих случаях эти религии сыграли интегрирующую роль в истории человечества (впрочем не всегда бескровную). Конечно, Тойнби при этом прекрасно понимал и их значительное разъединительное начало, выразившееся в религиозных войнах и пр. Таким образом, он не столь наивен, чтобы не видеть негативного влияния религиозных противоречий в истории, однако ему представляется возможным с позиций собственного мировоззрения утверждать значимость именно позитивных сторон религии. Если Ясперс находил конечные основания творческой исторической активности людей в «философской вере», то Тойнби утверждал наличие некоего «абсолютного ядра» в каждой из «высших» религий, являющихся, с его точки зрения, началом единения культурной традиции. Очень интересно, что судьбы единения человечества в нашем столетии, как никогда ранее, обнаруживают, согласно Тойнби, свою зависимость от эволюции западной цивилизации. Он, пожалуй, первый, кто гениально предвидел, что в недрах западной цивилизации складывается могучее объединительное начало, способное вместе с мировыми религиями служить делу сплочения всего человечества, – технология, основанная на достижениях науки. Таким образом, Тойнби, не страшась парадокса, совместил в своих построениях утверждение о дезинтеграции, которую претерпевает западная цивилизация, и веру в возможность объединения человечества именно на ее основе. Представляет интерес здесь же отметить, что по теории Л.Н. Гумилева это может следовать, но совершенно из других соображений (инерционная фаза суперэтноса). Положительно отвечая на вопрос о политическом объединении человечества, Тойнби не забывал добавить, что оно должно идти на федералистской основе, без посягательства на изменение социально-экономического строя существующих государств, (по Л.Н. Гумилеву, это невозможно никогда, в противном случае человечество должно представлять из себя единый гиперэтнос). В своих прогнозах будущего Тойнби всецело движим «экуменическим» видением истории, предполагающим финальное единение человечества. Это объединение должно свершиться на базе тойнбианской религии будущего. Таковая, по Тойнби, должна быть неминуемо пантеистической, служить слиянию человека с природой и искоренению «сциентистской веры». Он видел сходство этой новой религии с синтоизмом и полагал, что необходимо расстаться с религией иудео-христианского монотеизма и постхристианской нетеистической верой в научный прогресс, который унаследовал от христианства веру в призвание человечества к эксплуатации остального универсума для удовлетворения собственной алчности.

Таким образом, если Шпенглер исходил в собственном варианте концепции локальных цивилизаций из отрицания смыслового единства истории, то Тойнби попытался достичь «экуменического», целостного ее видения, не отвергая идеи ее членения на множество отдельных независимых социальных организмов. Его внимание сконцентрировано на процессе «трансля-

ции» культурно-исторического опыта в пространстве и во времени, коммуникации между отдельными локальными цивилизациями, задающем саму возможность общественного прогресса.

Завершая краткий экскурс исторического мировоззрения Тойнби, нельзя не коснуться двух, упомянутых выше, исторических подходов. Оба они – всемирно-исторический и культурно-исторический, имеют, безусловно, ряд достоинств, но и крупные недостатки. Так, всемирно-исторический не способен объяснить целый ряд частных, а второй – определенные общие закономерности, без которых нет понимания частного. В итоге, в понимании истории человечества возникают неоправданные разрывы. Посмотрим как могут быть разрешены эти проблемы (общее – частное, частное – общее) в теории Л.Н. Гумилева, пожалуй, наиболее радикальной, и, что уж совершенно точно, наиболее увлекательной исторической теории XX века.

Естественно-научный подход к проблеме этногенеза (Л. Гумилев)

Приступая к обсуждению этногенеза, целесообразно вначале задать ряд вопросов, ответы на которые приблизят нас если не к разрешению, то по крайней мере к пониманию самой проблемы. Итак, задумывались ли вы о том, куда делись древние египтяне, древние эллины, древние римляне? Не могли же на самом деле немногочисленные орды готов и прочих варваров уничтожить население Апеннинского полуострова. Почему на ранних стадиях своей истории многие древние этносы проявляли воинственность, самопожертвование и т.п. «доблестные» черты, а в конце своей истории не могли противостоять даже немногочисленным ордам варваров?

Попробуйте дать определение этноса, в равной мере подходящее для всех этносов. Иными словами, чем определяется этническая принадлежность? Если языком, то это неверно. Канадцы говорят и на французском, и на английском, но первые не французы, а вторые не англичане, хотя страна и входит в Британское содружество. В Мексике, Боливии и других странах латинской Америки говорят на испанском, но жители этих стран отнюдь не испанцы, то есть язык как бы он ни был важен не подходит ни для идентификации, ни для самоидентификации, хотя бы потому, что есть люди глухонемые от рождения. Но глухонемой француз считает себя французом, а не немцем, и окружающие его граждане Франции считают его своим соплеменником. Если этническая принадлежность определяется «по крови», т.е. определяется, кем рожден человек, то это тоже в общем случае неверно. Существует хорошо известная вам ассимиляция, благодаря которой, например, князь Феликс Юсупов (он же барон Эльстон, он же и боярин Сумароков) русский, а не татарин и не остзейский немец; князь Измайлов, написавший в конце XVIII века русскую «народную» песню «Во поле березонька стояла», естественно, тоже русский, как и последний российский император Николай II, не имевший практически русской крови. Примерам этим не счесть конца. Можно, конечно, задать еще ряд вопросов, на которые также будет дан отрицательный ответ. Можно привести примеры, когда для идентификации совершенно необходимо знание языка или вероисповедание или совершенно необходимо родиться от соответствующих родителей (индусом может быть только человек, рожденный от индусов) и т.д., но нам нужно такое определение, которое пригодно для всех этносов! Такое определение и было предложено Л.Н. Гумилевым (сын поэтов Николая Гумилева и Анны Горенко, известной вам как Анна Ахматова) в рамках его теории этногенеза. Изложению этого грандиозного учения в популярном виде мы и перейдем, дабы ответить на серию заданных вопросов. Подробнее см., например, [19].

В рамках теории Л.Н. Гумилева *отличие* одного этноса от другого определяется не способом производства или культурой или уровнем образования, также как языка и происхождения, а *характером поведения* их членов – *стереотипом поведения, который усваивается, как правило, в первые годы жизни человека от ближайшего окружения*, а потом используется, как правило, всю жизнь бессознательно. То есть *в этносе*, в отличие от общества *работают* не социальные решения, а *ощущения и условные рефлексy*. Ясно, что такое определение объясняет принципиальную возможность изменить этническую принадлежность, и это не должно рассматриваться как «предательство» (под влиянием другой мощной культуры выработался новый условный рефлекс!). Это определение объясняет, например,

русскую принадлежность многих представителей дворянства конца XVIII–начала XIX века, для которых родным языком с детства был французский, а русского языка они толком не знали и стали изучать из патриотических соображений во время войны 1812 г.

Заметим, однако, что ещё в 1968 году при общении с Н.В. Тимофеевым-Ресовским Гумилёв не смог дать чёткого определения этноса, фактически повторив определение С.М. Широкогорова, введшего его в русскую науку.

В основе гипотетической теории этногенеза Л.Н. Гумилева лежит понятие *пассионарной энергии* (как и чем ее измерять – неизвестно).

Пассионарность Л.Н. Гумилев определял так: «активность, проявляющаяся в стремлении индивида к цели (часто иллюзорной) и в способности к сверхнапряжениям и жертвенности ради этой цели». Пассионарность описывалась Гумилёвым на множестве ярких исторических примеров, в частности Наполеона, Суллы, Жанны д'Арк, Александра Македонского, Ганнибала, даже Сталина. Их деятельность невозможно объяснить рациональными, то есть корыстными мотивами. Гумилёв *не утверждал*, что процесс этногенеза зависит единственно от пассионарности, включая и другие факторы: этническое окружение, географическая среда, уровень социально-экономического развития и технической оснащённости и т.д. Наибольшую роль, однако, играет явление, названное Гумилёвым «*пассионарным напряжением*»: количество пассионариев в этносе, соотношение пассионариев с обывателями и субпассионариями.

Новизна *пассионарной теории* этногенеза, предложенной Л.Н. Гумилевым в 70-е годы XX в., заключается в следующем. Поведение каждого человека и каждого этноса определяется способом адаптации к своей географической среде и своему этническому окружению. Для того, чтобы из толерантных (это та самая симметрия до самоорганизации) ко всему людям создать этнос (частичная потеря симметрии), нужна какая-то энергия. Таким образом, теория впервые связала существование этносов как коллектива людей со способностью отдельных индивидуумов как организмов «поглощать» (это, естественно, тоже гипотеза Гумилева) биохимическую энергию живого вещества биосферы, открытую В.И. Вернадским. Далее, способности разных людей поглощать эту энергию различны, и проще всего классифицировать всех людей по этому признаку на три типа.

Гармоничные люди потребляют эту энергию в количестве достаточном, чтобы удовлетворить потребности, диктуемые инстинктом самосохранения. Эти люди работают, чтобы жить без «заморочек», и никаких иных «сверхпотребностей» у них не возникает.

Пассионарии обладают избытком этой энергии. Они живут, чтобы работать ради своей идеальной цели, при этом стремятся не приспособиться к окружающей действительности и обстоятельствам, а по возможности изменить их «под себя», по своему усмотрению, исходя из своих «сверхпотребностей».

Субпассионарии обладают этой энергией в недостаточном количестве для обычной обывательской жизни. Они живут так, чтобы по возможности не работать (или работать как можно меньше), при этом стремятся максимально приспособиться к окружающей действительности и обстоятельствам, не меняя их (на это у них нет энергии), чтобы потреблять некие блага за счет других людей.

Не стоит думать, что хороши гармоничные люди или пассионарии, а субпассионарии плохие. Плохие и хорошие – это в определенном смысле условность. Типичные пассионарии: Жанна д'Арк (хороша для французов, но плоха для англичан), Петр I, А.В. Суворов, Наполеон, В.И. Ленин, А. Гитлер и др. Плохие они или хорошие? Все зависит от того, кто и как на деятельность этих людей смотрит. Субпассионарии: очень многие политики, пережившие различные режимы, или максимально приспособившиеся в конкретных обстоятельствах так, что одержали верх над пассионариями, например, Ж. Фуше. Пассионарии многие ученые и представители искусства. Хорошие они или плохие? Ясно, что в такой постановке вопрос касательно нашей темы просто некорректен. Пойдем по теории пассионарности далее.

Л.Н. Гумилев считал (это тоже его гипотеза), что время от времени (примерно два-три раза за тысячу лет) Земля «чем-то» облучается. Зоны облучения (зоны пассионарных толчков) – это узкие полосы шириной около 300 км при широтном направлении и примерно

0,5 длины окружности планеты при меридианальном. Эти полосы почти никогда не проходят по одному и тому же месту. Всего, считает Л.Н. Гумилев, наблюдалось девять основных толчков: 1-й в XVIII веке до н.э., а 9-й – в XIII веке н.э. Каждый пассионарный толчок порождает новый этнос. Заметим здесь же, что именно к последнему толчку относится появление «молодых» этносов: эфиопов, турок-османов, литовцев и русских (великороссов). При пассионарном толчке, из-за мутации от облучения части населения, через какое-то время количество пассионариев начинает увеличиваться, по сравнению с их количеством в норме. Это и есть начало этногенеза. Далее просто комментируем рисунок.

Вначале пассионарность устойчиво растет – это **фаза пассионарного подъема**, структура этнической системы постоянно усложняется и из разрозненных субэтносов возникает единый этнос.

Затем пассионарность достигает максимума, и наступает **акматическая фаза**. В ней создается единый этнический мир – суперэтнос, состоящий из отдельных этносов, близких друг к другу по поведению и культуре. Все последующее связано с обратным процессом – разрушение суперэтноса вследствие спада пассионарности.



Изменение пассионарности суперэтнической системы и фазы этногенеза

Резкий спад пассионарности после акматической фазы – **фаза надлома**, характерен различными внутренними конфликтами, гражданскими войнами и т.д. В различных этносах это что-то свое, но причина одна и та же. Во Франции войны католиков с гугенотами, в России – классовая борьба и т.д.

В процессе конфликтов пассионариев становится все меньше с каждым поколением и суперэтнос (если выживает), потеряв часть своих этносов, входит в **инерционную фазу**. В этой фазе пассионарность спадает медленно и плавно, люди живут «без заморочек», создают благоустроенные государства, наслаждаются материальными и культурными благами. Именно в этой фазе находятся этносы Западной Европы и США в настоящее время.

Если, однако, пассионарность падает еще ниже, – наступает деструктивная **фаза обскурации**, когда обманчивое благополучие гибнет от рук собственных субпассионариев.

Этнос либо исчезает, либо может перейти временно в короткую *фазу регенерации*, а затем либо исчезает полностью, утратив свою самобытность (люди при этом никуда не пропадают, как, где жили, так и живут), либо остается в виде *реликта* – осколка некогда бушевавших страстей.

Пользуясь физической аналогией, мы можем сказать, что этнос – это своеобразная молекула (пока он существует), проходящая в процессе своей жизни различные фазовые состояния (как, например, H₂O – жидкость, лед, пар). Смерть этноса – разрушение молекулы на отдельные атомы (люди), которые со временем (конечно, не они, а их потомки) могут либо включиться в другое этническое образование, либо создать новое. Все перечисленные фазы этногенеза и фазовые переходы проходит любой этнос, хотя и по-разному. Кроме того, на любой стадии процесс этногенеза может быть насильственно прерван в результате гибели большого количества людей, например, из-за эпидемии или агрессии иноплеменников.

Каждая фаза этногенеза характеризуется различным стереотипом поведения, последовательно переходя от поиска удачи с риском для жизни с идеалом честолюбия, стремления к идеалу победы вплоть до жертвенности в акматической фазе. В акматической фазе создаются легенды: Муций Сцеволла, Жанна д'Арк, Иван Сусанин и т.д. – неважно при этом, что было на самом деле. Этнос проходит через стремление к идеалу успеха и честолюбия к появлению постепенно вместо них тщеславия, стремление к идеалу знания, красоты в фазе надлома. От стремления к благоустройству без риска для жизни в начале инерционной фазы до стереотипа тихого обывателя в конце этой фазы. Для фазы обскурации характерны: неспособность регулировать вожделения и даже неспособность удовлетворять вожделения, а первенствует тщеславие, возведенное почти в закон. Вспомните, как в конце своей истории древние римляне сами себе при жизни ставили памятники и принимали восхваления от своих клиентов, зная прекрасно, что те лгут.

Теперь должно быть понятно, что этнос в конце своей жизни просто не может сопротивляться не только завоевателям, но даже своим собственным вожделениям. Род человеческий должен быть бессмертен, а этнос, как и человек, смертен.

При изучении теории Л.Н. Гумилева возникает с неизбежностью вопрос: откуда такое разнообразие ныне существующих этносов (притом, только часть из них реликты), не вписавшихся в схему девяти пассионарных толчков? Здесь, нам кажется, возможно следующее объяснение. Как мы видели, образование этноса, т.е. появление у группы людей (ранее ко всему толерантных) своей этнические доминанты – это фактически изменение (уменьшение) полной симметрии. Если считать, что это произошло в открытой системе (а это на самом деле так) и при прочих необходимых для самоорганизации условиях, то ответ очевиден. Процесс этногенеза, помимо гипотетической теории Л.Н. Гумилева, может быть объяснен еще и самоорганизацией.



Арнольд Джозеф Тойнби (14.04.1889 – 22.10.1975) – британский историк, философ истории, культуролог и социолог, профессор, исследовавший международную историю в Лондонской школе экономики и в Лондонском университете. Также является автором многочисленных книг. Исследователь процессов глобализации, критик концепции европоцентризма. В 1943 г. глава исследовательского отдела МИД в Лондоне, который занимался вопросами послевоенного устройства мира.

Наибольшую известность ему принёс его 12-томный труд «Постижение истории». Автор многих работ, статей, выступлений и презентаций, а также 67 книг, переведённых на многие языки мира.



Лев Николаевич Гумилёв (18.09 (01.10) 1912 – 15.06.1992) – советский историк-этнолог, археолог, востоковед, писатель, переводчик.

Сын известных поэтов – Анны Ахматовой и Николая Гумилёва.

В 1961 г. защитил диссертацию на соискание степени доктора исторических наук, в 1974 г. защитил вторую докторскую диссертацию – по географии, но степень не была утверждена ВАК.

Четырежды был арестован, причём в первый раз – в декабре 1933 г. – через 9 дней отпущен без предъявления обвинения. В 1935 г. подвергся второму аресту, но благодаря заступничеству многих деятелей литературы был отпущен на свободу и восстановлен в университете. В 1938 г. подвергся третьему аресту и получил пять лет лагерей, наказание отбывал в Норильске. В 1944 г. добровольцем вступил в ряды Красной армии, участвовал в Берлинской операции. После демобилизации окончил экстерном исторический факультет, в 1948 г. защитил диссертацию на соискание степени кандидата исторических наук. В 1949 г. вновь был арестован, обвинения были заимствованы из следственного дела 1935 г.; был осуждён на 10 лет лагерей, наказание отбывал в Казахстане, на Алтае и в Сибири.

В поисках причины пассионарных толчков Лев Николаевич обратился к биологической составляющей человеческой природы. Позднее он откровенно признавался, что любая комбинация факторов не даёт возможности построить гипотезу, то есть непротиворечивое объяснение всех известных в данное время факторов этногенеза. Налаживать контакты с биологами он начал ещё в ноябре 1965 г. и общался как минимум с тремя биологами – зав. кафедрой генетики ЛГУ М.Е. Лобашёвым, зам. директора Института биологии внутренних вод Б.С. Кузиным и Н.В. Тимофеевым-Ресовским – тогда зав. отделом радиобиологии и экспериментальной генетики Института медицинской радиологии в Обнинске. С Тимофеевым-Ресовским Гумилёв познакомился в 1967 г., и Николай Владимирович согласился сотрудничать. Для Гумилёва было важно мнение именно генетика-биолога, специалиста в области популяционной и эволюционной биологии. Летом Гумилёв каждый выходной уезжал в Обнинск, Тимофеев-Ресовский дважды побывал у Гумилёвых на Московском проспекте. В личном отношении между ними было много общего. Тимофеев-Ресовский, его ученик Н.В. Глотов и Л.Н. Гумилёв стали готовить в 1968 г. большую статью для журнала «Природа» с изложением теории этногенеза, в которой биологи отвечали за популяционно-генетические основы теории. Но вскоре между ними начался конфликт, который объяснялся нежеланием Гумилёва отказываться от эстетически совершенных идей, если они не подтверждались фактами. Результатом стало то, что Тимофеев-Ресовский, который не терпел научно не обоснованных концепций, тем более – противоречащих научным представлениям, оскорбил Гумилёва, обозвав его «сумасшедшим параноиком, буруеваемым навязчивой идеей доказать существование пассионарности». Гумилёв его так и не простил, хотя Тимофеев-Ресовский извинялся. Лев Николаевич в ответ прислал большое письмо, снабжённое двумя таблицами, в которых демонстрировались разногласия между ним и биологами. Н.В. Глотов, отвечавший на письмо Гумилёва, заметил: «По крайней мере половину содержащихся в ней вопросов просто нельзя даже ставить».

**Часть V. ЗАКОНЫ ПРИРОДЫ КАК ОБЪЕКТ СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ
И КАК ЭСТЕТИЧЕСКАЯ КАТЕГОРИЯ**

И случай, Бог изобретатель.

А.С. Пушкин

**24. ПАНОРАМА «СУЩЕСТВОВАНИЯ» A VOL D'OISEAU
(С ВЫСОТЫ ПТИЧЬЕГО ПОЛЕТА). ПРОБЛЕМА ЭВОЛЮЦИИ НАУКИ.
ИНФОРМАЦИОННЫЕ НОСИТЕЛИ СОЦИАЛЬНОЙ ЭВОЛЮЦИИ.
ПАРАДИГМА ЕСТЕСТВЕННОЙ И ГУМАНИТАРНОЙ КУЛЬТУР****Проблема «существования»**

Настало время подводить итоги [24]. Теперь мы можем посмотреть на проблему «существования» «с высоты птичьего полета», т.е. как работают три основных закона (далее для сокращения: закон сохранения – 1, возрастания энтропии – 2 и универсальный критерий эволюции – 3) в живой природе.

Пусть в результате какого-то «катастрофического», но благоприятного для нас события возникла живая субстанция. Согласно закону 1, она должна сохраняться, но есть и закон «смерти» 2, и он должен быть уравновешен законом 1. Для живой субстанции движущая сила ее существования уже не только поступающая извне энергия, но и недостаток питания. Значит, для достижения большей устойчивости организмов, стремящихся к сохранению гомеостаза, требуется достижение нового уровня экономии энергии. Следовательно, включается в работу закон 3, который требует усложнения системы за счет понижения симметрии, то есть возникновения в ней подсистем: нервных клеток, мозга и т.д. В результате отдельные организмы, а потом и популяция переходят на качественно более сложную ступень развития, экономии энергии и, следовательно, «жизнестойкости». Со временем возникает способность адекватно ориентироваться в определенных ситуациях; возникает память, и далее закон 3 заставляет эволюционировать уже эти способности. В результате появляется возможность перехода от простейших рефлексов к более сложным видам психической деятельности и в конечном итоге к разуму. В определенный момент эволюции живого возникает, наконец, *homo sapiens*. Академик Н.Н. Моисеев [4] считал, что возникновение человека не случайно, а предопределено всем предшествующим развитием живой субстанции. С этим, по нашему мнению, пока сложно согласиться, так как никакого закона, требующего появления разума, мы пока не знаем. Человек за время своего существования (если мы возьмем известный нам исторический период 6000 лет) не столько совершенствуется сам (совершенствование происходит только в морально-этическом плане), сколько творит техносферу, развитие которой также подчинено закону 3. Действительно, человек сначала изобретает простейшие механизмы с малым КПД, потом машины с все большим и большим КПД, попутно совершается переход от примитивно затратных к ресурсосберегающим технологиям и т.д. Кроме того, в определенные, «сильно неравновесные» моменты истории разобщенным индивидуумам энергетически более выгодно перейти в особое «когерентное» состояние, т.е. возникает этнос, который развивается, живет и, подчиняясь закону 2, умирает.

Под этим же углом зрения может быть рассмотрена и проблема экологии. Например, неверные действия одного, нескольких или сообщества индивидуумов увеличивают энтропию системы. В итоге снижается жизнестойкость всей системы. Если при этом в значительной мере нарушается обратная связь, способствующая, согласно закону 1, сохранению экосистемы, то в качестве расплаты происходит экологическая катастрофа.

Таким образом, вы видите, что адекватное восприятие перечисленных трех законов должно способствовать развитию экологической морали.

Аддитивные и неаддитивные величины

Теперь остановимся еще на одном частном примере, посредством которого мы хотим внушить вам весьма общую идею. В лекции 9 было сказано, что распределение Максвелла с

математической точки зрения описывает так называемый нормальный закон распределения случайных величин – закон Гаусса ($W(x) \sim \exp(-\alpha x^2)$). Этот закон наиболее часто реализуется в различных системах. Причина этого в следующем. В теории вероятности есть замечательная теорема, так называемая центральная предельная теорема А.М. Ляпунова. Смысл ее в формулировке для «домохозяек» примерно такой. Если значения, которые принимает случайная величина, зависят от большого числа различных факторов, каждый из которых в отдельности мало влияет на эту величину, то рассматриваемая случайная величина подчиняется нормальному закону распределения Гаусса. Этот закон интересен нам по следующей причине.

Обычно для характеристики отклонения величины f от ее среднего значения $\langle f \rangle$ используют понятие дисперсии – среднее квадратичное отклонение от равновесного среднего: $D = \langle (f - \langle f \rangle)^2 \rangle$. Далее, если мы говорим о каких-то величинах, имеющих случайные значения, то их можно классифицировать либо как аддитивные (зависящие от числа частиц в системе), либо как неаддитивные (не зависящие от числа частиц в системе). На примере физической системы вы легко поймете, что энергия, объем – это аддитивные параметры, а давление, температура – неаддитивные. Так вот, для нормального закона К. Гаусса оказывается, что дисперсия аддитивных величин пропорциональна числу частиц в системе, т.е. $D_{ad} \sim N$; а дисперсия неаддитивных величин обратно пропорциональна числу частиц в системе, т.е. $D_{nonad} \sim 1/N$.

Вот теперь можно, наконец, объяснить, для чего все это было нужно вам рассказывать. Разум, интеллект, квалификация и прочие профессиональные навыки и способности, также как и талант – величины неаддитивные. Глупость, неумение что-либо делать и т.п. – величины существенно аддитивные. Вот поэтому принципиально новые идеи рождаются всегда в голове одного человека, творчество только индивидуально, а коллективное творчество не что иное как простая совокупность результата работы отдельных индивидуумов и не может содержать ничего революционно нового. Вот поэтому бесплодны были все попытки собрать вместе много талантливых ученых, поэтов и т.д. и ожидать, что совокупно они что-то гениальное сотворят. Гениальность – это отклонение от среднего неаддитивной величины, а дисперсия, т.е. то самое отклонение, тем меньше, чем больше людей вы соберете. Именно поэтому новые идеи рождаются именно в маленьких коллективах, стихи, картины, музыку и романы пишут не коллективом.

Вот поэтому так опасно коллективное мнение дилетантов, коллективное мнение глупцов. Вот поэтому так опасна толпа, ибо агрессивность – аддитивная величина. Но! Как же быть с демократией, парламентом и т.п. социальными институтами, где заведомо должно быть коллективное мнение, предотвращающее самовластие, диктатуру и возможное самодурство одного человека? А никак! Вспомните слова У. Черчилля, о том, что «демократия – очень плохой способ управления, но, к сожалению, ничего лучшего пока не придумано». Очень хотелось, чтобы вы в своей дальнейшей жизни (безотносительно к тому, кем вы станете) всегда помнили об этом свойстве аддитивных и неаддитивных величин.

Эволюция науки

Поговорим теперь об эволюции самой науки. Конечно, следовало бы вначале рассказать о философии науки вообще, т.е. кратко коснуться истории позитивизма «с высоты птичьего полета» от О. Конта до П. Фейерабенда. Обязательно надо было бы поговорить о постпозитивизме К. Поппера, о теории парадигм Т. Куна и эпистемах М. Фуко, но, к сожалению, ограниченность нашего курса не позволяет это сделать. Поэтому будем (по умолчанию!) считать, что указанные вопросы включены вам в курс философии, а для краткого ознакомления отсылаем вас к последней части нашей книги «Концепции современного естествознания» [1], где этот раздел написан доктором философских наук, профессором Е.Н. Ивахненко.

Нижеследующий материал представляет сокращенный и несколько адаптированный вариант фрагмента статьи выдающегося физика современности Ю. Неемана «Счастливый случай, наука и общество. Эволюционный подход», опубликованной в международном философском журнале «Путь» в 1993 г. [20].

В эволюционной теории познания К. Поппер и Д. Кемпбелл сформулировали своеобразную неodarвинистскую схему, описывающую, как эволюционирует наука. Вкладом самого К. Поппера в философию науки была его идея **фальсификации**: ни одна теория не может называться теорией, если ее нельзя проверить экспериментально и если она не оказывается ложной в некоторых своих предсказаниях. Кроме того, согласно К. Попперу, прогресс в нау-

ке идет именно через процесс фальсификации: теория, не выдержавшая проверки, заменяется на более совершенную, с более широкой областью истинности. Таким образом, развитие науки является эволюционным процессом, и фальсификация уже дает нам необходимый *механизм отбора*. Осталось найти еще *механизм случайной мутации*. Для его нахождения К. Поппер и Д. Кемпбелл ввели *гипотезу слепой вариации*, согласно которой новые идеи в науке рождаются независимо от той проблемы, для решения которой они существуют. В предшествующих разделах мы уже обсуждали, что логически невозможно правильно вывести эмпирические обобщения или теорию только из данных наблюдений. Нет также и универсального метода, позволяющего найти «истинную» теорию, не занимаясь ее проверкой. К. Поппер и Д. Кемпбелл сделали отсюда вывод, что ни для одной теории не существует априорного оправдания, и поэтому построение теории есть не что иное, как *угадывание*, то есть *случайная операция*. Д. Кемпбелл даже называет новые научные виды неоправданными вариациями – случайными операциями проверенных теорий.

На первый взгляд, теория Поппера – Кемпбелла напрашивается на суровую критику. Действительно, если наука обязана своим прогрессом слепому угадыванию, то зачем «учить науке», для чего ученым придерживаться исследовательских программ? Существует ли тогда вообще научная методология? Не пойти ли вслед за П. Фейерабендом и считать, что «все сгодится»? Да и вообще – произвела бы серия подобных операций сколько-нибудь заслуживающие внимания научные результаты? Дабы снять эти вопросы Ю. Неeman и Л.В. Канторович предложили более тонко структурированную *теорию мутационного механизма науки*.

Их первый тезис состоит в том, что *ключевую роль* в этом мутационном механизме *играет везение*. Именно этот феномен стоит за главными достижениями в науке, будь то в теории или в открытии новых явлений, или в постановке новых проблем, которыми впоследствии начинают заниматься исследователи.

Вторая важная модификация теории Поппера – Кемпбелла – второй тезис состоит в том, что его *надо применять*, если говорить в самых общих чертах, к *революционной стадии науки*. В этих революционных стадиях ярко выражена стохастическая компонента, то есть очевидный эффект случайности. Иногда поразительные результаты, полученные «случайно», делают такой стохастической компонентой самого ученого.

Третий тезис версии Немана – Канторовича следующий: *мутирует* не статическая структура науки, а *динамический исследовательский механизм*. То есть для этого должна существовать постоянно действующая программа – *поиск «А»*. Такой поиск должен постоянно вестись, чтобы иметь какие-то результаты. Если ученый не будет все время настороже, с ним никогда не приключится ничего странного – никакой мутации, никаких везений, никаких *случайных открытий «В»*. Вспомним, что для фиксации генетической мутации в ДНК необходим процесс репродукции, в который, в свою очередь, также может вкрасться ошибка. «Нормальная» наука или, точнее, преднамеренный и запрограммированный процесс исследования, который обычно направлен на дальнейшую разработку уже полученных результатов, и составляет ту естественную основу, где может произойти (и происходит) мутационная ошибка.

В примерах, которые мы приводили в нашем курсе, было фактически несколько «траекторий» открытия: поисковое исследование – то есть исследование, не являющееся поиском чего-то конкретного, но все же остающимся поиском и открытием «В»; поиск «А» и открытие «В» в качестве побочного продукта; поиск «А» и открытие вместо этого «В». В некоторых случаях «В» – это «А», но по совершенно неожиданным причинам.

Новые области науки особенно богаты открытиями, в основе которых лежит везение. Исходная база данных тут, как правило, ограничена, а теоретических знаний, с которыми надо согласовывать неожиданные результаты, меньше, чем у старых теорий. Поэтому мутации – везения в новых науках, – это эпистемологические проявления феномена, хорошо известного в биологической эволюции и описываемого моделью «*пунктирной эволюции*» Н. Элдриджа и С.Дж. Гулда. Эти исследователи обнаружили, что эволюция происходит гораздо быстрее в небольших изолированных популяциях. Причины: шансы мутантов на встречу и размножение в таких популяциях выше, а степень вмешательства со стороны части популяции, не подвергшейся мутации, ниже.

Это согласуется и с нашим тезисом, что открытие происходит через *случайность* – *флуктуацию* в малых научных коллективах, поскольку интеллект – неаддитивная функция. Тогда новое качество в сложной системе возникает через флуктуацию и их разрастание в процессе самоорганизации.

Информационные носители социальной эволюции

Остановимся еще на одном важном моменте. *Наука + технологии – это и есть информационные носители социальной эволюции.*

Человек за свое существование, судя по всему, не претерпел существенных генетических изменений (пока!), тем не менее он значительно эволюционировал, самоорганизуясь в сообщества. Наверное, стоит выделить относительно стабильные уровни или эпохи социальной эволюции, определяемые технологиями. Переход от палеолита к мезолиту и неолиту следует за эволюцией технологии каменных орудий. Далее, открытие меди (эпоха хальколита), затем эпоха бронзы и железа. В настоящее время мы, судя по всему, живем уже в век информационных технологий.

Весьма примечательно, что примерно до конца XVII века технологии, являясь следствием накопленного опыта, не следовали за научными достижениями, а начиная с XVIII века, новые технологии все более и более являются следствием научного прогресса. Появление же новых технологий непосредственно сказывается на социальной эволюции человечества. Таким образом, сначала одни *технологии*, а потом и *наука + технологии* являются своеобразной ДНК (информационным носителем) социальной эволюции, в которой роль мутаций играют научные и технологические открытия.

Парадигма естественной и гуманитарной культур

И последнее. До недавнего времени считалось, что полнота познания и необходимая для этого способность к интуитивному суждению – это фундаментальное условие существования *homo sapiens*. Однако, развитие искусственного интеллекта и особенно самообучающихся систем показывает, что в будущем человечество будет использовать компьютеры не только как инструменты, усиливающие возможности логического мышления, но также и интуитивного. Важно, что с компьютеризацией нашей жизни необходимость мышления для человека только возрастает. Наоборот, поскольку логические, дискурсивные операции все более передаются ЭВМ, степень внелогической, интуитивной деятельности увеличивается. В итоге, в процессе логического, дискурсивного научного творчества должны все в большей степени проявляться приемы, свойственные процессу художественного творчества, а значит, и приемы научной работы в гуманитарных науках. Этим и определяется *парадигма естественной и гуманитарной культур*, возникающая вследствие интеллектуальной революции конца XX века, освобождающей умственную деятельность от стандартизированного рутинного труда.

На примере проблемы этногенеза продемонстрировано проникновение естественно-научного подхода в одну из гуманитарных наук. Можно было бы привести и другие примеры. Сейчас, однако, нас интересует другое. Возникает вопрос: возможен ли обратный процесс, т.е. проникновение методов гуманитарных наук в естественные, или еще жестче – проникновение своеобразного метода познания, свойственного в основном художественному творчеству, в естественные науки?

Таким образом, по существу ставится вопрос об относительной роли в постижении истины, в нашей деятельности рациональным, логическим способом, с одной стороны, и интуитивным, внелогическим, – с другой; и можно ли вообще полагать, что дальнейшее познание мира все более будет сводиться к рациональному, логическому и в будущем ими одними и определяться. Тогда возникает вопрос о роли интуитивного суждения в постижении мира.

«Истина есть интуиция. Истина есть дискурсия. Или проще: истина есть интуиция – дискурсия» (О.П. Флореский).

На этом мы заканчиваем наши лекции по «Современной естественно-научной картине мира». Помните, что:

Знание смиряет великого, удивляет обыкновенного
и раздувает маленького человека.

Л.Н. Толстой

There are more things in heaven
and earth, Horatio, than are dreamt
of in your philosophy...

Shakespear, «Hamlet»

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В начале XX века В.И. Вернадский гениально увидел логику в совместной эволюции общества и природы, показав, что появляющаяся в процессе самоорганизации неживой материи живая биота охватывает со временем всю Землю и начинает оказывать влияние не только на поверхности Земли, но и в атмосфере.

Человечество как часть биосферы оказывает на природу все более возрастающее воздействие. Это не только дает ему огромные возможности, но и накладывает ответственность как за судьбу биосферы и природы в целом, так и за судьбу своей цивилизации.

Наше будущее зависит от того, сумеем ли мы создать ноосферу – так по Вернадскому называется система симбиоза человечества и остальной природы, обеспечивающая их взаимодействие и способ существования.

Создание ноосферы невозможно без разрешения двух глобальных проблем XXI века. Прежде всего, это ожидающийся демографический взрыв с последующим этногенезом. Вторых, это надвигающийся экологический кризис, самый опасный аспект которого – усиливающийся парниковый эффект. Последствия этого эффекта опасны для человечества по следующим причинам. При повышении температуры из-за таяния полярных льдов уровень мирового океана может подняться от 50 до 350 см. При этом затопленными окажутся прибрежные территории, где живет до 70 % всего населения. Это исключит из севооборота самые плодородные земли в дельтах Великих рек. Вторая причина: если количество парниковообразующих газов удвоится (что возможно к 2030–2050 гг.), то дальнейшее повышение температуры у поверхности Земли будет происходить с темпом роста от 5 до 15 раз по сравнению с амплитудой колебаний в прошлые исторические эпохи. Отсюда следствие – вся биота должна будет адаптироваться к этим новым условиям, причем беспрецедентно быстрыми темпами. Какие виды могут выдерживать такую адаптацию и что в результате ее получится – не ясно. Неясно также и то, какая будет новая биосфера, и каково в ней будет выжившим адаптированным людям?

Весь этот комплекс проблем придется решать мировому сообществу уже сейчас либо в ближайшие годы, ибо ситуация подошла уже к тому рубежу, за которым начинаются необратимые экологические процессы – катастрофы.

Понимание значимости поставленных вопросов и их решение невозможно без знания основных принципов естествознания и основных концепций развития современной науки.

«Поток времени в своем неудержимом и вечном течении влечет за собою все сущее. Он ввергает в пучину забвения как незначительные события, так и великие, достойные памяти; туманное, как говорится в трагедии, он делает явным, а очевидное скрывает. Однако историческое повествование служит надежной защитой от потока времени и как бы сдерживает его неудержимое течение; оно вбирает в себя то, о чем сохранилась память, и не дает этому погибнуть в глубинах забвения». Эта мысль, запечатленная византийской принцессой Анной Комнин в «Алексиаде» (XII век), стимулировала авторов при написании данного «исторического повествования».

ПОСТСКРИПТУМ

В процессе написания этого труда случилось печальное событие. Не стало Великого русского ученого мирового масштаба академика Андрея Анатольевича Зализняка (1935–2017). В связи с этим нам представляется важным привести текст его замечательного выступления «Истина существует, и целью науки является ее поиск» на церемонии вручения ему литературной премии Александра Солженицына.



Андрей Анатольевич Зализняк (29.04.1935. – 24.12.2017) – советский и российский лингвист, академик Российской академии наук по Отделению литературы и языка (1997), доктор филологических наук (1965, при защите кандидатской диссертации). Лауреат Государственной премии России 2007 года. Награждён Большой золотой медалью имени М.В. Ломоносова РАН (2007). Известен своими работами в области русского словообразования и акцентологии. Исследователь новгородских берестяных грамот и «Слова о полку Игореве». Один из основателей Московской школы компаративистики [10].

Я благодарю Александра Исаевича Солженицына и всё жюри за великую честь, которой я удостоен.

В то же время не могу не признаться, что эта награда вызывает у меня не одни только приятные чувства, но и большое смущение. А после того, что я сегодня наслушался, я несколько подавлен.

В моей жизни получилось так, что моя самая прочная и долговременная дружеская компания сложилась в школе – и с тех пор те, кто еще жив, дружески встречаются несколько раз в год вот уже больше полувека. И вот теперь мне ясно, насколько едины мы были в своем внутреннем убеждении (настолько для нас очевидном, что мы сами его не формулировали и не обсуждали), что высокие чины и почести – это нечто несовместимое с нашими юношескими идеалами, нашим самоуважением и уважением друг к другу.

Разумеется, эпоха была виновата в том, что у нас сложилось ясное сознание: вознесенные к официальной славе – все или почти – получили ее кривыми путями и не по заслугам. Мы понимали так: если лауреат Сталинской премии, то почти, наверное, угодливая бездарность; если академик, то нужны какие-то совершенно исключительные свидетельства, чтобы поверить, что не дутая величина и не проходимец. В нас это сидело крепко и в сущности сидит до сих пор. Поэтому никакие звания и почести не могут нам приносить того беспримесного счастья, о котором щебечут в таких случаях нынешние средства массовой информации. Если нам их все-таки по каким-то причинам дают, нам их носить неловко.

«Устарело! – говорят нам. – Теперь уже всё по-другому, теперь есть возможность награждать достойных». Хотелось бы верить. И есть уже, конечно, немало случаев, когда это, несомненно, так. Но чтобы уже отжил и исчез сам фундаментальный принцип, свидетельств как-то еще маловато...

А между тем наше восприятие российского мира не было пессимистическим. Мы ощущали так: наряду с насквозь фальшивой официальной иерархией существует подпольный гамбургский счет. Существуют гонимые художники, которые, конечно, лучше официальных. Существует – в самиздате – настоящая литература, которая, конечно, выше публикуемой. Существуют не получающие никакого официального признания замечательные ученые. И для того, чтобы что-то заслужить по гамбургскому счету нужен только истинный талант, угодливости и пронырства не требуется.

Разумеется, материальные успехи определялись официальной иерархией, а не подпольной. Но мы же в соответствии с духом эпохи смотрели свысока на материальную сторону жизни. Западная формула: «Если ты умный, почему же ты бедный?» – была для нас очевидным свидетельством убогости такого типа мышления.

Ныне нам приходится расставаться с этим советским идеализмом. Для молодого поколения большой проблемы тут нет. Западная формула уже не кажется им убогой. Но нашему поколению полностью уже не перестроиться.

Мне хотелось бы сказать также несколько слов о моей упоминавшейся здесь книге про «Слово о полку Игореве». Мне иногда говорят про нее, что это патриотическое сочинение. В устах одних это похвала, в устах других – насмешка. И те, и другие нередко меня называют сторонником (или даже защитником) подлинности «Слова о полку Игореве».

Я это решительно отрицаю.

Полагаю, что во мне есть некоторый патриотизм, но скорее всего такого рода, который тем, кто особенно много говорит о патриотизме, не очень понравился бы.

Мой опыт привел меня к убеждению, что если книга по такому «горячему» вопросу, как происхождение «Слова о полку Игореве», пишется из патриотических побуждений, то ее выводы на настоящих весах уже по одной этой причине весят меньше, чем хотелось бы.

Ведь у нас не математика – все аргументы не абсолютные. Так что если у исследователя имеется сильный глубинный стимул «тянуть» в определенную сторону, то специфика дела, увы, легко позволяет эту тягу реализовать – а именно, позволяет находить всё новые и новые аргументы в нужную пользу, незаметно для себя самого раздувать значимость аргументов своей стороны и минимизировать значимость противоположных аргументов.

В деле о «Слове о полку Игореве», к сожалению, львиная доля аргументации пронизана именно такими стремлениями – тем, у кого на знамени патриотизм, нужно, чтобы произведение было подлинным; тем, кто убежден в безусловной и всегдашней российской отсталости, нужно, чтобы было поддельным. И то, что получается разговор глухих, в значительной мере определяется именно этим.

Скажу то, чему мои оппоненты (равно как и часть соглашающихся), скорее всего, не поверят. Но это всё же не основание для того, чтобы этого вообще не говорить.

Действительным мотивом, побудившим меня ввязаться в это трудное и запутанное дело, был отнюдь не патриотизм. У меня нет чувства, что я был бы как-то особенно доволен от того, что «Слово о полку Игореве» написано в XII веке, или огорчен от того, что в XVIII. Если я и был чем-то недоволен и огорчен, то совсем другим – ощущением слабости и второсортности нашей лингвистической науки, если она за столько времени не может поставить обоснованный диагноз лежащему перед нами тексту.

У лингвистов, казалось мне, имеются гораздо большие возможности, чем у других гуманитариев, опираться на объективные факты – на строго измеренные и расклассифицированные характеристики текста. Неужели текст не имеет совсем никаких объективных свойств, которые позволили бы отличить древность от ее имитации?

Попытка раскопать истину из-под груды противоречивых суждений в вопросе о «Слове о полку Игореве» была также в значительной мере связана с более общими размышлениями о соотношении истины и предположений в гуманитарных науках – размышлениями, порожденными моим участием в критическом обсуждении так называемой «новой хронологии» Фоменко, провозглашающей поддельность едва ли не большинства источников, на которые опирается наше знание всемирной истории.

Все мы понимаем, что в стране происходит великое моральное брожение.

Близ нас на Волоколамском шоссе, где годами нависали над людьми гигантские лозунги «Слава КПСС» и «Победа коммунизма неизбежна», недавно на рекламном щите можно было видеть исполненное столь же громадными буквами: «Всё можно купить!». Столь прицельного залпа по традиционным для России моральным ценностям я не встречал даже в самых циничных рекламах.

Вот Сцилла и Харибда, между которыми приходится искать себе моральную дорогу нынешнему российскому человеку.

Моральных, этических и интеллектуальных проблем здесь целый клубок.

По характеру моих занятий мне из них ближе всего тот аспект – пусть не самый драматичный, но всё же весьма существенный, – который касается отношения к знанию.

Вместе с яростно внушаемой нынешней рекламой агрессивного-гедонистической идеей «Возьми от жизни всё!» у множества людей, прежде всего молодежи, произошел также и заметный сдвиг в отношении к знанию и к истине.

Не хочу, однако, обобщать поспешно и чрезмерно. Всю жизнь, начиная с 25-летнего возраста (с одним не очень большим перерывом), я в той или иной мере имел дело со студентами. И это общение всегда было окрашено большим удовлетворением. Наблюдая сейчас за работой тех довольно многочисленных лингвистов, которых я в разное время видел перед собой на студенческой скамье, я чувствую, что их отношение к науке и способ действия в науке мне нравятся. И студенты, с которыми я имею дело теперь, по моему ощущению, относятся к своему делу с ничуть не меньшей отдачей и энтузиазмом, чем прежние.

Но за пределами этой близкой мне сферы я, к сожалению, ощущаю распространение взглядов и реакций, которые означают снижение в общественном сознании ценности науки вообще и гуманитарных наук в особенности.

Разумеется, в отношении гуманитарных наук губительную роль играла установка советской власти на прямую постановку этих наук на службу политической пропаганде. Результат: неверие и насмешка над официальными философами, официальными историками, официальными литературоведами. Теперь убедить общество, что в этих науках бывают выводы, не продиктованные властью предрешающими или не подлаженные под их интересы, действительно, очень трудно.

И напротив, всё время появляющиеся то тут, то там сенсационные заявления о том, что полностью ниспровергнуто то или иное считавшееся общепризнанным утверждение некоторой гуманитарной науки, чаще всего истории, подхватываются очень охотно, с большой готовностью. Психологической основой здесь служит мстительное удовлетворение в отношении всех лжецов и конъюнктурщиков, которые так долго навязывали нам свои заказные теории.

И надо ли говорить, сколь мало в этой ситуации люди склонны проверять эти сенсации логикой и здравым смыслом.

Мне хотелось бы высказаться в защиту двух простейших идей, которые прежде считались очевидными и даже просто банальными, а теперь звучат очень немодно:

1. Истина существует, и целью науки является ее поиск.

2. В любом обсуждаемом вопросе профессионал (если он, действительно, профессионал, а не просто носитель казенных титулов) в нормальном случае более прав, чем дилетант.

Им противостоят положения, ныне гораздо более модные:

1. Истины не существует, существует лишь множество мнений (или, говоря языком постмодернизма, множество текстов).

2. По любому вопросу ничье мнение не весит больше, чем мнение кого-то иного. Девочка-пятиклассница имеет мнение, что Дарвин неправ, и хороший тон состоит в том, чтобы подавать этот факт как серьезный вызов биологической науке.

Это поветрие – уже не чисто российское, оно ощущается и во всём западном мире. Но в России оно заметно усилено ситуацией постсоветского идеологического вакуума.

Источники этих ныне модных положений ясны:

– действительно, существуют аспекты мироустройства, где истина скрыта и, быть может, недостижима;

– действительно, бывают случаи, когда непрофессионал оказывается прав, а все профессионалы заблуждаются.

Капитальный сдвиг состоит в том, что эти ситуации воспринимаются не как редкие и исключительные, каковы они в действительности, а как всеобщие и обычные.

И огромной силы стимулом к их принятию и уверованию в них служит их психологическая выгодность. Если все мнения равноправны, то я могу сесть и немедленно отправить и мое мнение в Интернет, не затрудняя себя многолетним учением и трудоемким знакомством с тем, что уже знают по данному поводу те, кто посвятил этому долгие годы исследования.

Психологическая выгодность здесь не только для пишущего, но в не меньшей степени для значительной части читающих: сенсационное опровержение того, что еще вчера считалось общепринятой истиной, освобождает их от ощущения собственной недостаточной образованности, в один ход ставит их выше тех, кто корпел над изучением соответствующей традиционной премудрости, которая, как они теперь узнали, ничего не стоит.

От признания того, что не существует истины в некоем глубоком философском вопросе, совершается переход к тому, что не существует истины ни в чём, скажем, в том, что в 1914 году началась Первая мировая война. И вот мы уже читаем, например, что никогда не было Ивана Грозного или что Батый – это Иван Калита. И что много страшнее, прискорбно большое количество людей принимает подобные новости охотно.

А нынешние средства массовой информации, увы, оказываются первыми союзниками в распространении подобной дилетантской чепухи, потому что они говорят и пишут в первую очередь то, что должно производить впечатление на массового зрителя и слушателя и импонировать ему, – следовательно, самое броское и сенсационное, а отнюдь не самое серьезное и надежное.

Я не испытываю особого оптимизма относительно того, что вектор этого движения каким-то образом переменится, и положение само собой исправится. По-видимому, те, кто осознаёт ценность истины и разлагающую силу дилетантства и шарлатанства и пытается этой силе сопротивляться, будут и дальше оказываться в трудном положении плывущих против течения. Но надежда на то, что всегда будут находиться и те, кто все-таки будет это делать.

Рекомендуемая литература

1. Хапачев Ю.П., Дышеков А.А., Оранова Т.И., Шустова Т.И. и Ивахненко Е.Н. Концепции современного естествознания. – 3-е изд. / под ред. Ю.П. Хапачева. – Нальчик: Каб.-Балк. ун-т, 1997. – 272 с.
2. Хапачев Ю.П. Фундаментальные константы химии и биологии // Российский химический журнал (Журнал Российского химического общества им. Д.И. Менделеева). – 2000. – Т. 44. – Вып. 3. – С. 3–6.
3. Квасников И.А. Термодинамика и статистическая физика. Теория равновесных систем. – М.: МГУ, 1991. – 800 с.
4. Моисеев Н.Н. Человек и ноосфера. – М.: Молодая Гвардия, 1990. – 352 с.
5. Lighthill J. The Recognized Failure of Predictability in Newtonian Dynamics // Proceedings of the Royal Society. – 1986. – P. 35–50.
6. Poincare H. Methodts nouvelles de la mecanique celeste. – Paris: Gauthies Villars, 1882.
7. Тейбор М. Хаос и интегрируемость в нелинейной механике. – М.: Эдиториал УРСС. 2001. – 320 с.
8. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Механика. – М.: Наука, 1965. – 204 с.
9. Пуанкаре А. Новые методы небесной механики // Избранные труды. Т. 1, 2. – М.: Наука, 1971–1972.
10. Арнольд В.И., Авец А. Эргодические проблемы классической механики // Серия «Регулярная и хаотическая динамика». – 1999. – № 11. – 281 с.
11. Сборник воспоминаний, посвященных великому ученому России крупнейшему математику XX века академику Андрею Николаевичу Колмогорову / ред.-сост. А.Н. Ширяев. – М.: Наука, 1993. – С. 633–733.
12. Лихтенберг А., Либерман М. Регулярная и стохастическая динамика. – М.: Мир, 1984. – 528 с.
13. Пригожин И., Стенгерс И. Время, хаос, квант. – М.: Прогресс, 1999. – 266 с.
14. Климонтович Ю.Л. Критерии относительной степени упорядоченности открытых систем // УФН. – 1996. – Т. 166, № 11. – С. 1231–1243.
15. Арнольд В.И. Теория катастроф. – М.: Наука, 1990. – 128 с.
16. Медников Б.М. Аксиомы биологии. – М.: Знание, 1982. – 136 с.
17. Аветисов В.А., Гольданский В.И. Физические аспекты нарушения зеркальной симметрии биоорганического мира // УФН. – 1996. – Т. 166, № 8. – С. 873–891.
18. Шустова Т.И., Хапачев Ю.П. Физиологические основы жизнедеятельности человека, его поведения и потребностей. – Нальчик: Каб.-Балк. ун-т, 1996. – 80 с.
19. Гумилев Л.Н. От Руси до России. – СПб.: ЮНА, 1992. – 270 с.
20. Неeman Ю. Счастливый случай, наука и общество. Эволюционный подход // Путь. – 1993. – № 4. – С. 70–90.
21. Марков А.В. Рождение сложности. Эволюционная биология сегодня. Неожиданные открытия и новые вопросы. – М.: Астрель, Corrus, 2015.
22. Марков А.В. Эволюция человека. Книга 1. Обезьяны, кости и гены. – Corrus, 2012. – Т. 1. – 496 с. – (Династия). – 5000 экз.
23. Марков. А.В. Эволюция человека. Книга 2. Обезьяны, нейроны и душа. – Corrus, 2011. – Т. 2. – 512 с. – (Династия). – 5000 экз.
24. Хапачев Ю.П., Дышеков А.А., Оранова Т.И. Современная естественно-научная картина мира. Курс лекций. – Нальчик: Каб.-Балк. ун-т, 2013. – 101 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	4
Введение	7
Часть I. Мир как физическая система	28
Лекция 1. Дискурсия и интуиция. Критерий очевидности. Проблема научной аксиоматики	28
Лекция 2. Концепция дискретности и континуальности в описания природы. Структурные уровни организации материи. Роль фундаментальных мировых констант	38
Лекция 3. Законы сохранения как следствие симметричных свойств пространства и времени	42
Лекция 4. Пространственно-временной континуум как следствие фундаментальной константы – скорости света	45
Лекция 5. Геометрия пространства–времени. Гравитация как следствие геометрии в парадигме Эйнштейна	50
Лекция 6. Входим в микромир. Константа планка и волна Де-Бройля. Принцип неопределенности Гейзенберга. Спин	56
Лекция 7. Четыре фундаментальных взаимодействия: гравитационное, электромагнитное, слабое и сильное	66
Лекция 8. Сценарий «Сотворения Мира»	70
Лекция 9. Закономерности макромира. Начала термодинамики. Константа Больцмана	79
Лекция 10. Необходимые условия самоорганизации. Закономерности возникновения диссипативных структур. Универсальный критерий эволюции Гленсдорфа–Пригожина	84
Лекция 11. Критерий относительной упорядоченности живых систем. Эволюция и деградация. Основные закономерности перестроек	94
Часть II. Химические системы	104
Лекция 12. Некоторые аксиомы химии. Время жизни активированного комплекса как фундаментальная химическая константа	104
1. Химические реакции и их энергетика	104
2. Теория активированного комплекса	105
Лекция 13. Самоорганизация на химическом уровне. Концептуальные системы химии	107
1. Реакция Белоусова-Жаботинского	107
2. Катализ, его критерии и сущность	110
Лекция 14. Концептуальные системы химии. Химическая эволюция и биогенез	114
1. Концептуальные системы химии	114
2. Химическая эволюция и биогенез	116
Лекция 15. Теория саморазвития открытых каталитических систем	119
1. Критерии сложности в химии	119
2. Теория саморазвития открытых каталитических систем (эволюционный катализ)	121
3. Общая теория химической эволюции и биогенез	125
4. Самая главная химическая реакция	126

Часть III. Живые системы	129
Лекция 16. Эволюция. Аксиомы биологии и биологические константы	129
Лекция 17. Теория РНК мира. О не и возможности наследования приобретенных принципов, лучше А.В. Маркова не скажешь	144
Лекция 18. Митохондриальная Ева и игрек-хромосомный Адам	150
Лекция 19. Физиологические основы жизнедеятельности живых информационных систем	156
Лекция 20. Высшая нервная деятельность. Психика и сознание. Физические и химические поля человека	172
Лекция 21. Структура и классификация потребностей человека. Психосоматические и психофизические расстройства. Связь психосоматической патологии с мозговыми структурами	183
Лекция 22. Гены влияют. Зеркальные нейроны. Красота и мозг Политогам пора учить генетику (и снова частично А. Марков)	201
Часть IV. Этногенез	216
Лекция 23. Философско-исторический и естественно-научный подходы к проблеме этногенеза	216
Часть V. Закона природы как объект современной науки и как эстетическая категория	225
Лекция 24. Панорама «существования» a vol d'oiseau (с высоты птичьего полета). Проблема эволюции науки. Информационные носители социальной эволюции. Парадигма естественной и гуманитарной культур	225
Заключение	229
Постскриптум	230
Рекомендуемая литература	234
Содержание	236



НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Редактор-корректор *Л.З. Кулова*

Компьютерная верстка *В.Н. Мидовой*

Подписано в печать 22.01.2018. Формат 60x84 ¹/₈.
Печать цифровая. Бумага офсетная. 13.02 усл.п.л. 13.0 уч.-изд.л
Тираж 1001 экз. Заказ № 100.

Оперативная полиграфия «Binding2016».
360004, г. Нальчик, ул. Тургенева, 68.

