

Ю.П. Хапачев, А.А. Дышеков, Т.И. Оранова

СОВРЕМЕННАЯ ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНАЯ КАРТИНА МИРА

Курс лекций



НАЛЬЧИК

2013

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КАБАРДИНО-БАЛКАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. Х.М. БЕРБЕКОВА»

Ю.П. Хапачев, А.А. Дышеков, Т.И. Оранова

СОВРЕМЕННАЯ ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНАЯ КАРТИНА МИРА

Курс лекций

НАЛЬЧИК
2013

УДК 50.312 (075.3)
ББК 2 я73
Х12

Рецензент:

доктор физико-математических наук, профессор
кафедры Физики твердого тела Московского государственного
университета им. М.В. Ломоносова

В.А. Бушуев

Авторы: Хапачев Ю.П., Дышеков А.А., Оранова Т.И.

Х12 Хапачев, Ю. П. Современная естественнонаучная картина мира
[Текст] : курс лекций / Ю. П. Хапачев, А. А. Дышеков, Т. И. Ора-
нова. – Нальчик : Каб.-Балк. ун-т, 2013. – 101 с. – 500 экз.

Учебное издание предназначено для студентов, изучающих дисципли-
ны «Естественнонаучная картина мира» и «Современная научная картина
мира» по направлению подготовки 050100.62 «Педагогическое образование»
и по направлению подготовки 040400.62 «Социальная работа».

Учебное пособие написано в соответствии с Федеральным государст-
венным образовательным стандартом высшего профессионального образова-
ния по соответствующим направлениям подготовки.

Издание предназначено для студентов гуманитарных и естественно-
научных специальностей, обучающихся по программам бакалавриата.

Рекомендовано РИСом университета

УДК 50.312 (075.3)
ББК 2 я73

© Кабардино-Балкарский
государственный университет, 2013

Предисловие

Этот пункт написан согласно «Положению о порядке присвоения грифа КБГУ учебным изданиям».

Учебное пособие предназначено для преподавания дисциплин базовой части математического и естественнонаучного цикла «Естественнонаучная картина мира» и «Современная научная картина мира» студентам очной формы обучения по направлениям подготовки 050100.62 «Педагогическое образование» в 1 семестре и по направлению подготовки 040400.62 «Социальная работа» в 1 и 2 семестрах.

Учебное пособие и рабочие программы составлены с учетом Федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлению подготовки 050100.62 «Педагогическое образование», утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации 17 января 2011 г. № 46 и по направлению подготовки 040400.62 «Социальная работа», утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации 8 декабря 2009 г. № 709.

Основные задачи курсов:

- понимание задач и возможностей рационального естественнонаучного метода, и его доминирования в рамках данных курсов по отношению к художественному и иррациональному методам освоения действительности;
- изучение и понимание сущности фундаментальных законов природы, определяющих облик современного естествознания, к которым сводится множество частных закономерностей физики, химии и биологии, а также ознакомление с принципами научного моделирования природных явлений;
- формирование ясного представления о физическом, химическом и биологическом проявлениях единой картины мира как основе целостности и многообразия природы;
- понимание принципов преемственности, соответствия и непрерывности в изучении природы, а также необходимости смены адекватного языка

описания по мере усложнения природных систем: от квантовой и статистической физики к химии и молекулярной биологии, от неживых систем к клетке, живым организмам, человеку, биосфере и обществу;

– понимание сущности жизни, принципов основных жизненных процессов. Осознание природы, базовых потребностей и возможностей человека. Формирование представлений о смене типов научной рациональности, о революциях в естествознании и смене научных парадигм как ключевых этапах развития естествознания;

– понимание роли исторических и социокультурных факторов и законов самоорганизации и в процессе развития естествознания и техники, в процессе диалога науки и общества.

Место дисциплин в структуре ООП ВПО.

Дисциплины «Естественно-научная картина мира» (ЕНКМ) и «Современная научная картина мира» (СНКМ) относятся к базовой части учебного цикла Б2 – математический и естественнонаучный цикл для направления 050100 «Педагогическое образование» и направления 040400.62 «Социальная работа». При формировании учебного пособия учитывалось, что математический и естественнонаучный цикл должен составлять единый блок и изучаться на начальной стадии основной образовательной программы (ООП) ВПО.

Для освоения дисциплины требуются базовые знания из курса средней школы по естественным наукам и математике.

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

А.С. Пушкин

ВВЕДЕНИЕ

Данный курс лекций соответствует семестровой программе и является адаптированным и сокращенным материалом книги «Концепции современного естествознания», написанной авторами совместно с Т.И. Шустовой и Е.Н. Ивахненко [1]. Первое издание книги вышло в 1995 г., второе в 1996 г. и третье, рекомендованное Министерством общего и профессионального образования РФ в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по гуманитарным специальностям, в 1997 г.

Отдельные идеи взяты нами из трудов И.Р. Пригожина, О.П. Спиридонова, В.И. Арнольда, П. Дэвиса, 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 К. Гёделя 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 книги проблеме. Кроме того, это позволило сказать *multa paucis*.

Кроме того, при написании курса использованы лекции Ю.П. Хапачева на пленарных заседаниях конференции Соросовских учителей. 1998 г. – «Самоорганизация и перестройки (частный случай теории катастроф) на физическом, химическом, биологическом и социальном уровне» и в 1999 г. – «Влияние фундаментальных физических констант на химические и биологические процессы», краткое содержание которых опубликовано в виде статьи

«Фундаментальные константы химии и биологии» в Российском химическом журнале [2]. В связи со сказанным, также как и упомянутая книга, курс лекций предназначен *не только для студентов, но и для преподавателей* (как средних школ, так и вузов) ведущих аналогичные по смыслу и содержанию дисциплины, и должен способствовать их верной ориентации в выборе концепций современной естественнонаучной картины мира. В конце книги приведены тесты и ответы к ним, знание которых, по нашему мнению, являются необходимым багажом человека с высшим образованием. Ссылки, на минимально необходимую литературу для дополнительного чтения даны непосредственно в тексте лекций и в конце книги. Ознакомившись с этим списком, читатель поймет, что рассчитанный на один и даже два семестра суммарный объем литературы этого списка превышает разумные нормы восприятия нормального студента даже в случае его исключительного прилежания. В конце концов, все прочитать нельзя и важно не то, сколько человек прочитал, а то, сколько полезного извлек из этого минимума. Каждой лекции предшествует эпиграф, коим авторы старались обратить внимание читателей на огромный пласт великой гуманитарной культуры без знакомства с которым, по нашему убеждению, нельзя считаться сколько-нибудь образованным человеком.

Методические рекомендации

Этот пункт также написан согласно «Положению о порядке присвоения грифа КБГУ учебным изданиям».

Для освоения дисциплины достаточны знания, полученные студентами в средней школе по математике, физике, химии и биологии.

Пособие состоит из оглавления, предисловия, введения, методических рекомендаций, основного содержания лекционного материала, контрольных вопросов и тестов, заключения и списка рекомендованной литературы.

Структура дисциплины ЕНКМ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единицы (72 часа).

Вид работы	Трудоемкость, часов	
	1 семестр	всего
Общая трудоемкость	72	72
Аудиторная работа:	36	36
<i>Лекции (Л)</i>	18	18
<i>Практические занятия (ПЗ, включая 7 ч. в интерактивной форме</i>	18	18
<i>Лабораторные работы (ЛР)</i>	0	0
Самостоятельная работа:	36	36
Курсовой проект (КП), курсовая работа (КР)	0	0
Расчетно-графическое задание (РГЗ)	0	0
Реферат (Р)	0	0
Эссе (Э)	0	0
Самостоятельное изучение разделов	18	18
Контрольная работа (К)	0	0
Самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к лабораторным и практическим занятиям, коллоквиумам, рубежному контролю и т.д.)	18	18
Подготовка и сдача экзамена	0	0
Вид итогового контроля (зачет, экзамен)	0	0

Структура дисциплины СНКМ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных единиц (216 часов).

Вид работы	Трудоемкость, часов		
	1 семестр	2 семестр	всего
Общая трудоемкость	86	130	216
Аудиторная работа:	36	54	90
<i>Лекции (Л), включая 18 ч. в интерактивной форме</i>	18	18	36
<i>Практические занятия (ПЗ)</i>	18	36 (18СП)	54 (36СП)
<i>Лабораторные работы (ЛР)</i>	0	0	0
Самостоятельная работа:	40	59	99
Курсовой проект (КП), курсовая работа (КР)	0	0	0
Расчетно-графическое задание (РГЗ)	0	0	0
Реферат (Р)	0	0	0
Эссе (Э)	0	0	0
Самостоятельное изучение разделов	20	30	50
Контрольная работа (К)	0	0	0
Самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к лабораторным и практическим занятиям, коллоквиумам, рубежному контролю и т.д.)	20	20	40
Подготовка и сдача экзамена		9	9
Вид итогового контроля (зачет, экзамен)	11	16	27

В качестве справочно-сопроводительного материала мы рекомендуем следующий Интернет-ресурс: Лекции профессора А. К. Иванов-Шица «Вселенная, жизнь, разум».

<http://www.limm.mgimo.ru/science/intro.html>
http://www.limm.mgimo.ru/science/lect_1.html
http://www.limm.mgimo.ru/science/lect_2.html
http://www.limm.mgimo.ru/science/lect_3.html
http://www.limm.mgimo.ru/science/lect_4.html
http://www.limm.mgimo.ru/science/lect_5.html
http://www.limm.mgimo.ru/science/lect_6.html
http://www.limm.mgimo.ru/science/lect_7.html
http://www.limm.mgimo.ru/science/lect_8.html
http://www.limm.mgimo.ru/science/lect_9.html
http://www.limm.mgimo.ru/science/lect_10.html
http://www.limm.mgimo.ru/science/lect_11.html
http://www.limm.mgimo.ru/science/lect_12.html
http://www.limm.mgimo.ru/science/lect_13.html
http://www.limm.mgimo.ru/science/lect_14.html

СОДЕРЖАНИЕ КУРСА А.К. ИВАНОВ–ЩИЦА

Вступительная лекция

НАУЧНОЕ И ХУДОЖЕСТВЕННОЕ ОПИСАНИЕ МИРА. НАУКА И ЕЕ ИСТОКИ. ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ. НАУЧНЫЙ ПОДХОД

Тема 1. Размышления о Вселенной

Системы мира древних. Вселенная И. Ньютона. Вселенная А. Эйнштейна. Разбегание галактик. Эффект «красного смещения». Нестационарная Вселенная А.А. Фридмана. Четырехмерный мир.

Тема 2. Теория относительности

Принцип относительности Г. Галилея. Скорость света. Специальная теория относительности А. Эйнштейна.

Тема 3. Гравитация

Неинерциальные системы. Гравитация и течение времени. Геометрия пространства-времени. Общая теория относительности А. Эйнштейна. Горячая Вселенная.

Тема 4. Микромир – мир элементарных частиц

Корпускулярно-волновой дуализм. Строение атома и элементарные частицы. Четыре вида физических взаимодействий: гравитационные, электромагнитные, сильные, слабые.

Тема 5. Эволюция Вселенной – от рождения до ... будущего

Зарождение и развитие Вселенной. Звезды, Галактики и другие структуры Вселенной.

Революция в физике. Антигравитация. Будущее Вселенной.

Тема 6. Современная химия или чем определяются свойства материалов?

Химические элементы и химические связи. Состояния вещества.

Тема 7. Самоорганизация

Почему из хаоса возникают сложные, упорядоченные системы? Неравновесные процессы и открытые системы. Диссипативные структуры. Устойчивость и неустойчивость. Критические состояния. Бифуркации. Асимметрия.

Тема 8. Солнечная система

Гипотезы происхождения Солнечной системы. Самоорганизующаяся система – Земля. Строение глубинных оболочек Земли. Концепция тектоники литосферных плит. Возникновение атмосферы и гидросферы.

Тема 9. У истоков жизни. Теории появления живого

Самопроизвольное зарождение жизни из неживого вещества. Вечное существование жизни. Занесение жизни на Землю из Космоса. Биохимические теории зарождения жизни. Биохимическая эволюция. Роль планеты Земля в развитии живого.

Тема 10. Живая клетка

Как можно «построить» клетку? Доклеточная стадия. Мир РНК. Зеркальная асимметрия природы.

Тема 11. Генетическая информация

Молекула ДНК. Репликация ДНК. Генетический код. Генетическая инженерия.

Тема 12. Эволюция живого

Основные вехи эволюционного развития организмов. Где возник человек современного типа? Мультирегиональная модель. Модель «исхода из Африки». О современной дискуссии по поводу теории эволюции.

Тема 13. Эволюция биосферы

Два понятия биосферы. Геологические оболочки Земли. Биосфера как геологическая оболочка Земли. Ноосфера. Переход биосферы в ноосферу. Будущее Земли.

Тема 14. Антропный принцип и развитие Вселенной

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

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

Начиная наш 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.

Человечество, в процессе своего развития создало два вида культуры: **естественную и гуманитарную**. 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, рис. 1.



Рис. 1. Поезд «Жмеринка–Париж» движется со скоростью $v_{\text{п}}$, скорость тов. Бендера на поезде $v_{\text{б}}$. Угадайте, какая скорость тов. Бендера относительно Жмеринского вокзала?

Скорость поезда $v_{\text{п}}$ известна, скорость Остапа Ибрагимовича относительно поезда $v_{\text{б}}$ 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 $V = v_{\text{п}} + v_{\text{б}}$, если против движения, то $V = v_{\text{п}} - v_{\text{б}}$. Просто, но абсолютно неверно! Сейчас не станем объяснять, почему эти простые формулы «школьной» физики, не смотря 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 ($K/L \leq 1$). 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 села» т.е. порядка несколько десятков 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/сек) значительно меньше скорости света ($c \approx 3 \cdot 10^8$ м/сек). 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.

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 отдавать 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 Птолемеем 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, остановить 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.

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 интуитивное суждение называется *интуицией-суждением* (которое не сводится к каким либо аксиомам, так как само оно и 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.

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

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

Еще в античные времена были сформулированы две взаимно исключающие 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 и осуществлением с их помощью уже в нашем веке М. Лауэ, а также отцом и сыном У.Л. Брэггом и У.Г. Брэггами дифракции 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 М.В. Ломоносов, 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. Авогадро 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** $N_A = 6,0227 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ (в дальнейшем нам существенен именно порядок этой величины, а не ее размерность – моль^{-1}).

Гипотеза А. Авогадро закрепила, по существу, 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 и следующее, что еще в XIX в. возникает новое понятие – **количество вещества**, и уже в XX веке становится понятным, что **число Авогадро** является, по существу, **достаточным условием макросостояния**. Необходимого условия мы не знаем. 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 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:

$$\text{макро/микро} \approx \text{мега/макро}.$$

В рамках нашего курса мы должны охарактеризовать не только каждый из этих иерархических уровней, но и также посредством чего осуществляется та или иная иерархия. Что является своеобразным «клеем», делающим возможным существование этих уровней? Оказывается, что в роли 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.

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

Ф.И. Тютчев

Лекция 3. ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ КАК СЛЕДСТВИЕ СИММЕТРИЙНЫХ СВОЙСТВ ПРОСТРАНСТВА И ВРЕМЕНИ

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

Остановимся вначале на двух, в большей степени для нас вспомогательных, понятиях: однородности и изотропности. 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*.

Таким образом, отличие двух определений 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 неизотропна. Таким образом, два наших агента (каждый из которых по условиям задачи

абсолютно правдив) представили нам совершенно противоположную информацию. Этот пример приводит 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 поставленный 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 аксиом, т.е. физических законов, нам нужно, 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 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 $\mathbf{L} = [\mathbf{r}\mathbf{P}] = \text{const}$. ($\mathbf{L}$ – это векторное произведение двух векторов $\mathbf{r}$ и $\mathbf{P}$).

Таким образом, в ньютоновском формализме всего шесть исходных аксиом. Здесь мы специально не останавливаемся пока на законе тяготения. 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 объ-

ективными агентами, которые отвечают на вопросы об однородности или неоднородности времени, пространства и о изотропности или нет последнего. То есть там где закон сохранения механической энергии выполняется время течет однородно, и наоборот, там где время течет неоднородно, энергия неведь откуда может возникнуть или пропасть. 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 меньшей симметрией по сравнению с однородным. Аналогично, переход от изотропного пространства к неизотропному также сопровождается уменьшением симметрии.

Второй пример. Мы должны договориться, что хаотическое состояние, обладающее минимальным порядком, является более симметричным состоянием, 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 большей 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 большей 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 симметрична, чем каждая из двух других. Представленные примеры в дальнейшем будут нам очень нужны для объяснения чрезвычайно важных закономерностей.

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

Лекция 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, названные его именем. Уравнения Д. Максвелла прекрасно описывают все законы электромагнетизма, 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. 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 глобальной 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_n .

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?

Анализируя математическую структуру уравнений Максвелла, 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 эти 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)?

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, уж 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. Поэтому, несмотря на то, что они следовали из абсолютно правильной системы уравнений Максвелла, 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 ясна *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. 2. Он состоит из четырех зеркал, два из которых попарно параллельны друг другу. Суть эксперимента заключалась в том, что два параллель-

ных 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_z , поэтому измерение вроде бы должно давать величину $c + v_z$. Для скорости в обратном направлении, следуя этой логике, мы должны получить величину $c - v_z$, 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 .

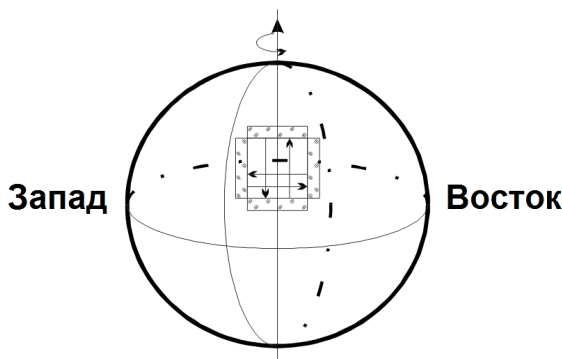


Рис. 2. Интерферометр Майкельсона схематически изображен на поверхности Земли. На свет, распространяющийся по меридиану, вращение Земли никак не сказывается. При распространении света по параллели вращение Земли опять-таки на него никак не сказывается, несмотря на очевидный результат задачи о поезде Жмеринка–Париж

Чтобы не покушаться на «священную корову» – преобразования Галилея, а значит и формулу (2), физики придумали для эфира целый ряд уникальных свойств («сущностей»), так 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 новых 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 это была публикация в малоизвестном научном журнале, выходившем в столице Сицилийской мафии городе Палермо. Наверное, поэтому на нее 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 четырехмерных пространственно-временной интервал (идея, также впервые предложенная А. Пуанкаре):

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

Выражение (6) – аналог теоремы Пифагора в 4-х мерном пространстве. Принципиально важно, что «временное слагаемое» $c^2 t^2$ имеет знак минус. 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**, полученная из анализа математической структуры уравнений Д. Максвелла. 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 зависимость. 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 особенности 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.

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

Лекция 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 абсолютный 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 никакие внешние силы. Именно поэтому пространство Г. Минковского – определенная физическая абстракция, т.к., например, от силы гравитации И. Ньютона 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*. Эта 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 ясно, 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 притягиваться и отклоняться, рис. 3. (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**.

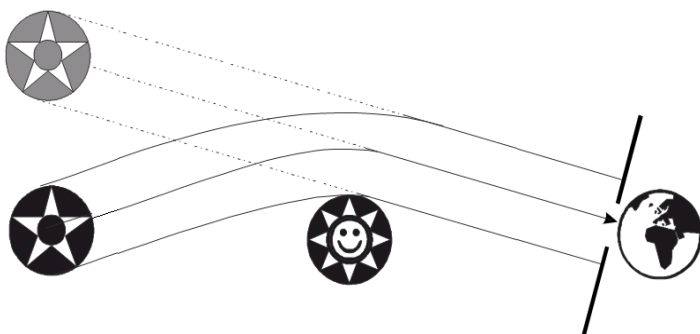


Рис. 3. Проходя вблизи Солнца, луч света от звезды заметно отклоняется из-за вызванного Солнцем искривления пространства. В итоге наблюдаемое в Жмеринке положение звезды на небе смещено относительно своего реального положения

Да, но как быть со «священной коровой» — постоянством скорости света? Дальше хуже, если свет все-таки отклоняется, то тогда возникает трудный 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 гра-

витации 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 геометрию 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 мало известная 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, определяется 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.

Остается выбрать геометрию, гиперболическую или эллиптическую. Для первой сумма углов треугольника $< 180^\circ$, для второй $> 180^\circ$. 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) рис. 4. «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 $L/D < \pi$.

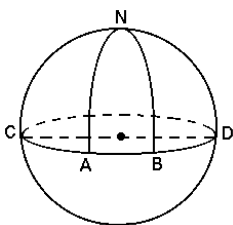


Рис. 4. Иллюстрация метрических соотношений геометрии Римана (сфера) и Евклида (плоскость)

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. Второй – 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 предельно наглядный иллюстративный пример, рис. 5. Представьте себе, что на столе вы натянули, жестко закрепив на краях, резиновую скатерть и нарисовали 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 боль-

шая гравитирующая масса), нежели там где мышка (меньшая масса). Дальнейшее изменение геометрических свойств пространства скатерти в процессе передвижения кошки и мышки представить несложно.

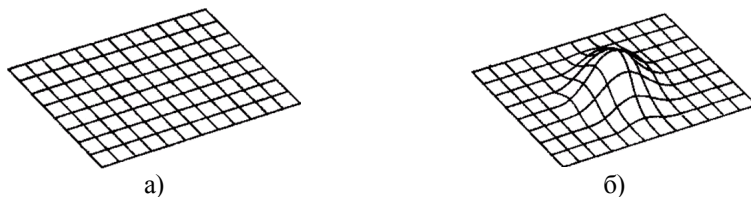


Рис. 5. Плоская и криволинейные поверхности: а) ни кошки, ни мышки – евклидова геометрия; б) мышка убежала, осталась только кошка (одна гравитирующая масса) – геометрия неевклидова

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:

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

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 $F_{Ньют}$ возрастает, но является константой при любом малом R . В отличие от этого $F_{Эйнш}$ становится бесконечно большой при так называемом радиусе Шварцшильда:

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

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 Хабблу) 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 отдаляется 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 $\rho_{кр}$.

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

Омар Хайям

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

Второй ураган, который разразился из маленькой тучки небосклона теоретической физики конца XIX века, был «спровоцирован» М. Планком. Все началось с его доклада 14 февраля 1900 г. «Об излучательной способности черного тела», где им впервые была введена константа, определяющая величину минимального действия $\hbar = 1,05 \cdot 10^{-34}$ 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 $\leq 10^{-7}$ 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 $\hbar$. Следующее по величине значений действия будет $2\hbar$, затем $3\hbar$ 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*.

Следующий революционный шаг был сделан французским физиком Луи де Бройлем в 1924 г. Этим потомком династии Бурбонов (он на самом деле потомок одной из ветвей Бурбонской династии, только правильное произношение фамилии этого Людовика – де Брольи) было высказано фундаментальное для всей теории микромира соображение. Суть его в том, что любой частице, обладающей импульсом p , можно сопоставить определенную длину волны (де Бройля)

$$\lambda = 2\pi \hbar / p. \quad (11)$$

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. Идея де Бройля оказалась столь плодотворной, что практически сразу же Э. Шредингер написал волновое уравнение, являющееся фундаментом всей квантовой механики. Характерно, что в результате решения уравнения Э. Шредингера – волновая ψ -функция является плотностью 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 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.

$$\Delta p_x \Delta x \sim \hbar. \quad (12)$$

Это означает, что ни координату, ни импульс точно измерить одновременно нельзя, а только с точностью до величины $\hbar$. 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 – орбитальной 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. Понятие *направления* (как мы видели на примере закона сохранения момента импульса) занимает центральное место в модели мира, выработан-

ной к настоящему времени. В микромире наивное классическое толкование понятия направления и ориентации становится также недопустимым, как и понятие положения в пространстве. 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 макроскопическом смысле, 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. 6 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.

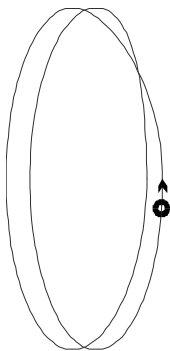


Рис. 6. Двойная петля с бусинкой на ней дает схематическое представление о свойствах спина электрона. При перемещении на один оборот бусинка не возвращается в исходное состояние и требуется еще один поворот, чтобы она оказалась в исходном состоянии

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 полуцелого 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 (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 полуцелым, но имеющим другое значение, например, $3\hbar/2$ или $5\hbar/2$, 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 всего лишь один тип атомов. Эти атомы не могли бы образовывать молекулы, а значит, не было бы химии, и, как следствие, никакой жизни.

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

Ф.И. Тютчев

Лекция 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. У протонов есть некое особое свойство, отсутствующее у электронов. 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 назвали, 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 числом, 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, шесть различных 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. тождест-

венная 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. Многое еще можно сказать, путешествуя по микромиру, но все эти интересные и важные для физики вопросы уведут нас от основной цели данной беседы — основная цель которой следующая.

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 десятичной 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 объяснять 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 затравка 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, потомком знаменитого английского пирата. Г. Кавендиш 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.

Второе фундаментальное взаимодействие – **электромагнитное**, которое мы также знаем со школьной скамьи. Судя по всему, впервые существование электричества установил Фалес Милетский, когда потер 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 нейтронов. 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. счи-

тается 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 ключья 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* – формулировки 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 получаются 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 устойчивость 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

Лекция 8. СЦЕНАРИЙ «СОТВОРЕНИЯ МИРА»

Примерно пятнадцать 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 времени 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. Охарактеризовать хоть сколько-нибудь 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-ми мерную сферу. Если результаты ТВО на са-

мом деле верны, то мы живем в 11-мерном пространстве, в котором $3+1$ – это 4-хмерный 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. 7. 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.

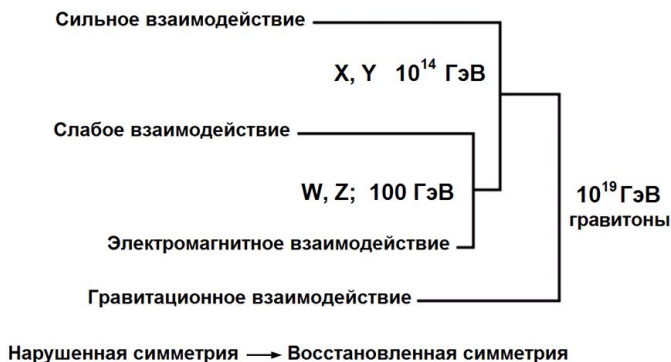


Рис. 7. Энергии объединения различных взаимодействий

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.

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} сек 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 сек 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 сек электроны и позитроны, как это уже было с протонами и нейтронами, взаимоуничтожаются и остается небольшой избыток электронов.

Синтез первых элементов. При температуре 10^7 К и времени 10^4 сек 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 – *квазары 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. Сильный – «Вселенная должна быть таковой, чтобы в ней на некоторой стадии эволюции мог существовать наблюдатель». Слабый – «То, что мы наблюдаем, должно удовлетворять условиям, 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 естественнонаучное значение. Логика развития космологии – науки о происхождении и развитии Вселенной, – должна привести к его исключению как лишней сущности (см. Аксиому 2).

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», написанный профессором А.А. Дышековым в нашей книге «Концепции современного естествознания» [1].

Где начало того конца,
которым оканчивается начало?
Козьма Прутков

«Мысли и афоризмы», № 78

Лекция 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. *смерти*. 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 малым 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 $N_A \approx 6 \cdot 10^{23}$), отвлекаясь от их

конкретной сущности, и поэтому оперирует обобщенными параметрами, такими как *энергия* и *энтропия*. Относительно этих двух характеристик известны три основных закона.

I начало термодинамики – закон сохранения и превращения энергии в самом общем его виде, т.е. учитывающий любые другие формы движения материи. Это 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 у Аристотеля, т.е. еще в III веке до н.э.

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

1. существование для всякой термодинамической системы однозначной функции состояния, называемой *энтропией*. Причем, изменение энтропии равно отношению изменения теплоты к температуре:

$$\Delta S = \Delta Q / T. \quad (11)$$

2. Невозможность самопроизвольного уменьшения энтропии в изолированной системе (изолированная система не обменивается с окружающим пространством ни частицами, ни энергией, ни информацией). 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), максимумом симметрии, и является наиболее вероятным состоянием системы. Попробуем, 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 аттрактор. На рис. 8 схематически представлена эволюция некоторой переменной величины, подчиняющаяся асимптотической устойчивости, 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 аттрактором античного мира.

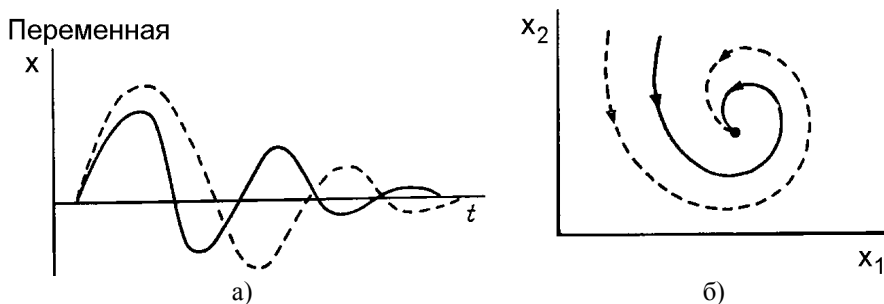


Рис. 8. Два представления об асимптотической устойчивости:
 а) временная эволюция состояния;
 б) фазовые траектории, сходящиеся в аттрактор

II начало, в отличие от первого, не является всеобщим законом природы, оно справедливо только по отношению к изолированным термодинамическим системам. 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 итоге появилась формула для связи вероятности состояния W (характеристика микромира) с энтропией S (характеристика макромира):

$$S = k \ln W, \quad (12)$$

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

Таким образом, переход системы из неравновесного состояния в равновесное сопровождается переходом системы 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 (12). 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 пропорцио-

нальность между S и $\ln W$, но и показал, что в итоговом состоянии с максимумом энтропии, т.е. в аттракторе, вероятность распределения частиц по скоростям подчиняется распределению Максвелла:

$$W(v) \sim \exp(-mv^2/2kT), \quad (13)$$

где m – масса частиц, T – температура. Формула (13) 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.

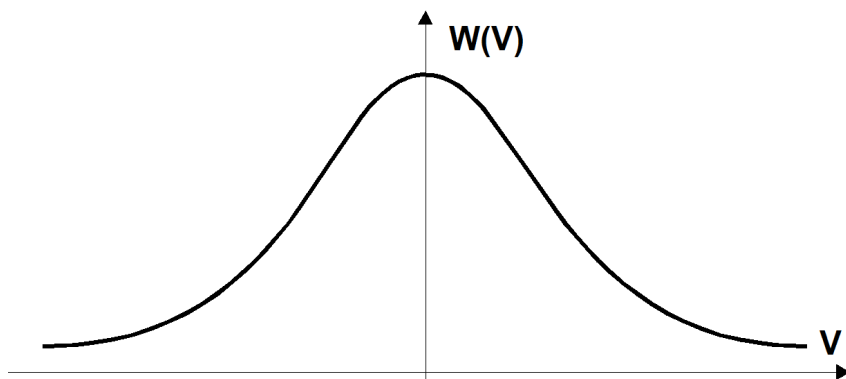


Рис. 9. График функции $W(v) \sim \exp(-mv^2/2kT)$

Из графика на рис. 9 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.

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. Томпсон (лорд Кельвин) – 1851 г., В. Оствальд – 1851 г., Р. Клаузиус – 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. Это материал можно прочесть в пожалуй самом интеллигентном вузовском учебнике «Термодинамика и статистическая физика. Теория равновесных систем» [3], написанным И.А. Квасниковым, влияние которого на одного из авторов (Ю.П. Хапачев), учившего, будучи студентом, одноименный курс по его конспектам лекций поистине огромно и неоценимо.

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

Лекция 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.

Экскурс 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 об-

ласти 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 один 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.

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 зна-

чительно 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, характеризующееся 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. 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.

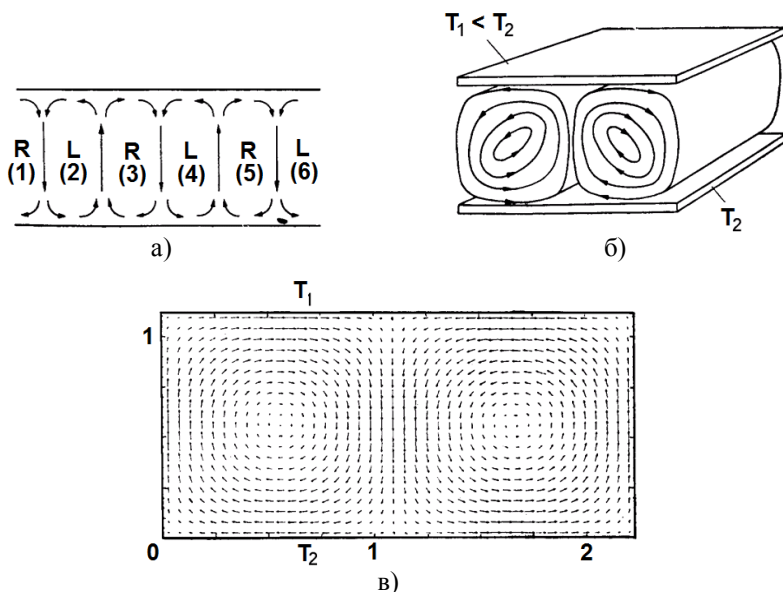


Рис. 10. Два изображения конвективных (бенаровских) ячеек. Обратите внимание на противоположные направления вращения в двух соседних ячейках

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, большая упорядоченность и резкое их (скачком) возникновение**. Эти свойства проявляются в явлениях самоорганизации и в других областях: химии, биологии, а также на социальном уровне.

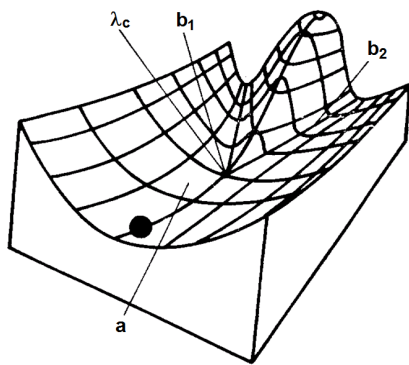


Рис. 11. Механическая иллюстрация бифуркации

Существует 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*, формулировка которого (как и математическая формула) выходит за рамки нашего курса. Однако, согласно Н.Н. Моисееву [4], 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).*

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 сожалеаем 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 широ-

кие 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 располагаем 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 [6], 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:

$$H = E(p_1, \dots, p_N) + U(r_1, \dots, r_N). \quad (14)$$

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 [8]. Это одномерный гармонический осциллятор. Для него гамильтониан имеет вид:

$$P = p^2/2m + kr^2/2, \quad (15)$$

где k – некая упругая постоянная, m – масса.

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

$$H = \omega \cdot J, \quad (16)$$

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 $dp/dt = -\partial H/\partial t = 0$. 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* [9], 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» [10].

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 [7]: «Было бы весьма странно, если бы Природа укрывалась от дальнейшего прогресса познания за аналитическими трудностями проблемы многих тел»

С появлением работ А.Н. Колмогорова (см. библиографию в [11]), 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 [12]. 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 [13], 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 отрывков 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. 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 («*A*» *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 «A»*) по сравнению с полученными результатами (*найденно неизвестное «B»*) 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».

«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?»

Лекция 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 ввиду 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 (от «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 объек-

тивная 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 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 – невозпроизводимые (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 **непредсказуемым**. Особенностью динамического хаоса является динамическая неустойчивость движения, которая выражается в сильной (экспоненциальной) расходимости близких в начальный момент траекторий. Даже в сравнительно простых динамических системах существует 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 [14].

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* особей степень хаотичности *увеличилась* (степень порядка уменьшилась), у *мужских* 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, уменьшения (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.

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 изобретением 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. Андропова. 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. Для человека пример предельно прост. Если по каким-либо причинам у человека разорвана сонная артерия, катастрофа (т.е. смерть) неизбежна. 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).

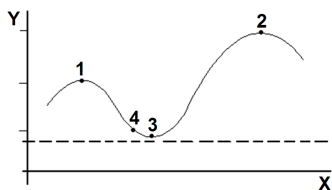


Рис. 12. Перестройка системы. Точки:

- 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» [15].

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.

Широко простирает химия
руки свои в дела человеческие

М.В. Ломоносов

**Лекция 12. НЕКОТОРЫЕ АКСИОМЫ ХИМИИ.
ВРЕМЯ ЖИЗНИ АКТИВИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА
КАК ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ ХИМИЧЕСКАЯ КОНСТАНТА.
САМООРГАНИЗАЦИЯ НА ХИМИЧЕСКОМ УРОВНЕ.
КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ХИМИИ**

Рассмотрим теперь, хотя и весьма поверхностно, некоторые важные и интересные данные из такой огромной сферы человеческих знаний как химия. Вначале мы должны сформулировать понятие химической реакции, знакомое, впрочем, всем со школьной скамьи.

Химической реакцией называется превращение одного или нескольких исходных веществ в отличающиеся от них по химическому составу или строению вещества. Химические реакции, в отличие от ядерных, не изменяют ни общего числа атомов в системе, ни изотопного состава элементов. Они происходят при физическом контакте реагентов как самопроизвольно, так и при воздействии температуры (нагревание), катализаторов, излучений, электрического тока, механических напряжений, а также в низкотемпературной плазме. Важнейшей характерной чертой химических реакций является то, что элементарный акт их происходит на микроуровне, а результат фиксируется на макроуровне. Таким образом, в химических реакциях участвует большое число (порядка числа Авогадро) атомов или молекул.

Введем теперь новое понятие. Химическая активность атомов и молекул, выражаемая в возможности вступать в ту или иную химическую реакцию, называется *реакционной способностью веществ*. Последовательная химическая теория должна объяснять и предсказывать зависимость реакционной способности от строения неизменяющихся молекулярных фрагментов реакции. Современное квантовомеханическое объяснение реакционной способности основано на *теории активированного комплекса*, в дальнейшем сокращенно АК.

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 AK это уже не $A + B$, но еще не $C + D$.

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

3. Скорость химической реакции отождествляется со скоростью распада (временем жизни) $AK - \tau$.

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 AK . Действительно, мы знаем, что поскольку элементарный акт химической реакции идет на микроуровне, то обязательно должна присутствовать константа M . 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 L . 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 AK тем меньше, чем выше температура. Следовательно, температура T должна стоять в знаменателе формулы, определяющей времени жизни $AK - \tau$. Сопоставив размерность констант $\hbar$, k и температуры T , получим единственно возможное соотношение:

$$\tau = \hbar/kT. \quad (17)$$

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 (17), время жизни AK 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»**.

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 (17), 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 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.

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 (18). Поэтому вначале протекает только реакция (18), пока все ионы Ce^{4+} не восстановятся до Ce^{3+} . Затем протекает реакция (19) 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 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...

Концептуальные системы химии

На основе историко-методологического анализа развития химии В.И. Кузнецов установил, что существуют определенные закономерности этого развития. Согласно Кузнецову, вся история химии есть процесс развития и появления новых концептуальных систем. Эти системы представляют собой совокупность законов, теорий и взглядов, характеризующих уровень знания химического явления. С момента возникновения научной химии, определяемой возникновением атомно-молекулярной концепции, и до настоящего времени отчетливо проявляются четыре концептуальные системы. Ниже перечислены эти системы и в скобках даны годы завершения каждого этапа.

1. Учение о составе вещества (XVII–XVIII вв.).
2. Учение о структуре вещества (60-е годы XX в.).
3. Учение о химических реакциях (конец XIX в.).
4. Учение о химической эволюции (60-70 гг. XX в.).

На первом этапе центральной проблемой была задача о соотношении состава и свойств и стремление объяснить свойства химических соединений их элементарным составом. Далее основной потребностью стала задача о структуре вещества. При решении именно этой задачи удалось объяснить не только свойства различных химических соединений, но и открыть путь к синтезу новых веществ. С этого момента появляется новое понятие – **реакционная способность**, которое уже потребовало учета и кинетических факторов. Переход к кинетическим теориям сопряжен с введением понятия **организация**, которое, в определенном смысле, аналогично понятию **структура** и также является атрибутом более сложной кинетической химической системы. Далее, логическое завершение схемы приводит к описанию систем еще более высокого уровня организации, таких, например, как самоорганизующихся каталитических систем. В последнее время появилось новое понятие **поведения**, которое выражает нечто иное по сравнению с понятиями **свойства** и **реакционная способность**. С этим понятием связаны проблемы химии, лежащие в основе четвертой концептуальной системы. Именно в этой системе исследуется проблема о поведении сложных предбиологических систем и об уровне их организации. Последним этапом пограничным между химией и уже биологией является биология искусственных живых систем. На этом этапе возможно создание в XXI веке научно-теоретического и экспериментального базиса для выяснения биологических закономерностей и построения теоретической биологии.

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 профессором Т.И. Орановой.

Неудивительно, что случай имеет над нами такую огромную власть; ведь то, что мы живем, – тоже случайность.

Сенека. «Письма», 72

Лекция 13. АКСИОМЫ БИОЛОГИИ. БИОЛОГИЧЕСКИЕ КОНСТАНТЫ

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 не выглядит на первый взгляд 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 об 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». Приведем один 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 **E** и магнитного **H** полей вокруг вектора скорости **v**) падающего на них оптического излучения. Удивительным оказался при этом следующий факт. Все природные аминокислоты – левосторонние стереоизомеры, т.е. плоскость **ЕН** вращается влево, рис. 13а. Все природные сахара – правосторонние стереоизомеры, т.е. плоскость **ЕН** вращается вправо, рис. 13б.

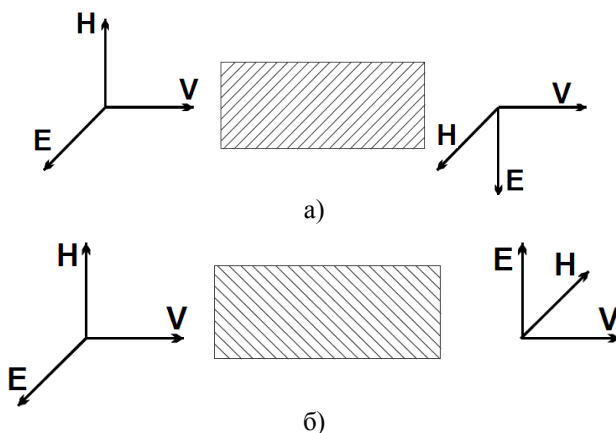


Рис. 13. Вращение плоскости поляризации в оптически активной среде:
а) левосторонний стереоизомер; б) правосторонний стереоизомер

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, в результате которых кирально 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 кирально 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.

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.

Перейдем теперь к формулировке остальных аксиом биологии.

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, называемый *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 неизменным. Жизнь же на основе только одного фенотипа или одного генотипа невозможна, так при этом нельзя обеспечить ни самовоспроизведения самой структуры, ни ее самоподдержания.

Вторая аксиома

В 1927 г. на III Всесоюзном съезде зоологов, анатомов и гистологов в Ленинграде выдающимся биологом Н.К. Кольцовым была фактически четко сформулирована вторая аксиома биологии. Этот принцип остается до сих пор неизменным, 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, аксиома 2 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.

Подробнее об этом можно прочитать в замечательной книге Б.М. Медникова «Аксиомы биологии» [16].

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 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 (13). Следовательно, всегда существуют молекулы с такими скоростями, энергия которых достаточна для того, чтобы нарушить структуру гена и вызвать мутацию. Такие изменения генетических программ (и это фактически следствие распределения Максвелла) обладают следующими свойствами.

Они случайны, непредсказуемы и ненаправлены. 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 (12). 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 аксиома 3 напрямую зависит от физических принципов, и ее су-

существование обусловлено наличием двух характерных параметров E_{min} и R_{eff} , которые являются своеобразными **фундаментальными биологическими константами**. Здесь важно понять, что эти параметры фундаментальные константы не численные, а смысловые. То есть, для осуществления случайного и ненаправленного изменения генетических программ важно не их численное значение (для жизни не на 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»**.

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.

Познай самого себя.

Надпись на фронтоне храма Аполлона в Дельфах

Лекция 14. СТРУКТУРА И КЛАССИФИКАЦИЯ ПОТРЕБНОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА

Сколь бы ни были ограничены наши знания о строении и функциях головного мозга человека, о закономерностях его деятельности, опора на эти знания уже сегодня позволяет по-новому подойти к ряду вопросов, первейший из которых – представление об основных потребностях человека.

Потребности есть основа, движущая сила и цель человеческого поведения. Мотивы, стремления, желания, интересы, ценностные ориентации человека порождаются потребностями. Неудовлетворенные потребности вызывают крайнюю степень эмоционального напряжения со всеми вытекающими из этого последствиями. Поэтому знание структуры и классификации потребностей человека приобретает первостепенное значение не только для теории и практики лечения психогенных заболеваний, но и для снижения уровня агрессивности больших групп населения.

Наиболее удачной является классификация потребностей, предложенная известным нейрофизиологом П.В. Симоновым. Следуя ему, исходными и самостоятельными по своему происхождению и характеристикам являются следующие потребности:

1. ***Биологические*** (витальные) потребности в пище, воде, сне, температурном комфорте, защите от внешних вредных воздействий. Эти потребности призваны обеспечить индивидуальное и видовое существование человека как часть живой природы. Они порождают множество вторичных и третичных потребностей, типа материальных потребностей в одежде, жилище и т.д. К числу биологических относится и ***потребность в экономии сил***, побуждающая человека искать наиболее короткий путь к достижению своих целей. Принцип экономии сил лежит в основе изобретательства и совершенствования навыков, но может приобрести и главенствующее значение, трансформировавшись в лень. В дальнейшем мы увидим, что эта потребность в разной степени присуща различным людям в этносе и различна в начале этногенеза и в его конце.

2. ***Социальные*** потребности включают потребность принадлежать к социальной группе (общности) и занимать в ней определенное место (но не обязательно главенствующее), пользоваться вниманием и уважением окру-

жающих, быть объектом их привязанности и любви. Взаимодействуя с социальной группой, человек стремится к двум целям: слиться с общностью и вместе с тем выделить свое «Я». Это стремление представлено потребностями «для себя» и «для других». Каждая из этих потребностей несет свою социально полезную функцию, т.е. они не противопоставляются друг другу.

3. **Идеальные** потребности включают в себя познание окружающего мира и своего места в нем, познания смысла и назначения своего существования на земле как путем присвоения уже имеющихся культурных ценностей, так и путем открытия совершенно нового, неизвестного предыдущими поколениями. Потребность познания не является производной от биологических и социальных потребностей, хотя, разумеется, тесно с ними связана. Она происходит от универсальной потребности в информации, изначально присущей всему живому, наряду с потребностью в притоке веществ и энергии. Удовлетворение любой потребности требует информации о путях и способах достижения цели. Вместе с тем существует потребность в информации безотносительно к прагматическому удовлетворению каких-либо биологических и социальных нужд. Удовлетворение этой потребности делает человека невосприимчивым к неблагоприятным факторам окружающей среды, то есть способствует сохранению и укреплению его здоровья, а также наполняет его жизнь глубоким смыслом.

Познавая действительность, человек, в отличие от животных, стремится уяснить правила и закономерности, которым подчинен окружающий мир. Постигая эти закономерности, человек кладет их в основу создаваемых им моделей мира, будь то научные теории или произведения искусства. Загадочность мира так трудно переносится людьми, что они готовы навязать миру не только действительное, но и мифическое, фантастическое объяснение, лишь бы избавиться от бремени непонимания, даже если это непонимание не грозит им ни голодом, ни опасностью для жизни.

Социальные и идеальные потребности, как мы увидим ниже, являются основными при формировании людей в этнос.

Говоря о человеке нельзя не затронуть вопрос о таких понятиях, свойственных только *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 имажинарный 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.

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 этому заключению, если не провести мысленную реконструкцию ранее осознаваемого опыта. Имеется и прямой путь, минуящий 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.

Резюме данного подзаголовка мы можем теперь сформулировать следующим образом. Психозвристическая **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».

Для тех, кто интересуется фундаментальными принципами биологии рекомендуем прочитать нашу, совместную с профессором Т.И. Шустовой, книгу «Физиологические основы жизнедеятельности человека, его поведения и потребностей» [18], этот материал изложен также в III части нашей книги «Концепции современного естествознания» [1]. В этой книге раздел «биоэтика» написан профессором Е.Н. Ивахненко, а раздел, посвященный проблеме ранних стадий эволюции – профессором А.А. Дышековым.

Вселенский опыт говорит,
что погибают царства
не оттого, что тяжек быт
или страшны мытарства.
А погибают оттого
(и тем больней, чем дольше),
что люди царства своего
не уважают больше.

Б.Ш. Окуджава

Лекция 15. ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫЙ ПОДХОД К ПРОБЛЕМЕ ЭТНОГЕНЕЗА

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 рефлексы*. 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.

Новизна *пассионарной теории* этногенеза, предложенной Л.Н. Гумилевым в 70-е годы, 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 людей 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» 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 вверх 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 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 рис. 14.

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.



Рис. 14. 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 падает 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 суперэтнос – это своеобразная молекула (пока он существует), проходящая в процессе своей жизни различные фазовые состояния (как например H_2O – 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 этой фазе создаются легенды: Муций Сцеволла, Жанна д'Арк, Иван Сусанин и т.д. – неважно при этом, что было на самом деле. Далее, стремление к идеалу успеха и появление постепенно вместо честолюбия – тщеславия и стремление к идеалу знания, красоты в фазе надлома, и далее стремление к благоустройству без риска для жизни в начале инерционной фазы, до стереотипа тихого обывателя в конце этой фазы. Для фазы обскурации характерны: неспособность регулировать вожеления и даже неспособность удовлетворять вожеления, 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 вожелениям. 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 этнической 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 теории Л.Н. Гумилева, может быть объяснен еще и самоорганизацией.

И случай, Бог изобретатель.

А. С. Пушкин

Лекция 16. ПАНОРАМА «СУЩЕСТВОВАНИЯ» «С ВЫСОТЫ ПТИЧЬЕГО ПОЛЕТА». ПРОБЛЕМА ЭВОЛЮЦИИ НАУКИ. ПАРАДИГМА ЕСТЕСТВЕННОЙ И ГУМАНИТАРНОЙ КУЛЬТУР

Настало время подводить итоги. 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 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 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 нарушается в значительной мере 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.

Теперь остановимся еще на одном частном примере, посредством которого мы хотим внушить вам весьма общую идею. В лекции 9 было сказано, что распределение Максвелла, формула (13), 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 индивидумов 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. Вспомните, как толпа кричала: «Распи Его. И кровь Его да будет на нас и детях наших». 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 от того кем вы станете) всегда помнили об этом свойстве аддитивных и неаддитивных величин.

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 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 науке идет именно через процесс фальсификации: теория, не выдержавшая проверки, заменяется на более совершенную, с более широкой областью истинности. Таким образом, развитие науки является эволю-

ционным 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. На самом деле, 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, генетические мутации не происходят в статической ДНК, для них необходим процесс репродукции, в который может вкратиться ошибка, «Нормальная» наука или, точнее, преднамеренный и запрограммированный процесс ис-

следования, 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. Эддриджа 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.

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.

И последнее. Полнота познания и необходимая для этого способность к интенсивному суждению – это фундаментальное условие существования *homo sapiens*. Важно, что степень этой необходимости отнюдь не уменьшается с компьютеризацией нашей жизни. Наоборот, поскольку логическое, 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 естественнонаучного подхода в одну из гуманитарных наук. Можно было бы привести и другие примеры. Сейчас, однако, нас интересует другое. Возникает вопрос. Возможно 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 «Очерки современной естественнонаучной картины мира». Помните, что:

«Знание смиряет великого,
удивляет обыкновенного
и раздувает маленького человека».

(Л.Н. Толстой).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Этот пункт написан согласно «Положению о порядке присвоения грифа КБГУ учебным изданиям».

Контрольные вопросы

1. Введение. Естественная и гуманитарная культуры. Три способа познания: аналитический (наука), чувственный, художественный, иррациональный (искусство) и реконструктивно-пророческий (религия).
2. Законы сохранения энергии, импульса, момента импульса как следствие свойств пространства и времени (однородности и изотропности).
3. Корпускулярная и континуальная концепции описания природы. Структурные уровни организации материи: микро-, макро- и мегамиры. Роль фундаментальных мировых констант.
4. Пространственно-временной интервал. Лоренц-инвариантность. Принципы специальной теории относительности.
5. Принципы общей теории относительности. Геометрия пространства-времени (Евклида, Лобачевского, Римана).
6. Константа гравитационного взаимодействия. Дальнодействие.
7. Постоянная Хаббла. Нестационарная Вселенная.
8. Постоянные Авогадро и Лошмидта.
9. Уникальность постоянной Больцмана. Связь между энтропией и вероятностью как установление связи между микроскопическими динамическими явлениями и макроскопическими характеристиками состояния вещества (коллективных частиц).
10. Три начала термодинамики. Закон возрастания энтропии. Стрела времени. Распределение Максвелла.
11. Флуктуации аддитивных и неаддитивных величин. Открытые и замкнутые системы. Обратная связь. Порядок и беспорядок в природе.
12. Хаос и проблема структурной самоорганизации из хаоса по Пригожину. Устойчивость систем.
13. Диссипативные структуры. Аттрактор, странный аттрактор – фрактал, бифуркация.
14. Теория катастроф и перестроек. Нелинейные системы.
15. Квантовые принципы. Проблема измерения величин. Принцип неопределенности Гейзенберга, дополнительности Бора.
16. Волна де Бройля. Постоянная Планка.
17. Барионная асимметрия Вселенной.
18. Специфические характеристики квантового мира: четность состояния, спин, изотопический спин, цвет, аромат, странность.

19. Четыре вида взаимодействия: гравитационное, электромагнитное, слабое, сильное и их константы. Принципы симметрии в физике. Уникальность слабого взаимодействия.

20. Проблема объединения взаимодействий. Электрослабое взаимодействие (Вайнберг, Глэшоу, Салам).

21. Множественность и взаимодействие миров. Антропологический принцип.

22. Обмен веществ и гомеостаз. Биологическая обратная связь как механизм обеспечения гомеостаза.

23. Энергетика химических процессов, реакционная способность веществ.

24. Автокаталитические реакции, реакция Белоусова-Жаботинского (химические часы).

25. Теория активированного комплекса (АК) и время жизни АК – фундаментальная химическая константа.

26. Особенности биологического уровня организации материи. Принцип эволюции, воспроизводства и развития живых систем. Устойчивость биосферы.

27. Проблема биологической аксиоматики. Киральная асимметрия биоорганического мира и гипотезы ее объяснения.

28. Первая аксиома биологии. Признак живого организма – единство фенотипа и генотипа.

29. Вторая аксиома биологии. Принцип матричного копирования (Кольцов). Репликация в живой и неживой природе.

30. Третья аксиома биологии. Случайный характер изменения генетических программ и приспособительности как следствие принципа неопределенности и статистических законов. Две фундаментальные биологические константы.

31. Четвертая аксиома биологии. Становление фенотипа как следствие случайных изменений и многократного усиления генетических программ (Тимофеев-Ресовский).

32. Новые функции биологии в системе наук о природе и обществе. Человек, его поведение и потребности. Мозг, нервная система, тело.

33. Теория этногенеза по Гумилеву. Пассионарность как следствие влияния биохимической энергии живого вещества биосферы.

Задания-тесты

1. Из каких свойств пространства и времени следует закон сохранения энергии:

- однородность времени;
- однородность пространства;
- изотропность пространства.

2. Из каких свойств пространства и времени следует закон сохранения импульса:

- однородность времени;
- однородность пространства;
- изотропность пространства.

3. Из каких свойств пространства и времени следует закон сохранения момента импульса:

- однородность времени;
- однородность пространства;
- изотропность пространства.

4. Вселенная в данный момент:

- расширяется;
- сжимается;
- остается неизменной.

5. Центр расширения Вселенной

- находится в нашей галактике;
- в геометрическом центре Вселенной;
- центра расширения вообще нет.

6. При движении с постоянной скоростью линейные размеры тела вдоль направления движения:

- неизменны;
- уменьшаются;
- увеличиваются.

7. При движении с постоянной скоростью время вдоль направления движения:

- ускоряется;
- неизменно;
- замедляется.

8. Пространство и время:

- никак не связаны между собой;
- образуют единый пространственно- временной континуум.

9. Вблизи гравитирующих масс пространство:

- искривляется и геометрия неевклидова;
- не изменяется и геометрия евклидова.

10. Вблизи гравитирующих масс время:

- замедляется;
- неизменно;
- ускоряется.

11. При одинаковых давлении и температуре количество «структурных элементов»; одно и то же в:
- килограмме;
 - моле;
 - литре.
12. В изолированной системе энтропия:
- возрастает;
 - уменьшается;
 - остается неизменной.
13. Достаточное условие макросостояния. Число частиц в системе равно:
- числу Авогадро;
 - числу Лошмидта;
 - постоянной Больцмана.
14. В открытой системе, в нелинейной области, вдали от состояния равновесия:
- принципиально невозможно появление новых структур;
 - возможно появление самоорганизации с появлением диссипативных структур.
15. Смысл постоянной Планка:
- максимальное действие;
 - минимальное действие;
 - нулевое действие.
16. Смысл постоянной Больцмана:
- связь между микроскопическими динамическими явлениями и макроскопическими характеристиками;
 - просто числовой коэффициент.
17. Электроны в атомах:
- находятся в определенных квантовых состояниях;
 - вращаются по определенным орбитам;
 - неподвижны.
18. Сколько существует поколений фундаментальных элементарных частиц:
- одно;
 - три;
 - бесконечно много.

19. Сколько у каждого кварка «цветов»:
- один;
 - два;
 - три.
20. Сколько различных «ароматов» кварков:
- три;
 - шесть;
 - вообще нет.
21. Сколько всего существует фундаментальных взаимодействий:
- десять;
 - четыре;
 - одно.
22. Гравитационное взаимодействие отвечает за:
- стабильность орбит планет;
 - стабильность молекул;
 - стабильность атомов.
23. Электромагнитное взаимодействие отвечает за:
- стабильность атомов;
 - стабильность Солнечной системы;
 - равномерное и медленное горение Солнца.
24. Слабое взаимодействие отвечает за:
- равномерное и медленное «горение» Солнца;
 - стабильность атомов;
 - стабильность молекул.
25. Сильное взаимодействие отвечает за:
- стабильность атомных ядер;
 - стабильность молекул;
 - за скорость химических реакций.
26. Вселенная «родилась»
- в процессе Большого взрыва;
 - взрыва галактики;
 - взрыва квазара.
27. Скорость химической реакции отождествляется с:
- временем жизни активированного комплекса;
 - временем полураспада химических элементов;
 - постоянной тонкой структур.

28. Время жизни активированного комплекса:
- зависит от температуры и постоянных Планка и Больцмана;
 - не зависит ни от чего;
 - зависит от числа Авогадро.
29. Ячейки Бенара и реакция Белоусова-Жаботинского пример:
- диссипативных структур;
 - хаотического движения;
 - плазмы.
30. При бифуркации симметрия структуры:
- уменьшается;
 - остается неизменной;
 - возрастает.
31. Основа фенотипа на Земле:
- белки;
 - нуклеиновые кислоты;
 - сахара.
32. Основа генотипа на Земле:
- белки;
 - нуклеиновые кислоты;
 - сахара.
33. В основе копирования генетической информации лежит:
- принцип матричного копирования;
 - принцип случайной самосборки;
 - принцип самоорганизации.
34. В естественных условиях мутации:
- случайны;
 - подчиняются определенному закону;
 - не происходят.
35. Информационные носители:
- ферменты;
 - аминокислоты;
 - нуклеиновые кислоты.
36. Функциональные носители:
- ферменты;
 - аминокислоты;
 - нуклеиновые кислоты.

37. В фенотипе усиление единичной мутации происходит в:
- число раз порядка числа Авогадро;
 - число раз порядка числа особей в популяции;
 - усиление вообще не происходит.
38. При перестройке нелинейной системы максимум сопротивления приходится:
- на самое плохое состояние;
 - раньше самого плохого состояния;
 - после самого плохого состояния.
39. При перестройке нелинейной системы:
- итоговое улучшение сопоставимо с предварительным ухудшением;
 - итоговое улучшение никак не связано с предварительным ухудшением;
 - улучшения не происходит.
40. При перестройке нелинейной системы:
- осуществляется плавный переход в лучшее состояние;
 - осуществляется предварительное ухудшение состояния.
41. Время жизни этноса по Гумилеву:
- 1500 лет;
 - не ограничено;
 - разное для каждого этноса.
42. Максимум пассионарности приходится на:
- фазу подъема;
 - фазу надлома;
 - акматическую фазу.
43. Наполеон, Суворов, Жанна д'Арк:
- гармоничные личности;
 - пассионарии;
 - субпассионарии.
44. Механизм обеспечения гомеостаза:
- обратные связи;
 - озоновый слой;
 - электромагнитное взаимодействие.
45. Во всех реакциях обмена, требующих затрат энергии энергетической «валютой» клетки является:
- АТФ (аденозинтрифосфат);
 - дихлордифенилтрихлорметилметан;
 - расход электростатического потенциала организма.

46. Через синапс осуществляется:
- выброс медиатора;
 - перенос электрического заряда;
 - перенос эритроцитов.
47. Пассионарии:
- живут, чтобы «работать»;
 - работают, чтобы жить;
 - приспособливаются, чтобы меньше работать.
48. Гармоничные личности:
- живут, чтобы «работать»;
 - работают, чтобы жить;
 - приспособливаются, чтобы меньше работать.
49. Субпассионарии;
- живут, чтобы «работать»;
 - работают, чтобы жить;
 - приспособливаются, чтобы меньше работать.
50. Самоорганизация сопровождается:
- понижением симметрии;
 - повышением симметрии;
 - симметрия неизменна.

Правильные ответы

1–1	11–2	21–2	31–1	41–1
2–2	12–1	22–1	32–2	42–3
3–3	13–1	23–1	33–1	43–2
4–1	14–2	24–1	34–1	44–1
5–3	15–2	25–1	35–3	45–1
6–2	16–1	26–1	36–1	46–1
7–3	17–1	27–1	37–1	47–1
8–2	18–2	28–1	38–2	48–2
9–1	19–3	29–1	39–1	49–3
10–1	20–2	30–1	40–2	50–1

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

There are more things in heaven
and earth, Horatio, than are dreamt
of in your philosophy...

Shakespear, «Hamlet»

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. Во-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. Не ясно 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 концепции развития современной науки.

К сожалению, за рамками книги оказался ряд важных концептуальных проблем. В первую очередь это касается КАМ-теоремы (Колмогорова – Арнольда – Мозера), выполняющей связь между «регулярными» и хаотическими системами, наподобие той, что осуществляет принцип соответствия Бора между «регулярными» и квантовыми системами. Во-вторых, это проблема квантового хаоса, устанавливающего связь между хаотическими и квантовыми системами. Именно проблема квантового хаоса разрешает космологический и квантовый парадоксы, рассматривая события как результат неустойчивости хаоса.

При таком подходе возникает новая философская концепция существующих законов природы. Они – лишь осуществленная потенциальная возможность.

Многое можно было бы сказать и о последних достижениях молекулярной биологии, химии полимеров, о появившихся биологических объяснениях сознания, памяти и других психических явлений..., но «нельзя объять необъятное».

«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».

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.: ИОНА, 1992. – 270 с.
20. Неeman Ю. Счастливый случай, наука и общество. Эволюционный подход // Путь. – 1993. – № 4. – С. 70–90.

Содержание

Предисловие	3
Введение	5
Методические рекомендации	7
Лекция 1. Дискурсия и интуиция. Критерий очевидности. Проблема научной аксиоматики	11
Лекция 2. Концепция дискретности и континуальности в описании природы. Структурные уровни организации материи. Роль фундаментальных мировых констант	15
Лекция 3. Законы сохранения как следствие симметричных свойств пространства и времени	18
Лекция 4. Пространственно-временной континуум как следствие фундаментальной константы – скорости света	21
Лекция 5. Геометрия пространства-времени. Гравитация как следствие геометрии в парадигме Эйнштейна	27
Лекция 6. Входим в микромир. Константа Планка и волна де Бройля. Принцип Неопределенности Гейзенберга. Спин	33
Лекция 7. Четыре фундаментальных взаимодействия: гравитационное, электромагнитное, слабое и сильное	37
Лекция 8. Сценарий «сотворения Мира»	41
Лекция 9. Закономерности макромира. Начала термодинамики. Константа Больцмана	45
Лекция 10. Необходимые условия самоорганизации. Закономерности возникновения диссипативных структур. Универсальный критерий эволюции Гленсдорфа – Пригожина ...	50
Лекция 11. Критерий относительной упорядоченности живых систем. Эволюция и деградация. Основные закономерности перестроек	59
Лекция 12. Некоторые аксиомы химии. Время жизни активированного комплекса как фундаментальная химическая константа. Самоорганизация на химическом уровне. Концептуальные системы химии	64
Лекция 13. Аксиомы биологии. Биологические константы	68
Лекция 14. Структура и классификация потребностей человека	74
Лекция 15. Естественнонаучный поход к проблеме этногенеза	78
Лекция 16. Панорама «существования» «с высоты птичьего полета». Проблема эволюции науки. Парадигма естественной и гуманитарной культур	83
Контрольные вопросы и задания	89
Заключение	97
Рекомендуемая литература	99

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

Хапачев Юрий Пшиканович
Дышеков Артур Альбекович
Оранова Татьяна Ивановна

СОВРЕМЕННАЯ ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНАЯ КАРТИНА МИРА

Курс лекций

Редактор ***Е.А. Балова***
Компьютерная верстка ***В.Н. Мидовой***
Корректор ***Е.А. Балова***

В печать 16.10.2013. Формат 60х84 ¹/₁₆.
Печать трафаретная. Бумага офсетная. 5.81 усл.п.л. 6.0 уч.-изд.л.
Тираж 500 экз. Заказ № 6973.
Кабардино-Балкарский государственный университет.
360004, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173.

Полиграфический участок ИПЦ КБГУ
360004, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173.