

**А.И. ЛИПКИН**

**ОСНОВАНИЯ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ.  
Модельный взгляд на физику, синергетику, химию**

Москва  
«Вузовская книга»  
2001

168

ББК 87в; 22  
УДК 165; 501

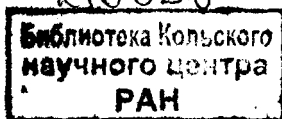
**Липкин А.И. Основания современного естествознания. Мо-  
дельный взгляд на физику, синергетику, химию. — М.: Вузов-  
ская книга, 2001. — 300 с.: ил.**

ISBN 5—89522—138—6

Редактор: д.ф.-м.н Г.Н. Шикин

“Книга произвела на меня большое впечатление. Во-первых, новым подходом, который развивает автор. Этот подход позволяет разрешить известные “парадоксы” квантовой механики. Во-вторых, книга поражает своей компактностью, в сочетании с широтой охвата, доступностью и глубиной подачи материала. Я бы порекомендовал прочесть эту книгу всем физикам — и мэтрам, и студентам, а также всем, кто интересуется вопросами, что такое физика, какова современная физическая картина мира и на чем она основана” — так характеризовал предыдущую книгу автора д. ф.-м. н., проф. Д.Н. Клышко. По сравнению с ней в данной книге более четко дана суть нового подхода, добавлено рассмотрение химии и чуть-чуть биологии, существенно дополнены главы про теорию относительности и квантовую механику. Для физики делается попытка провести упорядочение ее основ- ний, подобное гильбертовскому упорядочению оснований геометрии.

216086



ISBN 5-89522-138-6

© Липкин А.И., 2001  
© «Вузовская книга», оформление, 2001

## ПРЕДИСЛОВИЕ

100 лет отделяет нас от начала крупнейшей научной революции в физике, давшей миру теорию относительности и квантовую механику. Этой революции предшествовала работа по тщательной проверке основных понятий тогдашней науки на прочность, проделанная известным физиком и философом Э.Махом, великим математиком А.Пуанкаре и рядом других ученых. Эта работа, с одной стороны, в значительной степени подготовила почву для А.Эйнштейна и других творцов новой физики, а, с другой стороны, сделала разросшуюся науку того времени более обозримой и доступной для широкого круга лиц. Сегодня, по моему глубокому убеждению, мы опять стоим на пороге крупных перемен в науке и мышлении, и такая работа снова становится актуальной.

Первое, на что следует обратить внимание в подобной работе, так это на то, что во взгляде на естественную науку, как у философов, так и у самих ученых господствует идущее от Ф.Бэкона эмпиристское мировоззрение. Однако при строительстве физики (а с нее во многом берут пример и другие науки) выбирают другие ориентиры: геометрию Евклида, как образец теории, и инженерию, как образец отношения к эмпирическому материалу. Исходя из них, Галилей и Ньютон задали общую структуру разделов естественной науки и более детализированную — для раздела физики (т.е. механики, электродинамики и др.).

В рамках эмпиристского взгляда определение науки обычно пытаются дать через определение соответствующего объекта, предмета и методов. Но на подобном пути очень трудно найти удовлетворительный ответ на вопрос *“Что такое физика (биология, химия)?”*.

Нередко на вопрос *“Что такое физика?”* по сути отвечают, что *“физика - это то, чем занимаются физики”* (такой же ответ можно

услышать и на аналогичный вопрос про биологию и химию). Так директор Американского института физики проф. У.Кох строит свой ответ на этот очень важный, с его точки зрения, вопрос в виде следующей цепочки утверждений. “Дисциплина физики состоит из ряда установленных экспериментальных и теоретических методологий (правильнее, наверное, было бы сказать методов - А.Л.), использующихся активно практикующими людьми, которые называют себя “физиками” (как тут не вспомнить шутовское определение физики Дж.Орира: “Физика это то, чем занимаются физики в свободное время вечером” [134, с. 16] - А.Л.). Физики применяют эти методологии прямо через общение, исследование и инструкции<sup>1</sup> для целей достижения лучшего понимания физического универсума, в котором мы живем. Результаты этого применения называются “физической информацией”... наука физики есть организация фактов о физическом мире” [234, р. 27].

В книге предлагается другой путь — через анализ используемых в естественной науке типов *моделей* для описания природы. Центральным и несущим слоем здесь является слой естественнонаучных моделей (а не математики, как утверждают некоторые физики-теоретики). Предмет изучения при таком “модельном взгляде” определяется типами используемых моделей (а не наоборот). Основной объем книги посвящен физике, поскольку она, с одной стороны, — наиболее развитая и сложная из всех естественных наук, с другой — до сих пор выступает как образец для химии и даже биологии.

Единицей анализа у нас будет “раздел науки”, который определяется той замкнутой системой первичных понятий (мы ее называем “ядром раздела науки”), которые используются в данном разделе (в физике такое членение, по сути, совпадает со стандартным ее делением на разделы в теоретической физике).

Единство науки и ее раздела здесь задается единством порождающей структурно-функциональной схемы на соответствующем уровне. Такой плюралистически-проблемный взгляд, тяготеющий к конструктивным моделям науки, приспособлен к рассмотрению полидисциплинарных проблем и объектов. Он существенно отличается от весьма популярных представлений о единстве природы и науки

---

<sup>1</sup> Это почти по Т.Куну, хотя дальше идет перескок на позицию критикуемых Куном реалистов (см. последнюю главу).

через всеобщий эволюционизм, тяготеющий к натуралистическим моделям науки, и через идущую от эйнштейновской общей теории относительности попытку всеобщей дедукции — “теории всего”, тяготеющей к платоно-пифагорейству, и выводящей все из единого первичного уравнения.

Подача и обсуждение такой достаточно сложной системы понятий производится на материале достаточно легко понимаемой геометрии Евклида и классической механики. После этого становятся легко обозримыми и понятными, считающиеся очень темными современные разделы физики.

Предлагаемый подход позволяет лучше понять основания физики, а также химии и биологии, делая упор на описание и *понимание* основных понятий. Физикам он помогает свободнее передвигаться от раздела к разделу, и, если надо, создавать новые разделы<sup>2</sup>. Философам демонстрирует перспективы неэмпирической альтернативы в философии науки, а гуманитариям дает возможность всерьез понять что такое физика и другие естественные науки, дать средства для составления собственного мнения в дискуссиях о существовании многомерного мира и многомировой реальности, о полноте квантовой механики и месте сознания в ней, о ситуации в теории элементарных частиц и космологии, отделить в этих спорах миф от науки, понять степень обоснованности встречающихся там утверждений.

Эта книга, с одной стороны, претендует на удовлетворение критериев строгости и глубины, которые ей могут предъявить профессиональные ученые-естественники и философы. С другой стороны, она практически не содержит формул и сложной математики и является доступной (но не простой) для людей, не только не изучавших физику и математику в институте, но и забывших почти все, чему их учили в школе (все основные понятия даются на материале геометрии Евклида и механики Ньютона).

---

<sup>2</sup> Так, опора на полученную ниже структуру, позволила мне в свое время быстро продвинуться в новой для меня области - акустике магнитных жидкостей. Вместо того, чтобы идти как все по проторенной дороге, указанной акад. Л.И.Седовым, монотонно увеличивая число уравнений и связанных с ними свободных параметров, я, исходя из приведенной ниже схемы, пошел по пути построения моделей и теории акустики магнитных жидкостей как особого подраздела гидродинамики [100].

Возможность адресовать ее столь разным группам читателей связана с тем, что книга ориентирована не на овладение научным предметом, а на понимание его основных понятий. В книге дается способ, позволяющий отделить сложную математику от более широкодоступного для понимания модельного слоя, и за счет этого, не снижая уровня обсуждения, говорить об очень сложных вопросах и с физиками и с нефизиками.

В центре нашего внимания будет не вопрос о том, “как (из чего) устроен мир?”. На этот вопрос отвечают ученые и популяризаторы, которые строят картины мира из микро-частиц, полей и т.д. Наша цель — попытаться ответить на вопрос “ЧТО такое эти поля, микрочастицы и т.д.?”. Чтобы это сделать мы проанализируем соответствующие разделы науки, где эти понятия возникают.

Любой студент знает, что сдать экзамен и понять предмет не одно и то же. Более того понять, что надо знать, чтобы понять — один из сложнейших философских вопросов. Чтобы решить его для себя, мне пришлось написать эту книгу. Для этого физику-теоретика пришлось погрузиться в философию и методологию науки и дополнить взгляд на физику изнутри взглядом извне. Поняв сам, я захотел поделиться с другими. Из этого желания родились курсы лекций сначала для физиков (аспирантов Московского физико-технического института), а затем и для гуманитариев (студентов Российского государственного гуманитарного университета).

Развертывание материала в книге подчинено следующей логике. В главах 2 и 3 задается фундамент всего построения. Главными *специфическими чертами* предлагаемого “модельного подхода” является ряд взаимосвязанных составляющих: выбор в качестве единицы анализа не “теории” и не науки-дисциплины (физики, химии, ...), а “*раздела науки*” (механики, электродинамики,...); выбор в качестве основного (системообразующего) элемента “*первичного идеального объекта*” (ПИО); использование для него *неявного типа определения* путем введения структуры, называемой “*ядром раздела науки*” (ЯРН) и являющейся аналогом гильбертовой системы аксиом геометрии. При этом в главе 2 дается общая структура “ядра раздела

науки” для естественных наук вообще. В главе 3 дается детальная структура “ядра раздела науки” для физики. По сути здесь делается попытка провести работу по упорядочению оснований физики, подобную той, которую проделал Д.Гильберт в конце XIX в. с основаниями геометрии. Затем рассматривается ряд разделов “классической” физики, в которых формируются важнейшие модели: частиц в пустоте и силы (в механике Ньютона), с одной стороны, и непрерывной среды и ее порождений воли и силового поля (в гидродинамике и электродинамике Максвелла), — с другой. Эти типы моделей — фундамент всей физики. Все исходные физические модели строятся из их комбинаций.

После этого рассматриваются надстраиваемые над этими “классическими” разделами “неклассические” разделы физики — специальной и общей теории относительности и нерелятивистской<sup>3</sup> и релятивистской квантовой механики — и многочисленные мифы и “парадоксы”, возникшие вокруг них. Здесь-то в полной мере и используются средства, приведенные в главах 2 и 3, что позволяет глубоко анализировать сложные вопросы, обходя трудную математику, а также выявить весьма общий для “неклассической” физики XX в. прием, названный нами *метод “затравочной классической модели”*. Отметим, что среди физиков к “неклассической” порой относят лишь квантовую физику. В этом тоже есть свой резон, но мы будем следовать в книге науковедческой традиции [169, с. 179], где в “неклассические” попадает и эйнштейновская теория относительности. Наш анализ, в частности употребление метода “затравочной классической модели”, подтверждает правомерность такого выделения (промежуточное место между классической и неклассической физикой занимает электродинамика Максвелла и его “метод аналогий” и статистическая физика Больцмана).

Нетривиальные выводы содержатся в главе по теории относительности, но наиболее полно возможности нашего

<sup>3</sup> При этом здесь исправлено допущенное в предыдущей книге автора “Модели современной физики (взгляд изнутри и извне)” (М., 1999) и в более ранних работах некорректное изложение “принципа дополнительности” в квантовой механике.

“модельного подхода” проявляются при анализе основных понятий квантовой механики и споров вокруг них. В книге предложена четкая формулировка оснований нерелятивистской квантовой механики, свободная от всяких “парадоксов” и “проблем измерения”, показано каково место в ней вероятности, “соотношения неопределенностей” и “принципа дополтельности”.

Далее, для полноты картины, наряду с указанными динамическими разделами, тесными узами связанными с классической механикой, рассмотрены термодинамические разделы физики и синергетика, где занимающее особое место в физике время уступает свою роль тому или иному “управляющему параметру”. Данные в главах 2 и 3 средства позволяют, как нам кажется, прояснить некоторые весьма темные места в этих очень непростых разделах науки.

И, наконец, отработанный на материале физики “модельный взгляд” на науку применяется к химии и биологии. Для химии, как нам представляется, получается в методологическом и философском плане довольно интересный результат. Результаты для биологии оказываются более скромными, хотя, пожалуй, небезыntenесными.

Поскольку на протяжении всей книги речь идет об основаниях и границах наук, то нельзя обойтись без обсуждения ряда методологических и философских вопросов. Здесь “модельный подход” противопоставляется господствующему “общепринятому взгляду” на теорию (эта тема обсуждается в п. 2.2 и 2.3), а дополняющий его “галилеевский” “конструктивный рационализм” противопоставляется абсолютно господствующей в философии естествознания эмпиристской традиции, идущей от Ф.Бэкона и Дж. Локка. Этой теме посвящена последняя глава книги, где дан очень краткий исторический обзор различных позиций в философии науки XVII—XX вв. и их классификация на основе двух пар понятий: эмпиризм — рационализм и реализм — конструктивизм.

Главные идеи этой работы родились в середине 70-х (вскоре после окончания МФТИ) в уникальной атмосфере Оптической лаборатории академика И.В.Обреимова, где теоретики должны были уметь свободно перемещаться по всем разделам физики (а в значительной степени и по всем

естественным наукам). Затем в середине 80-х, после защиты физико-математической кандидатской диссертации по квантовой механике эти идеи, с одной стороны, прошли через жесткую методологическую критику проф. Г.П.Щедровицкого и других участников руководимого им “Московского методологического кружка” и долгие обсуждения с методологом и культурологом В.М.Розиним, а с другой — через острые дискуссии на небольшом, но бойком семинаре молодых физиков-теоретиков в Физическом институте АН. И, наконец, в середине 90-х эти идеи были вынесены на суд философов науки в Институте философии АН, на кафедре философии науки в МФТИ и ряде философских конференций. Очень много мне дали многочисленные беседы об основаниях квантовой механики с д.ф.-м.н., проф. Д.Н.Клышко в конце 90-х. Большую помощь и моральную поддержку оказал мне редактор моей книги д.ф.-м.н. Г.Н.Шикин. Я чрезвычайно признателен всем им.

Сегодня науки делят на точные или математические, естественные (в первую очередь — физику, химию и биологию), технические, социальные, гуманитарные. В центре нашего внимания будут лишь естественные науки. Поэтому под словом “наука” мы, как правило, будем иметь в виду именно их. Давать определение понятию “наука” — дело тяжелое и неблагодарное. Отметим лишь, что наука предполагает 1) наличие наряду с явлением сущности, которую она и выявляет; 2) объективность в смысле общезначимости (интерсубъективности) своих результатов; 3) обязательности их обоснования. Становление и самосознание науки связано с противопоставлением ее религии, мифологии и “техне” как чисто рецептурному знанию.

Последнее по форме часто непросто отличить от научного. Скажем математика древних Египта и Месопотамии может восприниматься как зачатки геометрии, арифметики или даже алгебры. Там умели решать довольно сложные задачи из этих разделов математики. Но такая интерпретация деятельности древних является непростительной модернизацией, поскольку математика — это теория, а там речь шла о системе рецептов [26].

Теория появляется лишь в Древней Греции. Она рождается в лоне древнегреческой философии. Особенно большую роль в этом сыграла платоно-пифагорейская ветвь последней [33; 34]. Образцом теории становится геометрия Евклида (3 в. до н.э.). Именно она в 17 в. вдохновляла Г.Галилея и И.Ньютона — основателей современной естественной науки. Последняя является продуктом западноевропейской цивилизации. Наряду с античным наследием, необходимыми ее составляющими были рожденные итальянским возрождением пафос человека-творца, человека — покорителя природы и инженера. Основы естественной науки Нового и Новейшего времени были заложены в механике Ньютона, которая надолго стала образцом естественной науки. Становление большинства других современных разделов физики, также как химии и биологии, происходит,

по сути лишь в XIX в. Этот период историки науки часто называют “дисциплинарным”, подразумевая интенсивную дифференциацию науки на отдельные дисциплины. В ходе этого периода, ближе к концу века, происходит интенсивный процесс осознания специфики гуманитарных и социальных наук.

Ярко выделяется в истории естественной науки период “конца века”. Лидером здесь является физика, для которой этот период отмечен появлением электродинамики Максвелла и статистической физики Максвелла-Больцмана-Гиббса. Главным было воцарение электродинамики Максвелла, созданной в 1860-е гг. Оставляя подробности до соответствующего раздела, отметим лишь, что она сыграла в физике роль аналогичную той, которую в математике сыграли неевклидовы геометрии. Победа антиньютонианской фарадеевско-максвелловской линии в электродинамике привело к постановке многочисленных вопросов к основам механики (типа что такое масса? сила?), критике прежних понятий, росту требований строгости к обоснованию основ. Разразился так называемый “гносеологический кризис” конца века, одним из главных действующих лиц которого был Э.Мах.

Этот кризис ознаменовал переход от “классического” к “неклассическому” периоду в истории естественной науки [169]. Последний характеризуется чередой научных революций первой трети XX в. — рождением специальной (1905) и общей (1915) теории относительности и квантовой механики (1900—1927).

Яркая картина тесного переплетения науки и культуры того времени дана одним из творцов квантовой механики П.Дираком в его лекции с характерным названием “Воспоминания о необычайной эпохе”: “Началом этой эпохи следует считать 1919 год. Тогда произошло удивительное событие. В мир с сокрушительной силой ворвалась теория относительности. О ней неожиданно заговорили все. В газетах было полно сообщений о теории относительности ... Теорию относительности тогда понимали в широком смысле — ее взяли на вооружение и философы, и люди самых разных специальностей. Нетрудно понять причину столь головокружительного успеха. Мы тогда только что пережили очень серьезную и страшную войну ... В результате все устали. Хотелось о ней забыть. И тогда возникла теория относительности, замечательная идея, открывающая дорогу к новому образу мышления. В этом было бегство от войны ... Этот эффект был вызван одновременно и специальной и общей теорией относи-

тельности. На самом деле специальная теория относительности восходила к 1905 г. и была значительно старше. Тем не менее, кроме нескольких университетских специалистов о ней никто ничего не знал. Обыватель никогда не слышал об Эйнштейне, и вдруг имя Эйнштейна оказалось у всех на устах" [54].

Такого потрясения основ науки XX век больше не испытывал. Далее можно говорить о грандиозных картинах-следствиях, выведенных из этих революционных преобразований основ. Это новая космология, теория ядра и элементарных частиц. Можно говорить об их грандиозных приложениях в атомной энергетике, лазерной и твердотельной технологии второй половины XX в. Но все это плоды тех революционных преобразований, которые были совершены в первой трети XX в.

Одной из существенных особенностей "неклассических" разделов физики является их *рождение через "парадокс"*: сначала формулируется некий теоретический парадокс, а затем он преобразуется в новые идеальные объекты, образующие новый раздел науки. "Классические" разделы физики "первой волны" XVII-XVIII вв. выросли из решения конкретных задач: механика Галилея из задачи о свободном падении тела, механика Ньютона из задачи вывода законов движения планет Кеплера<sup>1</sup>, аналогичная ситуация имела место и в гидродинамике и термодинамике. В классической физике "второй волны" — электродинамике и статистической физике — исходная постановка проблемы иная — построение теории (теоретической модели) для множества эмпирических результатов, хотя и здесь можно выделить ведущие задачи: у Максвелла — полевая модель для явления электромагнитной индукции Фарадея, у Больцмана — механическая модель второго закона термодинамики.

Это про физику. Похоже, что в биологии на границе веков было нечто подобное. Во всяком случае в первой трети XX в. там было создано много революционных построений (Вавилов, Вернадский, Чижевский, Гурвич,

<sup>1</sup> Для классической механики тоже можно указать свой парадокс — парадоксы движения Зенона, но он решается незаметно в ходе многовековой истории, а не выдвигается в качестве конкретной исходной задачи, как в случае "неклассической" физики.

Дриш), которые были подхвачены во второй половине XX в. Но этот вопрос требует особой проработки<sup>2</sup>.

Мне представляется, что выделенные выше в истории физики периоды являются общекультурными. В подтверждение этого тезиса приведу одну из характеристик периода “конца века” в искусстве: “80—90-е гг. XIX в. — то время, когда повсеместно утвердился стиль модерн, — в истории европейской культуры он именуется... “fin de siècle” (“конец века”)... (и) отождествляется с декадансом, упадком, ... и растерянностью ... (Для него характерно) не только чувство усталости ... (или) эстетское любование формальным приемом, но и надежда, жажда обновления, вера в его возможности... В целом модерн несет на себе груз прошедшего времени — особенно всего XIX в. Он “утомлен” тем, что зародилось раньше... — Здесь дает знать себя утомление самого искусства как бы самим собой... Оно все более отделяется от реальной жизни, интересуясь скорее собой, чем окружающей реальностью... искусство в их понимании стоит выше жизни”. Здесь ощущается атмосфера “промежуточности” этого периода. “Картина XIX в. предполагает некий “эффект присутствия”, она дает окно в реальный мир. Произведение 20 в. основано в большей мере на “знаемом”, чем на видимом... В модерне время растянутое, замедленное, концентрированно формульное”. Для этого периода характерен “принцип мифологизации”. Причем, “самым чистым выражением новой мифологии было собственное мифотворчество художника...” [161, с. 9—17, 264—269.].

В качестве одной из главных тем я здесь выделяю *критику и пересмотр всего прошедшего периода с прицелом на грядущую революцию*, которая создаст нечто новое. Мне кажется, что здесь просматривается явный параллелизм с тем, что происходит в физике с ее движением через парадокс, инструментализмом и т.п. То же можно сказать и про революционные первые десятилетия XX в. Причем

---

<sup>2</sup> В химии, по мнению проф. П.М.Зоркого, таких характерных периодов выделить нельзя, там все направления развиваются параллельно.

не только в искусстве, но и в социально-политической сфере, и в философии<sup>3</sup>.

Очень важной особенностью “неклассического” периода является “*конструктивистский*” взгляд на науку, противопоставленный господствовавшему в “классическую” эпоху “*реалистическому*”. Конструктивизм (или “активизм”) делает акцент на “зависимость научного познания от опыта, эмпирии, которые интерпретируются как нечто данное”, с направлением, “акцентирующим внимание на активности теоретического мышления, своеобразии теоретических методов исследования.., рассматривающим теоретическую деятельность как проявление активности научного сознания, создающего конструкции, которые имманентны научному знанию... “Активизм” в методологии науки конца XIX начала XX в... выдвинул ряд новых важных методологических и гносеологических проблем”. В том числе “именно в этот период была четко осознана проблема гносеологического статуса и методологических функций идеализированных (“идеальных” — А.Л.) объектов” [198, с.97—98] (типа идеального газа, атомов и др.).

Эти две противостоящие друг другу философские точки зрения были четко сформулированы в начале нынешнего века сторонником реализма М.ПЛАНККОМ. Возражая последователям Э.МАХА, придерживавшегося феноменалистически-антиреалистической позиции, он говорил: “Чем явля-

<sup>3</sup> В истории философии атмосфере “конца века” отвечает анти-метафизический бунт (перелом) предтечи “философии жизни” А.Шопенгауэра, предтеч экзистенциализма С.Кьеркегора и Ф.Достоевского, основателя позитивизма О.Конта (свои основные произведения они, в основном написали несколько раньше, но интенсивно востребованы они были ближе к концу века), философии жизни (Ницше, Фрейд), которые по разному противопоставили себя классической философии Нового времени от Декарта до Гегеля, называя последнюю “метафизической”. Революционным первым трем десятилетиям. отвечают новые направления: феноменология Гуссерля, Хайдеггер, Шпенглер, К.Юнг, Ясперс, здесь же начинается аналитическая философия Виттгенштейна и логический позитивизм (неопозитивизм). Все они пронизаны духом революции, претензии на то, что они решили вечные проблемы и нашли истину, и с них начинается новая эпоха.

ется по существу то, что мы называем физической картиной мира? Есть ли эта картина только целесообразное, но, в сущности, произвольное создание нашего ума, или же мы вынуждены, напротив, признать, что она выражает реальные, совершенно не зависящие от нас явления природы?" Планк считает, что внешний мир представляет собой нечто не зависящее от нас, абсолютное, чему противопоставим мы. "Этот постоянный элемент (подразумеваются мировые постоянные и связанные с ними законы — А.Л.) не зависит ни от какой человеческой и даже ни от какой вообще мыслящей индивидуальности, и составляет то, что мы называем реальностью... Коперник, Кеплер, Ньютон, Гюйгенс, Фарадей... опорой всей их деятельности была неизбываемая уверенность в реальности их картины мира... Этот ответ находится в известном противоречии с тем направлением философии природы, которым руководит Э.Мах и которое пользуется в настоящее время большими симпатиями среди естествоиспытателей. Согласно этому учению в природе не существует другой реальности, кроме наших собственных ощущений, и всякое изучение природы является, в конечном счете, только экономным приспособлением наших мыслей к нашим ощущениям ("экономия сообщения и понимания составляет сущность науки" [116, с. 14, 3, 37])... Разница между физическим и психическим — чисто практическая и условная; единственные существенные элементы мира, это — наши ощущения..." [140, с. 3, 24—26, 46—49].

Этот характерный для "неклассического" периода конструктивистский взгляд на науку, учитывающий активную роль человеческой культуры в научной картине мира природы, следует отличать от нередко встречающихся утверждений о включенности человека (в виде сознания) в саму "неклассическую" науку (в первую очередь в квантовой механике). Мы попытаемся показать, что последнее утверждение неверно.

Характерным для "неклассического" периода является использование "метода затравочной модели", в котором вместо строительства новых естественнонаучных моделей, как это имело место в "классический" период, проводится модернизация "классических" моделей.

В заключение этого краткого исторического обзора следует упомянуть о так называемом “*постнеклассическом*” периоде [170].

“В современную эпоху мы являемся свидетелями новых трансформаций идеалов и нормативных структур науки... На первый план все более выдвигаются междисциплинарные и проблемно-ориентированные формы исследовательской деятельности... Реализация комплексных программ..., сращивания теоретических и экспериментальных исследований, прикладных и фундаментальных знаний... Объектами современных междисциплинарных исследований все чаще становятся системы, характеризующиеся открытостью и саморазвитием..., исторически развивающиеся системы... Среди исторически развивающихся систем современной науки особое место занимают природные комплексы, в которые включен в качестве компонента сам человек” [170, с. 7—13]. Но здесь мы уже говорим о проектах и проблемах выходящих за рамки науки как весьма определенной формы познания. Правда некоторые течения в биологии и синергетике, развивающиеся в последней трети XX в. — эпоху “пост” (“постиндустриальное общество”, “постмодерн”, “постструктурализм”), имеют ряд характерных черт, не свойственных “классической” и “неклассической” науке.

Таким образом, с точки зрения основных понятий и принципов ключевыми являются научные революции XVII и границы XIX и XX вв. Им-то мы и уделим главное внимание.

## “ГАЛИЛЕЕВСКАЯ” МОДЕЛЬ ЕСТЕСТВЕННОЙ НАУКИ И “МОДЕЛЬНЫЙ ПОДХОД”

---

“Если вы хотите кое-что выяснить у физиков-теоретиков о методах, которые они применяют, я советую вам твердо придерживаться одного принципа: не слушайте, что они говорят, а лучше изучайте их действия...”

А.Эйнштейн

(“О методе теоретической физики” (1933)).

### 2.1. От геометрии Евклида к естественной науке Галилея. “Модельный подход” (основные понятия)

Обычно в качестве основополагающих отличий естественной науки Нового времени, в первую очередь, выделяют два: экспериментальный метод и использование математики. Первый, часто формулируемый в виде тезиса “физика — наука экспериментальная” связывают с эмпирическим методом Ф.Бэкона. Второй в крайней форме выражается утверждением, что “теоретическая физика — это математическая физика”. Рассмотрим сначала первое из этих утверждений.

Основатель эмпиризма *Фр. Бэкон* (1561—1626), на которого во многом ориентируется философия науки XIX—XX вв., предлагает “восходить по истинной лестнице... от частных к меньшим аксиомам (обобщениям — *А.Л.*) и затем — к средним, одна выше другой, и наконец к самым общим” [24, с. 63]. И для осуществления этого пути он создает свой метод *эмпирической индукции* — метод систематизации и обобщения эмпирических фактов.

В основе бэконовской эмпирической индукции — методы систематизации данных опытов, которые он свел к трем типам таблиц. Это, во-первых, “таблица сущности и присутствия”, в которой разуму представляются “все известные примеры, сходящиеся в этой природе, хотя бы и посредством ~~самых различных мате-~~”

216086

рий". В качестве "примеров, сходящихся в природе тепла", он приводит следующие:

1. Солнечные лучи, особенно летом и в полдень...

27. Сильный и острый холод также приносит некое ощущение жжения...

Во-вторых, должно представить разуму примеры, которые лишены данной природы... И далее он приводит "к первому положительному примеру — первый отрицательный, или подчиненный, пример: лучи луны, звезд и комет не оказываются теплыми для осязания... к двадцать седьмому — тридцать второй: есть много действий, общих и теплу и холоду, хотя и совершенно различных по своим причинам. Так мы видим, что и снег жжет руки мальчиков, спустя недолгое время; и холод предохраняет мясо от гниения не меньше, чем огонь...

В третьих, должно предоставить разуму примеры, в которых исследуемая природа присутствует в большей и меньшей степени... мы называем эту таблицу таблицей степеней, или таблицей сравнений". И далее он приводит:

1. Среди твердых и осязаемых тел мы не находим ни одного, которое было бы изначально тепло по своей природе...

25. Встречаются среди раскаленных тел гораздо более горячие, чем некоторые виды пламени..." [24, т.2, с. 89-101].

Эти приемы, в той или иной степени, используются и сегодня при работе с первичным эмпирическим материалом и отвечают распространенным представлениям о развитии науки.

У *Г.Галилея* (1564—1642) в текстах его "Бесед...", где он, решая доставшуюся ему в наследство от Аристотеля (и считавшуюся очень важной все это время) задачу об описании падения тела, закладывает основу естественной науки Нового времени, проступает фактически *схема противоположная бэконовской*. Не из тщательного эмпирического исследования выводит он свою теорию падения тела (измерение времени падения тел с Пизанской башни, по-видимому миф [80]). В качестве исходного пункта его построений можно принять теоретическое утверждение, что природа "стремится применить во всяких своих приспособлениях самые простые и легкие средства... Поэтому, когда я замечаю, — говорит Г.Галилей в своих "Беседах...", — что камень, выведенный из состояния покоя и падающий со значительной высоты, приобретает все новое и новое приращение скорости, не должен ли я думать, что подобное приращение происходит в самой простой и ясной для всякого форме? Если мы внимательно посмотрим в дело, то найдем, что нет приращения более простого, чем происхо-

дящего всегда равномерно..." [35, т.2, с. 238]. Схема работы Галилея, ярко продемонстрированная в большом отступлении "о падении тел в пустоте" в ходе "1-го дня" "Бесед..." ("день" это — единица членения этого трактата) и повторяющаяся в задаче о брошенном теле ("4-й день"), такова: 1) *задается закон движения* (тела падают с одинаковой скоростью в 1-й "день" или равномерноускоренно в 3-й и 4-й "дни"); 2) в результате мысленных физических экспериментов происходит создание элементов *физической модели* идеального движения тела в пустоте и мешающей этому идеальному движению среды; 3) к созданному таким путем теоретическому построению — физической модели падения тела в пустоте — Галилей подходит как инженер к проекту, *воплощая его в материал* путем создания "гладких наклонных плоскостей" и других "конструктивных элементов" инженерной конструкции<sup>I 1</sup>.

Отметим использование здесь фактически процедуры "по определению"<sup>II</sup> при введении "пустоты", как такой совокупности условий, в которой галилеевское идеальное падение тела и реальное совпадают, и "среды" — того, что отклоняет реальное падение от идеального<sup>2</sup>. Эту линию продолжает И.Ньютон, у которого, как мы увидим, легко просматривается тот же рисунок. Никаких ссылок на опыты здесь нет. "Я заявляю, — говорит Галилей, — что хочу исследовать, каковы признаки, присущие движению тела, начинающегося с состояния покоя и продолжающегося со все возрастающей одинаковым образом скоростью". Причем. "Галилей указывает, что даже, если некоторые выводимые им таким путем следствия не будут соответствовать всем особенностям естественного движения падающих тел, для него это не будет иметь значения, — ведь "никто не упрекает доказательства Архимеда за то, что в

---

<sup>1</sup> Так отмечаются сноски, предназначенные для философов, помещенные в конце книги.

<sup>2</sup> Еще древнегреческие философы вводили пустоту как условие движения, а сопротивление жидкости и воздуха движению было фактом обыденного опыта. Так что у этого утверждения были исторические, онтологические и эмпирические основания. Но в строгом логическом смысле их можно рассматривать как постулаты.

природе нет тел движущихся по спирали (спирали Архимеда. — А.Л.)” [44, с. 114].

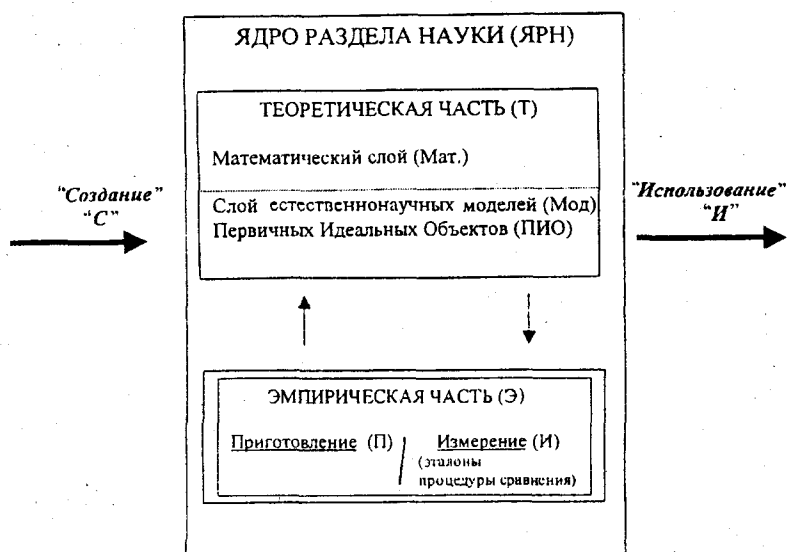
По сути Г.Галилей создал четкую *многослойную структуру естественной науки* из сочетания образцов теоретизирования, заданных в геометрии Евклида (эта тема подробно обсуждается ниже), элементов натурфилософского моделирования и инженерии позднего Возрождения.

В *математическом слое (Мат)* он на языке пропорции  $v(t_1) : v(t_2) = t_1 : t_2$  ( $v$  — скорость, время  $t$  отсчитывается от начала падения) зафиксировал закон равномерно-ускоренного падения тела. Затем он ввел еще один теоретический слой — “модельный слой” или слой *“естественнонаучных моделей” (Мод)*<sup>3</sup>, состоящий из таких элементов как “тело”, “пустота”, “среда”, а также измеримые величины — время, скорость, расстояние. Этот двухслойный теоретический блок — дополняется третьим нетеоретическим слоем *“эмпирического материала” (Э)*, содержащим две части: *“приготовительную” часть (П)*, включающую необходимые для приготовления самой системы и ее исходного состояния “конструктивные элементы” типа наклонных плоскостей (с их помощью в материале создается система и ее начальное состояние); *“измерительную” часть (И)*, включающую *эталоны и процедуры сравнения с ними* для измеримых величин, фигурирующих в слое “естественнонаучных моделей” (Сх.2.1)<sup>III</sup>.

Такой же структурой обладает любой эксперимент (эксперимент, в отличие от наблюдения, предполагает наличие теоретической части, определяющей что готовить и что измерять).

Данная здесь интерпретация существенно отличается от общепринятых, смотрящих на работы Галилея сквозь призму бэконовского эмпиризма, различные варианты которого абсолютно доминируют в философии науки. Более подробное обсуждение этого вопроса с точки зрения философии

<sup>3</sup> В “Беседах...” Галилея эти слои выделены по форме: первый - в виде читаемого трактата, написанного на латыни и состоящего из аксиом, лемм, теорем, по образцу геометрии Евклида; второй - в виде живого диалога на итальянском языке, в ходе которого приводятся многочисленные мысленные эксперименты.



*Сх. 2.1. "Галилеевская" структура ядра раздела науки (ЯРН):*

*Т — теоретический блок, включающий: Мат — математический слой, Мод — слой естественнонаучных моделей, содержащий первичные идеальные объекты (ПАО); Э — слой "эмпирического материала", включающий П — приготовление системы и ее исходного состояния, И — процедуры измерения и эталоны; обозначены также фазы: "С" — создания новых первичных идеальных объектов и "И" — использования уже имеющихся первичных идеальных объектов*

науки, так же как и предлагаемую автором альтернативу в виде "конструктивного рационализма" мы оставим на конец книги. То, что мне важно зафиксировать здесь — это принципиальное несовпадение между эмпирическим понятийным аппаратом, с помощью которого рассуждают О НАУКЕ, и тем как работают В НАУКЕ при создании новых разделов науки.

Ключом к пониманию структуры физики (а на нее часто ориентируются и другие естественные науки) можно, по-видимому, считать геометрию Евклида, служившей для Галилея и Ньютона образцом теории. Из нее было унаследовано очень многое.

Во-первых, это иерархичность. Последняя состоит в том, что в геометрии Евклида существуют исходные понятия — точка, прямая, ..., из которых строятся все прочие “идеальные объекты второго уровня” — геометрические фигуры. Последние легко определяются явным образом через первые. А вот с определением первых — точки, прямой, ... — дела обстоят не так просто. Долгое время их рассматривали как самоочевидные и неопределимые исходные понятия (сам Евклид давал определение точке как “то, что не имеет частей”, а линии как “длине без ширины”, что отвечало духу древнегреческой философии). Но после появления во второй половине XIX в. неевклидовых геометрий с их весьма неочевидным образом прямой ситуация изменилась. Возникла проблема строгого определения оснований геометрии. Одно из наиболее общепринятых решений возникшей проблемы дал в конце XIX в. Д. Гильберт: исходные (первичные) понятия геометрии — точку, прямую, расстояние, плоскость стали определять неявным образом и совместно через систему аксиом геометрии.

Аналогичную ситуацию мы имеем в классической механике и других разделах физики. Здесь тоже существуют “первичные идеальные объекты” (ПИО)<sup>IV</sup> — частицы, силы, поля, ..., из которых строятся модели различных явлений природы и глобальные картины мира. Динамика Ньютона рассматривает невообразимое множество механических систем, собираемых из различных тел (частиц) и приложенных к ним сил. Частицы и силы играют роль “первичных идеальных объектов”, из которых собираются более сложные составные идеальные объекты — теоретические модели различных явлений природы. ПИО — важнейшие понятия каждого раздела физики — являются теми исходными “кирпичиками”, из которых строятся теоретические модели различных физических явлений и физическая “картина мира”. Последние выражаются через первые явным образом, а с определением “первичных идеальных объектов” дело обстоит так же как и в геометрии. В классической механике их долгое время после Ньютона рассматривали как самоочевидные и неопределимые исходные понятия. Но после появления во второй половине XIX в. электродинамики Максвелла ситуация изменилась. Реа-

лизация антиньютонианской программы Фарадея-Максвелла поставила под вопрос казавшиеся до того большинству физиков достаточно очевидными ньютоновские определения массы, силы, частицы и ее характеристик. И здесь физика пошла по тому же пути, что и геометрия (хотя и менее осознанно), через использование *неявного* типа определения. Соответствующая система понятий и постулатов (аналог системы аксиом геометрии) называется нами “*ядром раздела науки*” — *ЯРН* (в данном случае — физики). Понятия “первичного идеального объекта” (ПИО) и “ядра раздела науки” (*ЯРН*) — основные понятия развиваемого нами “*модельного подхода*” к науке.

Идея “первичного идеального объекта” и “ядра раздела науки” логически естественна и без образца геометрии. Действительно, явное определение, примером которого может служить и статья толкового словаря, выражает одно понятие (или объект) через другие, те — через третьи и т.д. Этот процесс должен где-то обрываться. То на чем он обрывается будет образовывать группу “первичных” понятий (или объектов). Декарт и его последователи, по сути, предлагали в качестве последних интуитивно очевидные понятия. Но математика, физика, химия работали со все более сложными понятиями и во второй половине XIX в. многие из первичных понятий уже трудно было считать очевидными. Решением возникшей проблемы стал неявный тип задания первичных понятий, которые в случае естественных наук мы называем “первичными идеальными объектами”. Структура, в рамках которой осуществляется это неявное определение мы и называем “ядром раздела науки”. Геометрия является здесь простым и всем знакомым образцом.

Иерархия среди идеальных объектов требует ввести еще одно обозначенное на сх. 2.1 очень важное различие — фиксацию *двух фаз* в развитии науки: *фазы создания (С)* новых “первичных идеальных объектов” (отвечающих на вопрос “*ЧТО* такое эти поля, микрочастицы и т.д.?”) и *фазы их использования (И)* для построения моделей явлений природы или картины мира (отвечающей на вопрос о том “*как устроен мир?*”). Это различие проводится уже в “Беседах...” Галилея, когда в ответ на реплику своего оп-

понента — аристотелианца (перипатетика) Симпличио: "...в этих правильных и удивительных построениях может заключаться великая тайна — я подразумеваю тайну сотворения мира... и первоначальной причины", — Галилей в лице Сальвиати говорит: "Я не возражаю против такого предположения. Но ... для нас будет достаточно, если мы уподобимся... рабочим, выламывающим и добывающим из карьеров мрамор, из которого впоследствии опытные скульпторы могут создать удивительные образы" [35, т.2, с. 266]. Это различие проявляется в предложенном Т.Куном делении на "нормальную" и "аномальную" фазы науки<sup>V</sup> и в эйнштейновском различии на "конструктивные" и "фундаментальные" ("принципиальные") теории. Нам представляется, что в истории физики (и естественной науки вообще) наличие указанных двух фаз в развитии науки отражается в периодически возобновляющемся споре о том, в чем задача физики: "объяснять" или "описывать".

Больцман представлял себе историю этого спора так. "На базе, созданной трудами Галилея и Ньютона, парижские математики во время французской революции и позже создали точно определенный метод теоретической физики. Принимались некоторые предварительные механические допущения, откуда при помощи принципов механики, сведенных к некоторого рода геометрическим аксиомам, получались объяснения группы явлений природы... (При этом считалось) в известной степени вероятным, что они точно отвечают действительности... Так представляли себе материю, эфир,... Совокупность этих методов и выводов из них были настолько плодотворны, что задачей естествознания стали считать именно объяснение явлений природы, и так называемые..., описательные науки торжествовали, когда гипотеза Дарвина позволила им не просто описать формы и явления жизни, но и объяснить их. Как ни странно, почти в то же время физика совершила противоположно направленную флуктуацию.

А именно Кирхгофу показалось сомнительным, является ли правомочной вышеупомянутая установка, при которой силы принимались за причины явлений... На полстраничке силы были исключены из природы путем определения, и физика превратилась собственно в описательную науку о природе... Структура механики оказалась слишком прочной; чтобы это изменение внешней стороны существенно повлияло на ее внутреннюю цельность... Но на развитие других отраслей физики (электродинамики, теории пирро- и пьезо-электричества и т.д.) оказал большое влияние тот взгляд, что задачей теории не является объяснение механизма природы... (Согласно этому взгляду) нужно, по из-

вестному выражению Герца, представлять уравнениями только непосредственно наблюдаемые явления, не облачая их в пестрые, расцветенные нашей фантазией одеяния гипотез... Замыкает эту историческую последовательность Максвелл... В конце концов философия максвелловских идей была обобщена в учении о том, что познание вообще не представляет собой ничего иного, как обнаружение аналогий. Тем самым старый научный метод опять был исключен путем определений и наука заговорила больше при помощи сравнений... " [17, с. 65—66].

Творцы новых разделов физики: классической механики (Галилей, Ньютон с его знаменитым тезисом "гипотез не создаю"), электродинамики (Максвелл, Герц), специальной теории относительности (Мах, ранний Эйнштейн, находившийся под сильным влиянием Маха) в своей деятельности придерживались не "объяснительной", а "описательной" установки. Это обусловлено тем, что следование "описательной" установке "развязывало руки" для создания нового "строительного материала" — "первичных идеальных объектов" и объемлющего их "ядра раздела науки", которые, как мы увидим, часто рождаются не через объяснение, а через конструктивное преобразование парадокса<sup>VI</sup>.

Нас интересует фаза создания нового "ядра раздела науки", в ходе которого создаются новые "первичные идеальные объекты". В центре этого процесса — теоретическая работа по созданию новых "первичных идеальных объектов" (ПИО). Опыты же, как они понимаются в эмпирической традиции, идущей от Фр.Бэкона, дают некий исходный эмпирический материал в виде "эмпирических фактов" и "эмпирических закономерностей" — "эмпирический хаос" (в древнегреческом смысле слова "хаос") типа расплывчатых, нечетких образов движения, газа и др. Из этого "хаоса" посредством, главным образом, теоретической работы галилеевского типа создаются естественнонаучные "первичные идеальные объекты" (идеальное движение ньютоновского тела в пустоте, идеальный газ, электромагнитное поле и др.). Этот же "эмпирический хаос" часто служит поставщиком тех "явлений природы", модели которых создаются из уже готовых "первичных идеальных объектов" (в фазе их использования). Эта "бэконовская" сторона эмпирической науки, поставляющая "явления" для объяснения и исходный материал ("хаос") для создания "первичных идеальных объектов" подробно анализируется в [190].

Итак, мы приходим к следующей модели создания и функционирования разделов естественной науки нового времени. Существует эмпирический материал в виде различных эмпирических явлений и закономерностей. Этот материал накапливается в науке по-бэконовски и служит сырьем для формирования развитой науки<sup>VII</sup>, которая использует его двумя способами. 1) При создании нового ядра раздела науки и связанных с ним новых “первичных идеальных объектов” это — строительный материал. Эксперимент при этом выступает как инженерное действие, воплощающее теорию-проект в конкретный материал. Здесь эмпирическая материальная реализация является приближенным воплощением “первичных идеальных объектов”. 2) В рамках уже созданного раздела науки накопленные в слое эмпирического материала феномены являются предметом рассмотрения и объяснения с помощью создаваемых из имеющихся “первичных идеальных объектов” моделей этих явлений. В этом случае уже идеальная модель выступает как приближенное изображение эмпирического явления.

При этом сам процесс скачка от накопления эмпирического материала к зрелому ядру раздела науки мы не рассматриваем. Мы, как и К.Поппер, относим его к недоступному нашему анализу процессу творчества. Мы лишь констатируем этот скачок, обращаем внимание на исходное положение дел (часто это тот или иной парадокс) и указываем некоторые черты структуры конечного положения дел (для физики весьма подробно).

При таком представлении рождения новых наук роль опыта снижается, на первые роли выходит “ядро раздела науки”, которое непосредственно из опыта не выводится<sup>VIII</sup>.

Отметим, что аналоги указанных на сх. 2.1 трех слоев (математическом, модельном и эмпирическом) можно усмотреть уже в геометрии Евклида. Здесь, наряду с 1) основным чисто математическим абстрактным слоем аксиом, теорем, доказательств, 2) применяются (в качестве вспомогательных) наглядные образы в виде дополнительных построений и т.п., 3) евклидова геометрия в своих практических приложениях предполагает и материализацию в эмпирическом материале своих идеальных объектов (с помо-

щью “хорошо заточенного карандаша”). Но соотношение роли этих слоев в геометрии Евклида и в физике Галилея-Ньютона совершенно разные.

У Евклида главным является математический слой, где задаются аксиомы, формулируются теоремы и проводятся многочисленные, разнообразные и сложные доказательства. В физике место всего этого разнообразия теорем и доказательств занимает относительно тривиальная процедура — решение уравнения движения (сегодня это делают вычислительные машины)<sup>4</sup>. Центр тяжести творческой работы в физике и других естественных науках связан с особым модельным слоем, где происходит работа с “первичными идеальными объектами”.

На фазе создания новых “первичных идеальных объектов” (нового ядра раздела науки) это — задание основных элементов, связей и процедур (о которых речь пойдет чуть ниже). На фазе использования уже созданных “первичных идеальных объектов” это — процедуры схематизации и построения из них моделей соответствующих явлений (кипения жидкости, коронного разряда и т.п.).

Поэтому заявленная Ф.Клейном и его последователями программа аксиоматизации в физике [29] не имеет того значения, которое она сыграла в математике. Возможность аксиоматизации теории предполагает “выделение в теории двух классов предложений (аксиом и теорем)” и то, что “теоремы доказываются в соответствии с правилами дедуктивной логики” [138, с.25]. В наших же построениях мы имеем дело с цепочкой: известные “первичные идеальные объекты” — модель явления” или “проблема — конструирование — новые “первичные идеальные объекты””, а не с цепочкой “аксиомы — дедуктивный вывод — теоремы”. Нетрудно перечислить постулаты (их часто называют исходными “опытными фактами”), лежащие в основании того или иного раздела физики (мы это будем делать ниже). Но никаких богатых плодов в виде теорем и доказательств, характерных для геометрии и других разделов математики, это не принесет. В физике главным явля-

<sup>4</sup> За исключением разделов математической физики типа аналитической механики, имеющей дело со сложными многочастичными моделями, где основная трудность не столько составление, сколько решение сложных уравнений движения.

ется другой тип развития. В значительной степени это не столько множество логических суждений, сколько множество различных процедур.

Особое место в нашей схеме занимают *процедуры измерения*. По своему происхождению и смыслу измерение — это *сравнение с эталоном*<sup>IX</sup>. Образцом измерения, может служить измерение положения частицы с помощью эталонного метра. Процедуры измерения расположены вне теоретической части<sup>5</sup>. Это *практическое действие, а не объект теории* в качестве явления “взаимодействия измерительного прибора с исследуемой системой”<sup>6</sup>. Такого мнения придерживается явное меньшинство. В качестве своих союзников, я, пожалуй, смогу назвать только В.А.Фока и В.Гейзенберга. Но отрицаемая нами позиция самопротиворечива. Это проявляется в порождаемых ею парадоксах в основах квантовой механики. Подробнее мы это обсудим при рассмотрении квантовой механики.

Кроме того, у Галилея происходит окончательная объективация наблюдения (эксперимента). Эксперимент и измерения отрываются от индивида и его чувств и сводятся теперь к описанию *процедур*. Только такая объективация дает основание для использования приборов, усиливающих познание, подобно тому, как механические приспособления того времени увеличивали силу (блок, рычаг и т.п.). О том, насколько нетривиальные проблемы возникают при переходе к использованию приборов, гово-

<sup>5</sup> Имеется в виду наличие принципиально нетеоретического остатка в виде той или иной процедуры сравнения с эталоном, который не может быть предметом теории в данном разделе науки. Отдельный интересный вопрос — “теоретическая нагруженность” современных приборов [190]. Существенная часть приборов может быть включена в теоретическую часть путем расширения границы рассматриваемой системы.”

<sup>6</sup> Кроме “одномоментных” измерений типа измерения положения частицы, существуют “неодномоментные”, типа измерения скорости (использующую два измерения положения частицы в разные моменты времени, хотя часто можно с помощью фильтра по скорости частиц осуществить его по одномоментной технологии) или температуры. При таких измерениях анализ точности измерения часто включает теоретическое рассмотрение в течении времени измерения усложненной системы, состоящей из исследуемой системы и воздействующей на него в ходе измерения определенной части прибора (типа пробного тела). Но это не влияет на определение понятия состояния.

рят те трудности, которые пришлось преодолеть Галилею, чтобы доказать правомерность применения зрительной трубы для наблюдений пятен на солнце. После Галилея подобное обращение с приборами стало нормой, а связанные с этим нетривиальные проблемы были забыты вплоть до появления квантовой механики<sup>7</sup>. В последней, в связи с этой забывчивостью, возникли мифы об активной роли наблюдателя в квантовой механике, об особости квантовой механики, поскольку она имеет дело мол с непосредственно ненаблюдаемыми величинами. “Однако небольшой философский анализ, — говорит философ А.Л.Никифоров, — тотчас обнаруживает, что здесь нет ни простоты, ни ясности. Дело в том, что весьма неясным оказывается основное понятие “наблюдаемости”... Встает вопрос: можно ли использовать при наблюдении приборы?... Приходится допускать использование приборов при наблюдении. Однако в этом случае граница между наблюдаемым и ненаблюдаемым становится совершенно неопределенной. Наблюдаем ли мы колебания температуры атмосферного воздуха, когда следим за повышением или понижением столбика ртути в термометре?” [131, с. 29—30]<sup>8</sup>.

Перечислим *основные элементы*, нашего основанного на понятии “первичного идеального объекта” “*модельного подхода*” к физике и другим естественным наукам, многие из которых были заложены в “Беседуах...” Галилея:

1) введение понятий “*первичных идеальных объектов*” (ПНО) и “*ядра раздела науки*” (ЯРН);

2) Выделение *двух фаз* в истории каждой науки: создания новых “первичных идеальных объектов” и их использования (практически все философы работают только с этим).

3) выделение особого *модельного слоя* в теории, где происходит работа с “первичными идеальными объектами”. Причем, находящиеся в этом слое физические модели в “процессе создания” выступают как проект подлежащий реализации, а в “процессе использования” — как модель оригинала-явления;

---

<sup>7</sup> Отметим, что тип и уровень методологических проблем, которые решал Галилей во многом аналогичны тем, с которыми почти через три века столкнулись творцы квантовой механики. Поэтому обращение к Галилею, с которого мы начинаем, оказывается столь актуальным сегодня.

<sup>8</sup> Интересное, во многом альтернативное, обсуждение этих проблем можно найти в [190].

4) *трехчастная структура* “ядра раздела науки” (ЯРН), “первичного идеального объекта” (ПИО) и эксперимента: *приготовление* системы в исходном состоянии (П) — *теоретическое описание* поведения системы (Т) — *измерение* (И). Эксперимент объединяет теоретическую модель с ее материализацией в эмпирическом материале. Измерение, задается соответствующими процедурами измерения, содержащими сравнение с эталоном и поэтому носит принципиально “нетеоретический” характер (это разрушает основание, на котором стоят интенсивно обсуждаемые “парадоксы” квантовой механики;

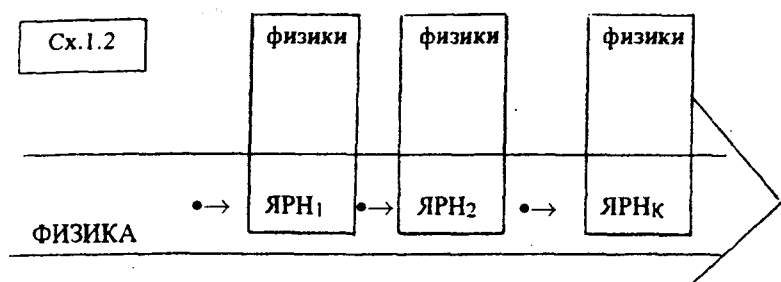
5) противопоставляемый эмпиризму Фр. Бэкона *неэмпирический* характер возникновения “первичных идеальных объектов” и основных теоретических понятий, входящих в ядро раздела науки, инженерное отношение между теорией и эмпирическим материалом.

6) К этим “галилеевским” и “ньютоновским” пунктам добавляется пункт, состоящий в том, что *единицей анализа* у нас является *раздел науки*, сердце которой составляют соответствующие “первичные идеальные объекты”. Для физики это деление на разделы, по факту, совпадает со стандартным делением на разделы теоретической физики.

Отметим, что мы рассматриваем *логику становления* разделов физики и других наук, которая, как правило, отличается от реальной истории. Творческие муки и мотивы создателей разделов физики — физиков, творивших в конкретное историческое время, — лежат в другой плоскости. Мы рассматриваем лишь определенную проекцию их деятельности на выделенную нами логическую метаисторию физики (Сх.2.2).

В этой метаистории все сжато до двух точек: исходной проблемы (обозначена кружком) и ее решения в виде готового ядра раздела науки (и “первичных идеальных объектов”).

Этот процесс близок рассмотренному в [201], где общая логическая схема “антиномии” или “парадокса” как “особой ситуации, складывающейся в ходе развития науки” описывается так: “Определенный объект А, являющийся образцом и эталоном класса, анализируется сначала посредством процедуры  $\Delta_1$  и выступает как обладающий свойством В; потом этот же объект анализируется посредством другой процедуры  $\Delta_2$  и выступает как



Сх.2.2

обладающий свойством не-В... Это создает особую ситуацию "разрыва" в развитии науки... В их (таких ситуаций) контексте уже бессмысленно спрашивать: какому из имеющихся знаний соответствует объект, 1-му или 2-му..." [201, сс. 155, 158, 159, 162]. В нашей схеме выходом из этой ситуации является построение нового "первичного идеального объекта".

Следуя рассматриваемым в конце книги основным различиям в современной философии науки, развиваемый нами подход можно было бы назвать "*конструктивным рационализмом*". Эмпирическому явлению в последнем сопоставляется не "теоретическая", а "естественнонаучная" теоретико-экспериментальная модель, в которой соединены указанные на сх.2.1 части — две теоретические (модельная и математическая) и две нетеоретические (приготовительная и измерительная). Поэтому если Фр. Бэкона считают отцом эмпирического метода, то Г.Галилея следует считать отцом современной "теоретико-экспериментальной"<sup>9</sup> естественной науки. И если книга Яна Хакинга написана под девизом "Назад к Бэкону" [190, с. 161], то данная книга написана под девизом "НАЗАД К ГАЛИЛЕЮ".

<sup>9</sup> Этим термином мы хотим подчеркнуть то, что единицей анализа в развиваемой нами "галилеевской" линии является не теория, а многослойный комплекс ядра раздела науки.

## 2.2. О месте “модельного подхода” в философии науки<sup>10</sup>

*“Большинство ученых сегодня не удовлетворены описанием научного метода, даваемого философами... Научный метод, о котором говорят философы, кажется странно удаленным от того, что с точки зрения ученых является методом, которому они следуют...”*  
[230, p. 284, 301].

Большинство современных ученых и философов смотрят на физику сквозь призму различных эмпиристских моделей науки, чьи истоки лежат в бэконовском индуктивизме с его стандартной последовательностью (ср. [244]):

*эмпирические факты => эмпирические  
закономерности (законы) => теоретические законы.*  
(2.2.1)

(2.2.1) задает “стандартный эмпирический взгляд” на естественные науки: “Процесс познания начинается с наблюдения, с констатации фактов; затем наступает очередь обобщения результатов наблюдения и лишь после этого может начать работу теоретик” [131, с.29] (см. также [254, с. 30]), закрепленный в 1930-х в виде тезиса о гносеологической первичности “языка наблюдения” логических позитивистов (см. п.11.2).

Несмотря на суровую критику, начатую еще в XVIII в. Д.Юмом и возобновленную в XX в. К.Поппером и др., указывающую на невозможность в рамках логики эмпиризма прийти к теоретическим законам (подробнее это рассматривается в последней главе), “стандартный эмпирический взгляд” (2.2.1) жив и сегодня. “Представления, находимые в книгах по философии науки, все еще демонстрируют следы бэконовско-миллевской традиции” — утверждает известный философ науки Фредерик Суппе (F.Suppe) [254, p.284].

В руках неопозитивистов (их описание мы отложим до последней главы) теоретические законы превратились в логико-математические выражения.

<sup>10</sup> Работа над п.2.2 и пп.6.6-6.8 велась при финансовой поддержке РФФИ (грант N99-06-80244).

“Начиная с 1920-х, — пишет Ф. Суппе — стало общим местом для философов науки конструировать научные теории как аксиоматические исчисления (*calculi*), которым дается частичная наблюдательная интерпретация посредством правил соответствия (*corresponden rules*). Этот анализ, на который обычно ссылаются как на *общепринятый взгляд* (*Received View*) на теории, был широко принят философами науки. Небольшим преувеличением будет сказать, что фактически каждый значительный результат, полученный в философии науки между 1920-ми и 1950 или использовал, или неявно предполагал этот общепринятый взгляд (ОВ)”, согласно которому “научная теория должна быть аксиоматизирована на языке математической логики .... Термины логической аксиоматизации должны быть разделены на три сорта: (1) логические и математические; (2) теоретические; (3) наблюдения, которым дается интерпретация с помощью наблюдения ... Аксиомы теории есть формулировки научных законов, они устанавливают (*specify*) отношения между теоретическими терминами. *Теоретические термины* являются лишь *сокращениями* для феноменальных описаний... Наиболее ранняя версия ОВ принадлежит Р.Карнапу ” [254, р. 10—12]. Последний, даже в поздней работе, несмотря на сложную эволюцию своих взглядов, видит в теории *систему предложений*, состоящих из *терминов*, которые подразделяются им на “*наблюдаемые*” и “*теоретические*”. В центре теорий — *теоретические ЗАКОНЫ*, которые он противопоставляет *эмпирическим* законам. Суть теоретических законов (по Карнапу) — производить эмпирические, что требует введения *правил соответствия* (которые он отличает от определений), устанавливающих частичную связь между теоретическими терминами и наблюдаемыми [68, с. 310—319].

В более строгом виде ранний вариант “общепринятого взгляда” выливается в следующие формулировки: “i. Теория формулируется в логике первого порядка с равенством. L; (ii) Нелогические термины или постоянные в L делятся на 3 различные класса, называемые словарями: (a) Логический словарь, состоящий из логических констант (включающих математические термины). (b) Словарь наблюдаемых —  $V_0$ , содержащий термины наблюдения. (c) Теоретический словарь —  $V_t$ , содержащий теоретические термины. (iii) Термины  $V_0$  интерпретируются как относящиеся к непосредственно (*directly*) наблюдаемым физическим объектам

или непосредственно наблюдаемым атрибутам физических объектов (только после работ Геделя (1931 и 1934) и Тарского (1936) это синтаксически-семантическое различие стало ясно видно, и этот пункт был включен). (iv) Имеется ряд теоретических постулатов E, чьи единственные нелогические термины принадлежат Vt. v. Терминам в Vt дается точное определение в терминах Vo посредством правил соответствия C — т.е. для каждого термина 'F' в Vt, должно быть дано определение следующего вида: (x)  $(Fx \Rightarrow Ox)$ , где 'Ox' есть выражение в L, содержащее символы только из Vo и, возможно, логического словаря...

Правила соответствия выполняют в "общепринятом взгляде" три функции: 1) определяют теоретические термины; 2) гарантируют познавательное (cognitive) значение теоретическим терминам; 3) устанавливают (specify) допустимые (admissible) экспериментальные процедуры для применения теории к явлению. Так, если правило соответствия определяет "массу" (теоретический термин) как результат выполнения измерения M объекта при обстоятельствах S (где M и S устанавливаются, используя термины наблюдения), то этим устанавливают эмпирическую процедуру для определения массы, определяют "массу" в терминах этих процедур, и делают это так, чтобы гарантировать познавательное значение термину "масса" [254, p.16—17].

"В 1950-х, однако, этот анализ стал объектом критических атак... Эти атаки были столь успешны, что к концу 1960-х был достигнут общий консенсус среди философов науки, что "общепринятый взгляд" неадекватен как анализ научных теорий...

Сегодня в философии науки сложилась следующая ситуация: "общепринятый взгляд" отвергнут, но ни одна из предложенных альтернатив анализа теорий не получила широкое признание" (в результате "общепринятый взгляд" остался жить, хотя породивший его логический позитивизм к 1960-м сошел на нет) [254, p. 3—4].

Это писалось в 1969 г., но во многом верно и сегодня, хотя в последующие десятилетия был сделан еще один шаг — в связи с рядом проблем, возникающих в рамках "общепринятого взгляда", появился "структуралистский взгляд" на науку (Суппес, Штегмюллер и др.) [251—253; 23].

Все они исходят из представления, что науки определяются своим предметом (объектом) и законами, которые описывают его поведение. Все они подразумевают наличие ДВУХ основных реальностей: теоретических законов в виде математических формул и эмпирических фактов (явлений).

П.Суппес пишет в своей работе “Что такое теория?": “Научная теория состоит из двух частей. Первая — абстрактное логическое исчисление (calculus). В дополнение к словарю логики это исчисление включает примитивные символы.... Вторую часть теории составляет набор правил, которые приписывают эмпирическое содержание логическому исчислению, снабжая его тем, что обычно называют “координативными дефинициями” или “эмпирическими интерпретациями”, по крайней мере, для некоторых примитивных (primitive) и определенных символов исчисления” [252, p. 56].

С этим взглядом в основном солидаризируется и один из патриархов отечественной философии науки И.В.Кузнецов, который анализируя структуру физической науки приводит позицию Л.С.Мандельштама (см. следующий параграф) как образец [87, с.29] и в своем собственном анализе выделяет аналогичные два элемента: “главный структурный элемент” (“ядро физической теории”) — “систему общих законов, выражаемых в математических уравнениях,” и “физическую интерпретацию уравнений” [87, с. 34].

Общей для структуралистов и логических позитивистов является и признание значимости задачи аксиоматизации<sup>11</sup>. И у тех и у других “теория — лингвистическая сущность, состоящая из ряда предложений”<sup>12</sup> [253, p.13].

Предлагаемый в данной книге “*модельный подход*” выдвигается как *принципиальная альтернатива “общепринятому взгляду”* и “*стандартному эмпирическому взгляду*”, приведенным в начале этого параграфа.

В нашем “модельном” подходе к науке, в основе наук лежат “первичные идеальные объекты” (ПИО), задающие типы моделей, которые данный раздел науки рассматривает. Центральным же как для ПИО, так и для построенных из них моделей, является слой естественнонаучных моде-

<sup>11</sup> Применение к эмпирическим наукам метода аксиоматизации научной теории (посредством определения “теоретико-множественного предиката, специфичного для данной теории”) лежит в основе введенного П.Суппесом “структуралистского взгляда” (см. статью В.Н.Садовского о Штегмюллере в [164, с. 381]).

<sup>12</sup> В результате возникает проблема качественного разрыва между теорией как “лингвистической сущностью, состоящей из ряда предложений” и экспериментированием с реальными физическими объектами. В.Штегмюллер видит здесь проблему “содействия примирению между любой фундаментальной научной теорией и сырым экспериментальным методом” [251, p. 63].

лей<sup>13</sup>. Именно построение физической модели отдельного “явления природы” является центральным элементом в работе физика. Именно с создания физической модели начинается его работа и в классической и в квантовой механике. После того, как модель есть, составить для нее математическое “уравнение движения”, которое часто называют “законом” — дело техники<sup>14</sup>. Именно ПИО, а не “теоретические законы” (якобы выведенные из “эмпирических закономерностей”) определяют лицо раздела науки. Именно эти сложные многэтажные объекты содержат в себе то, что называют “теоретическими законами” (в виде уравнений движения) и интерпретацией (поскольку в них эмпирическая и теоретическая части уже четко связаны).

Поэтому если в “структуралистском подходе” “структурными компонентами теорий” являются “модели теории, ее возможные модели, частичные возможные модели, общие ограничения специальных законов и т.д.” и занимаются “установлением их взаимосвязи с эмпирическими утверждениями, которые можно сделать, используя эти компоненты” [164, с. 381], то мы анализируем структуру “первичного идеального объекта” (ПИО) и задающей его целостности — “ядра раздела науки” (ЯРН).

Главное отличие понятия модели в нашем “модельном” и их “структуралистском” подходах состоит в том, что у нас теория — это, в первую очередь, модель (состоящая из ПИО), а у структуралистов теория — математическое выражение, а модель — ее “лингвистическая” интерпретация.

У нас в центре — “первичные идеальные объекты” (ПИО), элементами которых являются уравнение движение (“законы”) и эмпирические процедуры измерения и приго-

<sup>13</sup> В структуралистском подходе, как и во всей эмпирической линии, наш центральный модельный слой отсутствует. Наследники аналитической философии — как в логицистском, так и в структуралистском варианте — делают прямо противоположное нам — они проецируют все на математический слой, который у них является основным.

<sup>14</sup> Хотя иногда модель рождается в ходе “игры” с гамильтонианом в уравнении движения.

товления. И уже из этих гетерогенных объектов строятся модели. И это совсем другой тип моделей, чем обсуждают “структуралисты”.

Поскольку между ПИО и построенными из них моделями нет качественного различия по материалу, то здесь нет и указанных выше проблем: ни проблемы связи фундаментальной теории с частной теорией для данного эксперимента (вместо этого есть ПИО и построенная из них теоретическая модель явления), ни проблемы “правил соответствия” или “эмпирической интерпретации” для связи “лингвистических” математических законов с “нелингвистической” эмпирией (эмпирические процедуры измерения и приготовления являются элементами ПИО).

Из сказанного выше следует, во-первых, то, что Суппес и его последователи (и это характерно для эмпирического подхода вообще) рассматривают лишь процесс “использования” уже существующих “первичных идеальных объектов”, ибо у них нет различения фазы создания новых “первичных идеальных объектов” и фазы их использования (во всяком случае они с этим не работают). Во-вторых, наше моделирование не связано с аксиоматизацией (ни в синтаксическом, ни в семантическом (теоретико-множественном) варианте). У нас в процессе *использования* “первичных идеальных объектов” (в И-фазе) физическая модель явления строится из “первичных идеальных объектов”, что делает ее объектом данного раздела науки. При этом *физическая модель сопоставляется с явлением, а не аксиомами*. В процессе же создания новых “первичных идеальных объектов” (в С-фазе) и соответствующего “ядра раздела науки” модель (“первичные идеальные объекты”) является скорее проектом без прототипов (а не моделью — приближенной копией). В этом последнем случае модель появляется до оригинала<sup>15</sup>.

---

<sup>15</sup> “Существует модель ЧЕГО-ТО (of) ... — реального дома... и модель ДЛЯ чего-то (for), показывающая как вещи ведут себя” [230, p. 285]. Здесь речь идет о “модели для”.

### 2.3. О месте моделей в физике (спор с Л.И. Мандельштамом)

Выше мы, в основном, анализировали место теории в естественной науке. Теперь перейдем к более подробному обсуждению *места математики* в физической теории. В частности, посмотрим насколько обоснован тезис о том, что теоретическая физика — это математическая физика.

“Какова *структура всякой физической теории*, всякого физического построения вообще? — Говорил известный физик-теоретик Л.И. Мандельштам в своих лекциях по квантовой механике. — Немного схематично... можно сказать, что всякая физическая теория состоит из ДВУХ дополняющих друг друга частей (практически совпадающих с математическим слоем и слоем эмпирического материала на нашей сх.2.1. — А.Л.). Я начну с того, что можно считать второй частью. Это уравнения теории — уравнения Максвелла, уравнения Ньютона, уравнение Шредингера и т.д. Уравнения — это просто математический аппарат. В эти уравнения входят некоторые символы:  $x$ ,  $y$ ,  $z$  и  $t$ , векторы  $E$  и  $H$  и т.д. На этом вторая часть заканчивается. Здесь еще нет никакой физической теории. Это математика, а не естественная наука. Первую же часть физической теории составляет связь этих символов (величин) с физическими объектами, связь, осуществляемая по конкретным рецептам (конкретные вещи в качестве эталонов и конкретные измерительные процессы — определение координат, времени и т.д. при помощи масштабов, часов и т.д.)... Без первой части теория иллюзорна, пуста. Без второй (математической — А.Л.) вообще нет теории.... Т.е. мы имеем вначале переход от объектов к числам при помощи рецептов, потом следует математика и затем уже, чтобы выразить полученный результат как физический факт — обратный переход...” [114, с. 326—327].

На первый взгляд эта структура очень напоминает указанную на сх. 2.1. Однако, в описанной Мандельштамом схеме нет места для центрального для нас слоя физической модели, где происходит работа с “первичными идеальными объектами”. В его схеме, как и в схемах многих философов науки XX в., прописаны только *математический слой*, представленный уравнениями движения, и *процеду-*

ры измерения (в центре последних, как и у нас, — процедуры сравнения с эталоном). Приглядевшись внимательнее легко увидеть, что “физический объект” Мандельштама это не наш “первичный идеальный объект”, а совокупности измеримых величин.

На самом деле в физике нельзя обойтись без указанного нами особого физического модельного слоя. Он необходим при формулировке физических задач, и легко показать, что перечисленные выше авторы тоже без него не обходятся.

Так, когда Л.И. Мандельштам обсуждает так называемые “косвенные измерения”, которые находятся в центре его лекций по квантовой механике, то он не может обойтись без понятий “электроны, атомы, фотоны, внешние магнитные поля и т.п.”. Так что же это за понятия, как не те самые “первичные идеальные объекты”, о которых мы говорили выше? Атом не подпадает ни в категорию математических объектов, ни в категорию измеримых величин. То же можно сказать и про электрон, и про фотон. Это — совершенно определенные организованности соответствующих измеримых величин, без которых последние не имеют физического значения. В центре рассмотрения в физике не измеримые величины, а подобные организованности, которые мы называем “первичными идеальными объектами” (ПИО). Постановка же в центр измеримых величин, а не ПИО — это “переворачивание с ног на голову”. Центр этих “первичных идеальных объектов” расположен в модельном слое, а периферия — в математическом слое и слое эмпирического материала, что характерно для всех “первичных идеальных объектов” физики. Без них невозможно сформулировать какую-либо осмысленную физическую задачу. Поэтому они находятся в центре нашего внимания.

Замалчивание модельного слоя является результатом популярных мнений, утверждающих, что специфику физики Нового времени составляет эксперимент и применение математики (что превращает теоретическую физику в математическую физику)<sup>16</sup>. В эксперименте же видят

<sup>16</sup> “С Максвелла утверждается понимание, что истины в фундаментальной физической теории ровно столько, сколько в ней математики” [173, с. 127].

главным образом измерения. Впрочем, подобная позиция широко распространена среди физиков. Сегодня эта позиция в отношении квантовой механики очень отчетливо заявлена, например, в [160].

Главная причина замалчивания модельного слоя, его невидимость для теоретиков (Мандельштама, Вигнера, и др.) лежит *не в физике, а в философии*. Такой взгляд, близкий инструментализму, формируется в связи со становлением “неклассической” физики (теории относительности и квантовой механики) в ходе борьбы Маха, Пуанкаре и других представителей 2-го позитивизма с ньютоновским механицизмом, стремившимся все объяснить с помощью механических моделей (подробности см. в последней части). В пафосе борьбы с последними сторонники Маха, среди которых были многие творцы новой физики, стали отрицать роль моделей в физике вообще. На этом фоне триумф специальной теории относительности многими был воспринят как победа инструментализма и махизма, у которых было только два значимых слоя: уравнений и измерений. Эта позиция была унаследована последующими поколениями физиков-теоретиков<sup>17</sup>.

История формирования статистической физики (содержательный анализ которой представлен в п.8.2) дает чрезвычайно любопытный материал, демонстрирующий сложность взаимодействия того, что создатели науки думают и говорят о своей деятельности, используя те понятия, которыми они владеют, с тем, что они делают. Здесь сложно переплетаются противоречивые элементы махизма и механицизма, ориентации на работу в модельном и математическом слое, программы атомистов и энергетистов (богатый материал для анализа этого процесса дают высказывания Луи де Бройля о Больцмане и самого Больцмана).

Согласно нашему анализу (представленному в п. 8.2) и в нашей системе понятий *Больцман* занимался созданием новых “первичных идеальных объектов” и при этом работал в модельном слое. Но во времена Больцмана таких понятий и различий не было. Он был погружен в атмосфе-

<sup>17</sup> Но не всех. Против такого понимания теоретической физики выступал, в частности В.Гейзенберг [37].

ру спора феноменологиста-антреалиста Маха с его оппонентами (как правило, механицистами и “реалистами”), в поднятый Кирхгофом спор о том, в чем задача науки — “объяснять” или “описывать”, который сливался с борьбой “атомистов” и “энергетистов”, где первые стремились “объяснять” с помощью наглядных моделей, а вторые — “описывать” с помощью математических формул<sup>18</sup>. Кроме того “атомизм” и “энергетизм” в его время ассоциировались с еще одним спором — спором между сторонниками дискретного и непрерывного описания. И еще был известен прецедент метода аналогий Максвелла, который мы рассмотрим в связи с электродинамикой.

Больцман, не укладываясь ни в одну из этих групп, все время лавировал между этими лагерями и понятиями. Он работал с атомистическими моделями, и, вроде бы, должен был быть близок “атомистам”<sup>19</sup>, но создавая новые “пер-

---

<sup>18</sup> Де Бройль, причислявший себя к “школе атомистов” в квантовой механике и проводивший аналогию между своей ситуацией и ситуацией Больцмана, приверженность к “наглядным образам” связывает с атомистами, а склонность к “строгому математическому аппарату” - с энергетизмом и позитивизмом (т.е. махизмом. - А.Л.). “Одни, говорит он, - для объяснения конкретных фактов строили мысленные наглядные образы, конечно образы абстрактные и схематичные, как и все научное, но тем не менее интуитивные и порожденные воображением... Другие, сторонники строгого математического аппарата, стремились извлечь из экспериментальных фактов ряд представлений и постулатов, вовсе не требующих для своего понимания воображения” [46, с. 257].

<sup>19</sup> По словам Луи де Бройля Больцман “во времена своей молодости и зрелости поддерживал точку зрения атомистов и отстаивал полезность для теоретической физики использования наглядных образов и структурных представлений” и “вступил в резкое противоречие с представителями энергетической школы, которая в ту эпоху была господствующей почти во всех странах, особенно в Германии, и которая придерживаясь позитивистской точки зрения, а также абстрактного и формального изложения физических теорий, требовала запретить исследователям описание непосредственно ненаблюдаемых элементов вещества и осыпала проклятиями, а иногда высмеивала усилия Больцмана и его немногих последователей” (их доминирование продолжалось почти полвека) [45, с.257].

вичные идеальные объекты”, он тяготел к “описателям”. К тому же в то время еще не сложилось понятие об идеальном объекте (оно выкристаллизовывается в спорах неопозитивистов). Поэтому он часто, подчеркивая идеальный характер своих моделей, апеллировал к максвелловским аналогиям или к математическим образами, хотя и не был согласен с феноменологически-математическими установками “энергетистов”. Кроме того, сама установка на создание новых “первичных идеальных объектов”, часто связывавшаяся с “описательной” установкой, появилась не сразу и, похоже, незаметно для самих творцов новой науки.

“Несомненно, что Больцман принадлежал к первой школе (школе атомистов. — *А.Л.*)” — утверждает де Бройль [47, с. 258—9]. И действительно, Больцман работает в первую очередь посредством создания “наглядных образов”, т.е. в модельном слое. Это ярко видно в его работе “О тепловом равновесии между многоатомными молекулами” (1871), где он вводит атомы следующим пассажем: “Молекулы газов, встречающиеся в природе, разумеется не материальные точки. Мы, очевидно, приблизимся к истине, если будем рассматривать их как системы материальных точек (так называемых атомов), связанных друг с другом определенными силами” [18, с. 67]. Согласуется со школой атомизма и исходная цель Больцмана, которая формулировалась в рамках “объяснительной” программы в механицистской редакции: построить механическое объяснение для второго закона термодинамики.

Но, с другой стороны, он строил новый фундаментальный раздел физики — молекулярно-кинетическую теорию теплоты, новые “первичные идеальные объекты” — состоящие из молекул и атомов. Поэтому логично, что он симпатизирует антиреалисту Маху (позитивисту в терминологии де Бройля). Так во вступительной лекции о проблемах натурфилософии в октябре 1903 г. он говорил: “... Замечу, что в той деятельности, которая начинается моей сегодняшней лекцией, я в известном смысле преемник надворного советника Маха, и это, надеюсь, обязывало бы меня начать лекцию с его чествования. Однако я полагаю, что специально его хвалить — это все равно, что пригла-

шать вас в лес со своими дровами, да и не только вас, а и всех образованных людей всего света” [17, с. 180-181]<sup>20</sup>.

В соответствии с этим в его атомизме просвечивает конструктивизм. Так в статье “О неизбежности атомистики в естественных науках” (1897) он пишет: “Придавая атомам столько свойств, сколько необходимо, чтобы описать простейшим образом небольшую группу фактов, для каждой такой группы мы можем получить особую атомистику (...понятие об атомах, как о материальных точках, и о силах, как о функциях расстояния между ними, конечно является временным, — говорит он, — но его нужно сохранять за неимением лучшего...). Чтобы приблизиться к (всеобъемлющей картине природы), — продолжает он, — современная атомистика стремится подогнать друг к другу основы различных феноменальных атомистик, произвольно дополняя и изменяя свойства атомов, нужных для различных групп явлений, так, чтобы они годились для одновременного изображения многих областей. Она разлагает свойства атомов... (подобно разложению сил на их компоненты). Это невозможно,... без известного, выходящего за пределы фактов произвола (неизменность атомов является такой произвольно приданной образу атомов чертой... Т.о., неизменность атомов принадлежит к тем представлениям, которые оказались весьма полезными, хотя метафизические рассуждения, при помощи которых они были достигнуты, и не выдерживают беспристрастной критики)” [17, с. 124].

При этом его конструирование атомов совершается, в первую очередь, в модельном слое. Поэтому он утверждал, что “нельзя ... говорить вместе с Оствальдом: ты не должен представлять себе никаких образов. Можно сказать только: ты должен вносить в них возможно меньше произвольного” [17, с. 117]. Но модели, и в первую очередь

---

<sup>20</sup> Правда, у Маха он принимал не все. В статье “О методах теоретической физики” (1892) он говорит: “Но все же считать, что причиной обоснования расстояний и движений, величин и физических и химических свойств неподвижных звезд, изобретения микроскопа и открытий при его помощи возбудителей болезней является простая экономия, мы не очень склонны” [17, с. 59].

атомные модели, Больцман интерпретировал не как реальное устройство природы, а как полезные аналогии<sup>21</sup>. Понятие “анalogии”, заимствованное у Максвелла, несет у них обоих очень важную нагрузку. Этим они подчеркивают, что в своей работе они создают модели, но эти модели отличны от объяснительных моделей механицистов, которые стремились все объяснить в рамках старых механистических моделей. “Он охотно допускал, — говорит о Больцмане де Бройль, у которого тоже нет адекватных средств выражения, — что исследователи, такие же как и он сам, оказывающие явное предпочтение “пестрому одеянию” механистических гипотез, должны отказаться от познания истинного механизма, лежащего в основе явлений, и рассматривать предлагаемые ими модели как простые образы или простые аналогии, не претендуя, т.о., на точное воспроизведение путей природы” [47, с. 258-259]. Т.о., атом у Больцмана и его современников (до создания теории броуновского движения) — еще довольно расплывчатое понятие.

Итак, *несмотря на весьма распространенное мнение об отсутствии слоя физических моделей в неклассической физике* (теории относительности, квантовой механике), ярко выраженное Л.И.Мандельштамом, *основания этой позиции весьма непрочны*. Специфический слой физических моделей, как шило из мешка, все время высовывается наружу и постоянно используется при постановке физических задач. Мы утверждаем не просто наличие этого модельного слоя, но отстаиваем положение о его ведущей роли в физике.

Более того, мы выделяем (в гл.3) общую для всех разделов физики структуру этого слоя, которая, в частности, дает критерий полноты развития раздела физики и позволяет в рамках нашего “модельного подхода” дать достаточно четкое теоретическое *определение раздела физики* (ко-

21 “Я привык относиться к ней [к атомной теории] совершенно так же, как, по-моему, большинство ботаников относится к системе Линнея, а именно, как к удобному искусственному приему, который имеет массу применений, но никак не связан с природой” (по [136, с. 82]. “Можно понимать под атомами... например, “атомы-векторы” (Герца), (которые) дают простейшее описание электромагнитных явлений” [17, с. 126].

торое по факту хорошо согласуется с принятым в теоретической физике выделением разделов физики):

1) к физике следует отнести такие разделы науки, “ядро раздела науки” которых отвечает изображенной на схеме 3.1 структуре, образованной вокруг представления движения как перехода инвариантной системы-объекта из одного состояния в другое;

2) кроме того, утверждаем мы на основе анализа приводимых ниже реконструкций различных разделов физики, “первичные идеальные объекты” в физике создаются с помощью всего двух “архетипических” моделей: механической модели частиц в пустоте и сил и гидродинамической модели непрерывной среды (волны и поля — ее дочерние образования).

## СТРУКТУРА РАЗДЕЛА ФИЗИКИ. КЛАССИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА НЬЮТОНА

---

### 3.1. Описание движения и структура “ядра раздела науки” в физике

Итак, перейдем к конкретизации полученной выше галилеевской модели “ядра раздела науки” (Сх. 2.1) *для слущая физики*. Эту работу мы произведем в ходе анализа классической механики Ньютона.

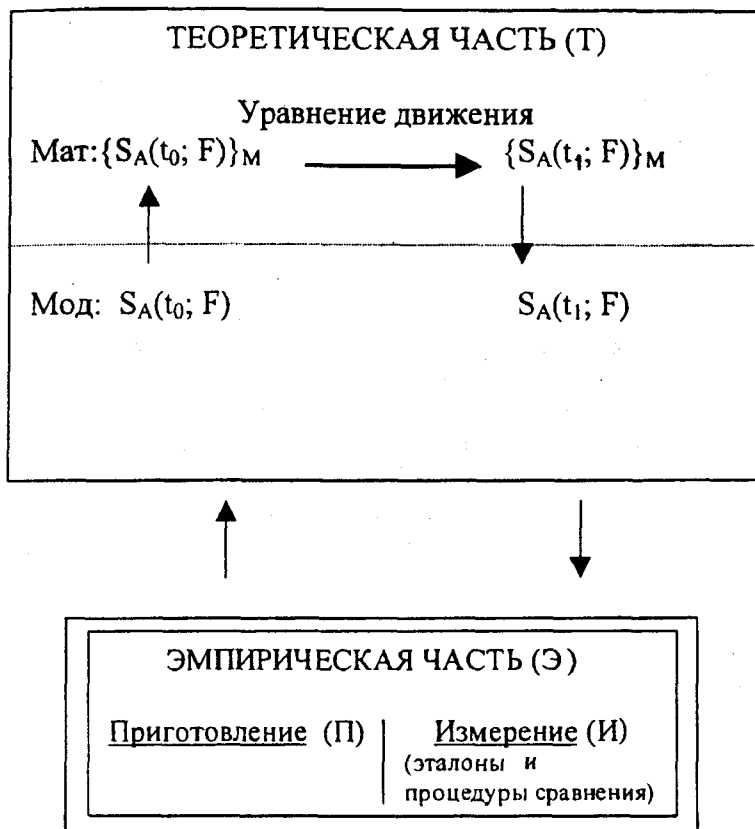
Классическая (ньютоновская) механика — первый образец систематического теоретического описания движения<sup>1</sup> (хотя и самого простого из четырех типов изменения, выделенных Аристотелем) — движения-перемещения. Общая теоретическая схема описания движения, сложившаяся в классической механике к концу XIX в., выглядит так: *движение физической системы есть переход ее во времени из одного состояния в другое.*

Исходно, Ньютона, как и Галилея, интересовала вполне конкретная задача: построить теорию, из которой бы следовали кеплеровские законы движения планет. Решая ее, он создал свои знаменитые динамку (то, что сейчас принято называть ньютоновской или классической механикой) и теорию тяготения. Исторически это важный и интересный факт, характеризующий тип развития на “первом” этапе “классического” периода (XVII—XVIII вв.), но нас сейчас интересует более общий логический аспект.

В результате мы приходим к изображенной на сх.3.1 *структуре теоретической части раздела физики* (“Т-блока”), представляющей собой структурную модель описания движения. Здесь “физическая модель” состоит из остающейся тождественной самой себе физической системы А, составленной в простейшем случае из одного “первичного

<sup>1</sup> Проблема описания движения имела ко времени Ньютона более чем двухтысячелетнюю историю. Живший в V в. до н.э. Зенон, ученик древнегреческого философа Парменида, сформулировал свои знаменитые апории (парадоксы о том, что Ахиллес не может догнать черепаху, что стрела не может лететь и др.), доказывавшие, что движение нельзя помыслить, т.е. теоретически описать.

## ЯДРО РАЗДЕЛА НАУКИ (ФИЗИКА)



*Сх. 3.1. Галилеевско-ньютоновская структура ядра раздела науки для физики включает: теоретический блок (Т), состоящий из двух слоев: математическим слоем (Мат) и "модельного слоя" (Мод); нетеоретический слой "эмпирического материала" (Э), включающий "приготовительную" (П) и "измерительную" (И) компоненты. "Модельный слой" включает физическую систему А, внешнее воздействие F и изменяющиеся со временем (t) состояния физической системы —  $S_A(t)$ . Математический слой содержит математические образы состояния системы  $\{S_A(t)\}_M$  и других элементов физической модели, а также "уравнение движения"*

идеального объекта” (например, механической частицы (тела)), заданного внешнего воздействия  $F$  (внешней силы и т.п.) и изменяющихся со временем ( $t$ ) *состояний* физической системы —  $S_A(t; F)$ , который мы далее будем часто кратко обозначать  $S_A(t)$ .

Связь между состояниями задается с помощью математического слоя (Mat), который состоит из “математического представления”, включающего математические образы системы и ее состояния ( $\{S_A(t; F(t))\}_M$ ), других элементов физической модели и “уравнения движения”. Последнее связывает состояния системы в различные моменты времени, определяя этим динамическое поведение ее “первичных идеальных объектов” и составленных из них физической системы. Уравнение движения, наряду с “диахроническими” свойствами, описывающими рассматриваемый переход из одного состояния в другое, определяет также и “синхронические” свойства системы — множество возможных ее состояний.

Понятие “состояния физической системы” — самое сложное из перечисленных. Общее понятие состояния в физике можно дать следующим образом: знание состояния физической системы<sup>1</sup> в некий момент времени  $t$  означает знание *ответа на все возможные в данном разделе физики вопросы* о любой характеристике соответствующего движения этой системы, относящейся к этому моменту времени, а также, и в этом выражается детерминистический характер физики, любому другому моменту времени (при заданном внешнем воздействии)<sup>2</sup>. При этом состояние в физике однозначно связывается с одним моментом времени. Задание множества состояний, связанных с данной системой, упорядоченных во времени и параметризованных

<sup>2</sup> Это определение весьма близко определению американского философа науки Б.ван Фраассена: “если мы знаем состояние, тогда мы будем знать все, что стоит знать о том, как система будет развиваться сама по себе и как она будет реагировать на внешние воздействия” [258, p.275]. Главное и существенное отличие состоит в том, что ван Фраассек рассматривает в качестве варианта такого внешнего воздействия и измерение, делая его объектом теории, а у нас измерение находится вне теории.

(количественно связанных) посредством уравнения движения, позволяют описывать движение как переход системы из одного состояния в другое.

Все эти понятия задаются совместно и неявно в рамках ядра раздела науки, подобно тому как задаются основные понятия геометрии в рамках системы аксиом геометрии. Кроме того, физическая система и ее исходное состояние должны иметь материальную реализацию в эмпирическом слое, а измеримые величины (расстояние, скорость, масса и т.п.), которые входят в онтологическую модель системы и ее состояний, должны быть обеспечены в эмпирическом слое соответствующими эталонами и процедурами сравнения с эталоном.

Изображенная на сх. 3.1 структура, с одной стороны, представляет структуру “ядра раздела физики”, в рамках которой неявно определяются соответствующие “первичные идеальные объекты” (один, как частица в механике, или несколько, как заряженная частица и электромагнитное поле в электродинамике). В этом случае физическая система содержит минимально возможное число “первичных идеальных объектов” (ПИО). Но эта же структура, с другой стороны, имеет место и при создании моделей сложных систем из многих уже определенных ПИО (в “фазе использования”). Отметим, что при таком рассмотрении на первое место выдвигается ПИО, а не “законы природы”. Последним на сх.3.1 соответствует “уравнение движения”, которое в “фазе использования” выступает как заданный элемент ПИО, а в в “фазе создания” — как один из элементов ЯРН.

Центральным в физике является слой физических моделей (Мод). Он связан, с одной стороны, с математическим слоем, где всем элементам модельного слоя посредством определенных процедур (обозначены вертикальными стрелками внутри теоретического Т-блока) сопоставляются соответствующие математические образы. С другой стороны, слой физических моделей связан с нетеоретическим слоем эмпирического материала (вертикальные стрелки, которые могут быть рассмотрены и как двусторонние, т.е. учитывающие обратные влияния), где должны быть заданы про-

цедуры измерения, эталоны и система отсчета<sup>3</sup> (И) для всех используемых в модельном слое измеримых величин, а также прочие “конструктивные элементы”, используемые при приготовлении системы и ее исходного состояния (П). При этом все математические объекты связываются с эмпирическими объектами через элементы физической модели<sup>П</sup>.

Конечно, математический слой нельзя изолировать от модельного слоя, они, естественно, связаны внутри теоретического Т-блока “ядра раздела науки”. Но разводить их полезно, поскольку связи внутри слоев значительно сильнее, чем между слоями<sup>4</sup>, и проекция всей теоретической части на модельный слой (а не математический, как у Мандельштама и др.) позволяет в модельном слое дать представление о “первичных идеальных объектах” (и составляемых из них вторичных идеальных объектах), физической системе, ее состояниях и соответствующем движении как перемещению из одного состояния в другое, и уже во вторую очередь рассматривать характер этого движения.

Отметим, что важным свойством физической системы являются ее свойства симметрии. В математическом слое ему отвечает свойство инвариантности уравнения движения для данной системы относительно соответствующего преобразования координат (мощный математический аппарат для этого предоставляет теория групп). Теоретическая физика XX в. широко использует принципы инвариантности и симметрии при конструировании математического образа физической системы (гамильтониана) как на уровне составления сложных (“многочастичных”) систем из имеющихся “первичных идеальных объектов”, так и при попытках создания новых “первичных идеальных объектов”. Свойства симметрии физической системы позволяют также произвести классификацию состояний физической системы. Эта классификация указывает на возможность и невозможность определен-

<sup>3</sup> Поскольку во всех разделах физики фигурирует не только состояние, но и положение частиц и пр., то в процедуры измерения следует включить и задание системы отсчета, относительно которой задаются эти положения.

<sup>4</sup> На это, в частности, указывает практика использования различных математических представлений (например, Ньютона, Лагранжа, Гамильтона и др. — в классической механике, Гейзенберга, Шредингера и др. — в квантовой механике) в рамках одного раздела физики и даже в применении к одной физической задаче.

ных переходов из одного состояния в другое, одной из форм которой являются законы сохранения некоторой физической величины. Законы таких переходов являются частным случаем уравнений движения. Возможности используемого при этом мощного математического аппарата привели к тому, что в некоторых разделах физики "развитие физики в последние годы обратило, в известном смысле, соотношение между уравнениями движения и группами симметрии. Теперь группы симметрии физической системы выступают на первый план, представления этой группы и ее подгрупп несут самую фундаментальную информацию о ней. Т.о., группы оказываются первичным, наиболее глубоким элементом физического описания природы" [159, с. 4]. Это свойство широко используется в спектроскопии. В неклассической физике, этим методом стали получать существенно новые результаты типа классификации состояний в нерелятивистской квантовой механике с использованием аппарата теории групп. Еще изощреннее этот путь используют в релятивистской квантовой механике, где введение все новых измеримых величин (спина, "барионного заряда", "цвета", "очарования",...) и соответствующих пространств состояний открывает все новые области для применения подобного метода. Примером чрезвычайно продуктивного применения этого метода является использование так называемых калибровочных преобразований в квантовой теории поля [242].

Эта, сложившаяся в классической механике структура, как мы увидим, является общей для всех разделов физики. Автор утверждает, что исходные положения (экспериментальные факты-аксиомы), которые задают любой раздел физики, по существу, описывают изображенные на схеме 3.1 элементы и связи и отвечают на вопросы:

- 1) что является физической системой?
- 2) каково множество состояний физической системы?
- 3) каково "математическое представление", т.е. математические образы элементов онтологической модели и уравнения движения?
- 4) каковы процедуры соотнесения соответствующих элементов модели и их математических образов?
- 5) какова система отсчета (поскольку речь идет о движении, то соответствующие измеримые величины без ответа на этот вопрос не определены)?
- 6) каковы процедуры измерения и эталоны используемые в модельном слое измеримых величин, включая вопрос о поведении эталонов при переходе от одной движущейся системы отсчета к другой (обычно речь идет об

“инерциальных” (т.е. движущихся равномерно и прямолинейно) системах отсчета)<sup>5</sup> III;

7) Каковы правила сборки сложных систем из “первичных идеальных объектов” (ПИО).

Классическая механика является, по сути, матерью всей физики, а обобщенное движение-перемещение, изображенное на структурно-функциональной схеме 3.1, задает специфику физики среди других естественных наук<sup>IV</sup> (отвечающих другим типам изменения) — к физике мы относим разделы науки, в которых “первичные идеальные объекты” определяются в рамках схемы 3.1. В свою очередь, разделы физики отличаются друг от друга содержательным наполнением структурно-функциональной схемы 3.1.

Проводя классификацию этих разделов, можно указать на два типа различий. Один тип различий характеризуется существенным различием типа систем и их множества состояний (механика, гидродинамика, электродинамика, термодинамика и т.п.). Другой тип отличий связан, в первую очередь, с изменением характера поведения различных “первичных идеальных объектов” в одном и том же множестве состояний (отличие эйнштейновской релятивистской механики от нерелятивистской и, отчасти, классической механики от квантовой). Последний тип отличий задается, главным образом, через изменение уравнения движения в математическом слое (посредством описанного ниже метода “затравочной классической модели”), а не через изменение исходной модели в “модельном слое”. Мы это подробнее рассмотрим ниже.

Как мы видим, на сх. 3.1 ВРЕМЯ играет особую роль в физике — является специфическим элементом описания движения, выступающего как целое. Оно, с одной стороны, упорядочивает состояния системы, а с другой — является измеримой величиной. Собственно, это исчерпывает значение и определение времени в физике. “Что означает время для мира? — восклицает Э.Мах. — Если мы говорим, что то или иное есть функция времени, то это означает, что оно зависит, от положения колеблющегося маятника, от положения вращающейся Земли и т.д. (т.е. задается своими процедурами измерения — А.Л.)” [116, с. 66].

<sup>5</sup> К этому следует добавить вводимое иногда различие “системы отсчета” и “тел отсчета”, последние, согласно нашей модели есть эмпирическая детализация первых.

“Совокупность показаний всех этих часов, идущих в фазе друг с другом. — говорит А.Эйнштейн, — и составляет то, что мы называем физическим временем” [202, т. 1, с. 149].

Но, с другой стороны, хорошо известна постановка проблемы “что такое время?” у Блаженного Августина (354—430), у которого зафиксировано противопоставление “физического” времени, апеллирующего к “движению небесных тел” или часам, и “психологического” времени, ассоциирующегося с потоком жизни и смертью, с переживанием прошлого, настоящего и будущего, памятью и т.п.: “Только в душе нашей есть соответствующие... три формы восприятия (память, созерцание, надежда. — *АЛ.*)... Пусть не говорят мне, что время есть не что иное, как движение тел небесных” [3, т. 1, с. 586—588]. Этому же мнения придерживается и видный представитель “философии жизни” А. Бергсон (1859—1941). Последний, как гуманист, идет от психологии. “Несомненно, — говорит он, — что время первоначально смещивается нами с непрерывностью нашей внутренней жизни [11, с. 39—43].

“Склеивание” “физического времени” с временем “гуманитарным” (“психологическим”) происходит из-за психологизированного (типа маховского) представления об опыте как о “комплексе ощущений”, т.е. через “чувствующего субъекта” (см. [11, с. 41, 81, 188]). Но из приведенного выше анализа структуры физики видно, что одних лишь психологических оснований для стирания границы между “гуманитарным” (“психологическим”) и “естественнонаучным” (“физическим”) временем явно недостаточно. В структуре физики, ввиду ее безличного характера, нет места ни психологической интерпретации времени в духе А.Бергсона, ни физикалистским притязаниям в духе Г.Рейхенбаха (разделяемым А.Эйнштейном [202, т. 4, с. 321] и И.Пригожиным), утверждающего, что “если имеется решение философской проблемы времени, то оно зафиксировано в уравнениях математической физики” [155, с. 20, 31]. “Время” в физике (как видно из сх.3.1) — важнейшее средство описания движения, а не субстанция или явление<sup>6</sup>. В силу этого оно не может стать объектом описания совре-

<sup>6</sup> Находящаяся сегодня на границе науки и ненауки программа Козырева [79], пытающаяся рассматривать время как объект исследования, самопротиворечива. Я имею в виду то, что ее постановка в [79] не выводит ее за рамки физики, в то время как ее успешность должна, согласно нашему анализу, сопровождаться мощной перестройкой основной структуры физики, выводящей возникшую в рамках этой программы науку за рамки физики. Новая наука должна будет тогда отличаться от современной, возможно, не менее, чем средневековая наука номиналистов от механики Галилея и Ньютона. В значительной степени эти рассуждения относятся и к программе биологического времени А.П.Левича [81].

менной физической теории. Это измеримая величина, которая задается посредством часов в эмпирическом слое и имеет определенное место в модельном и математическом слоях.

Это остается в силе и при рассмотрении необратимых процессов (необратимыми являются процессы, а не время), например, у И. Пригожина. Поэтому вряд ли целесообразно и в этом случае говорить о прошлом, настоящем, и будущем и о событиях. Об этом имеет смысл говорить лишь по отношению к внутренне активным субъектам — человеку, обществу, когда речь идет об истории, а не траектории<sup>7</sup>.

Время в физике не является ни характеристикой системы (типа массы частицы), ни характеристикой состояния системы (типа положения или скорости частицы). Сравнение с термодинамикой и синергетикой показывает, что роль времени во многом аналогична роли “управляющего параметра”<sup>8</sup>.

### 3.2. Механика Ньютона.

#### Модель частицы в пустоте и силы

Классическая механика складывается вокруг “первичного идеального объекта” (ПИО) — механической частицы (материальной точки, тела) в пустоте, обладающей массой, движущейся по определенной траектории с определенной скоростью, зависящей от действующих на нее сил.

Именно понятия *частицы*, обладающей массой (простейшей физической системы в классической механике), ее *состояний*, *пустоты* и *силы*, *уравнение движения* и связанные с ним математические образы составляют набор совместно определяемых понятий в рамках “ядра раздела науки” классической механики. К ним надо еще, правда, добавить соответствующие эталоны и процедуры измерений для входящих в это “ядро раздела науки” измеримых величин (расстояния (положения), времени, скорости), которые задаются явным образом.

---

<sup>7</sup> Заметим, что в эволюции (Вселенной в современной космологии или дарвиновской эволюции в биологии) речь идет не об истории, необходимым элементом которой является активный исторический субъект, а о траектории.

<sup>8</sup> Отметим, что в термодинамике и статфизике (так же как и в синергетике) подобную роль выполняет тот или иной “управляющий параметр” (давление, или температура,...). В этом плане можно рассматривать время как частный случай “управляющего параметра”.

Понятие пустоты и силы во многом аналогично понятиям пустоты и среды у Галилея. *Пустота* связана с выделенным “естественным” движением системы (равноускоренным у Галилея и прямолинейным и равномерным у Ньютона), а *сила* (подобно среде Галилея) несет ответственность за *отклонение* от этого “естественного” движения (является его причиной). Так связаны между собой понятия частицы, пустоты и силы. С другой стороны, понятие частицы в механике неразрывно связано с понятием о соответствующем множестве состояний. Состояния, в свою очередь, связаны с уравнением движения, и с входящим в последнее понятие массы, а также математических образов частицы-системы и ее состояний. В “ядро раздела науки” здесь входит представление о движении как смене состояний.

Под *состоянием частицы* в механике имеется в виду значение ее координаты ( $x$ ) и скорости ( $v$ )<sup>9</sup>. Это связано с тем, что в силу уравнений движения Ньютона (так называемых обыкновенных дифференциальных уравнений 2-го порядка) следует, что знания координаты и скорости тела в некий момент времени  $t$  достаточно, чтобы: 1) ответить на вопрос о любой характеристике механического движения тела в этот момент (т.е. о производных от скорости любого порядка) и 2) во все другие моменты времени (отсюда вытекает механический детерминизм). Поэтому значения и координат, и скоростей всех тел (частиц), составляющих механическую систему<sup>10</sup>, отвечают приведенному выше понятию состояния физической системы для классической механики.

<sup>9</sup> При таком определении равномерное прямолинейное движение тела — естественное состояние движения в классической механике — тоже является движением, обладающим траекторией.

<sup>10</sup> В случае механической системы из  $N$  частиц ее состояние характеризуется  $N$  наборами пар значений координаты и скорости каждой из этих частиц. При этом все внешние и внутренние силы, отвечающие за изменение состояния системы, естественно отнести к характеристике системы — сложного идеального объекта, состоящего из нескольких “первичных идеальных объектов”. Этот случай активно рассматривался продолжателями Ньютона (Эйлером, Лагранжем, Гамильтоном и др.).

С величинами расстояния, времени, скорости ( $x, v, t$ ) в созданной Ньютоном классической механике особых проблем не возникает ни в теоретических слоях, ни при введении процедур измерения (т.е. сравнения с эталоном). А вот о том, “что такое масса и сила и как их измерять?”, во второй половине XIX в. возникают жаркие споры [51; 232].

Начнем с *силы*. Здесь Ньютон, как мы уже сказали, по сути, воспроизвел ход Галилея при введении понятия среды: сила — это то, что отклоняет движение тела от равномерного и прямолинейного (постулируя это, как и Галилей)<sup>11</sup>:

“Закон I. Всякое тело продолжает удерживаться в своем состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения, пока и поскольку оно не понуждается приложенными силами изменить это состояние” [132, с. 39]. “Определение IV. Приложенная сила есть действие, производимое над телом, чтобы изменить его состояние покоя или равномерного прямолинейного движения. Сила проявляется единственно только в действии и по прекращению действия в теле не остается” [132, с. 26].

Далее, как и у Галилея, Ньютоном выбирается самый простой — линейный закон связи между силой и скоростью изменения скорости<sup>12</sup> (т.е. ускорением):

“Закон II. Изменение количества движения пропорционально приложенной движущей силе и происходит по направлению той прямой, по которой эта сила действует” [132, с. 40], где, согласно “Определению II”, “количество движения есть мера такового, устанавливаемая пропорционально скорости и массе” [132, с. 24].

I и II законы-постулаты Ньютона почти полностью определяют силу как новую измеримую величину и позволяют ввести и эталон силы, и процедуры сравнения с эталоном. Не хватает только определения коэффициента пропорциональности — массы тела — и определения инерциальной системы отсчета (той, в которой справедлив I закон Ньютона — закон инерции [184, с.220]).

Ньютоновское определение *массы*, которое утверждает, что “количество материи (масса) есть мера таковой, устанавливаемая пропорционально плотности и объему ее”(“Оп-

<sup>11</sup> Отсюда напрашивается обобщение: считать естественным не равномерное прямолинейное движение, а более сложное. Этот ход и реализуется в общей теории относительности.

<sup>12</sup> Поэтому утверждение Вигнера в отношении этого закона, “что понятие второй производной не слишком наглядно” [28, с. 191] не исторично.

ределение I”), “неоднократно вызывало возражения. Многие видели в нем порочный круг... Э.Мах утверждал, например, что формулировка Ньютона равносильна констатации, что “масса есть масса”, а А.Зоммерфельд называл ньютоново определение “бессодержательным”.... (Но) в трактате “О тяжести и равновесии жидкостей”, ... мы находим следующее определение плотности: “Тела являются более плотными: если их инерция более сильная...” [70, с. 316-317]. Т.е. Ньютон здесь очень близко подошел к строгой процедуре определения инертной массы, которую нетрудно осуществить, используя 3-й закон-постулат Ньютона, гласящий: “Действию всегда есть равное и противоположно направленное противодействие, иначе — взаимодействие двух тел друг на друга между собою равны и направлены в противоположные стороны”. Действительно, из 2-го и 3-го законов Ньютона следует закон сохранения количества движения (импульса) при столкновениях тел. Следовательно, выбрав некоторое тело в качестве эталона, сталкивая с ним другие тела и измеряя скорости тел до и после соударения, мы получаем процедуру измерения инертной массы<sup>V</sup>.

А вот как рисует историю этого вопроса известный историк науки М.Джеммер: “Понятие массы... стало (в XVIII—XIX вв.) основным понятием субстанциональной концепции материи (“материальные объекты рассматривались как содержащие субстанциональный субстрат, лежащий в основе всей физической реальности” — таковы были тогда господствовавшие представления в философии природы — А.Л.)... И все же, несмотря на определяющую роль этого понятия, ему не было дано никакого формального определения. Обычно его рассматривали как синоним понятия количества материи: не объясняя как измерить это количество, и не применяя какую-либо другую операциональную интерпретацию... исключение в этом отношении представляла собой “Механика” Леонарда Эйлера... Понятие массы Эйлера... образует логический переход от первоначального ньютоновского понятия массы... к более современному абстрактному понятию как численному коэффициенту, характеризующему отдельное физическое тело и определяемому посредством отношения силы к ускорению... В пояснении 2 к определению массы (определение 15)... Эйлер утверждает, что материя (масса) тела измеряется не его объемом, но силой, необходимой для того, чтобы привести тело в данное движение (ускорение), и это выражение служит точным определением понятия массы...” [51, с. 92-94]. Эталонная сила при этом задается, например, как у Дж.Максвелла, с

помощью “резиновой тесьмы или... упругой пружины, растянутой на одну и ту же длину” [51, с. 108].

Однако, вследствие “развития современных фундаментальных исследований, начавшихся в середине девятнадцатого столетия... принципы механики Ньютона стали предметом критических исследований физиков, математиков и философов... (и) то, что в ньютоновской физике играло центральную роль, рассматривалось теперь как темное метафизическое понятие, которое должно быть устранено из наук” [51, с. 96—97] (аналогичные проблемы возникли и с понятием силы [232, р. 200—240]). Во второй половине XIX в. у Сен Венана (1851), Андрада (1898), Маха (1867) появляются операциональные определения массы, основанные на законе сохранения импульса (типа введенного выше нами) [51, с. 97—98]. Однако “из 140 трактатов и учебников по физике, просмотренных ... в 1918 г. Эдвардом Хантингтоном,... большинство исследуемых учебников вводят понятие массы как частное от деления силы на ускорение или посредством операции взвешивания на весах (в том числе у Герца — А.Л.)”. И лишь около 10 “более или менее следуют процедуре Маха” [51, с. 108]. Предпринятая в 1907 г. попытка выработать единое определение понятия массы в курсах механики провалилась. “Этот вопрос остается предметом обсуждения и в настоящее время” [51, с. 116].

Третий сложный вопрос — об определении *инерциальной системы отсчета* — Ньютон обходил с помощью тезиса об абсолютном пространстве<sup>13</sup>.

Фактически же эта проблема решалась Ньютоном (и решается сегодня) путем введения для силы соответствующей онтологической модели — сила (как позже энергия) должна иметь определенную природу, определенный источник. Исходной конкретной реализацией силы для Ньютона была сила тяжести<sup>14</sup>. Потом, по аналогии с ней, появились электрическая и магнитная силы, а также близкодействующие силы упругости и т.д. Если для всех сил удастся ввести подобную онтологическую модель, то появится критерий отсутствия сил<sup>15</sup> и, соответственно, критерий для

<sup>13</sup> Против тезиса об абсолютном пространстве выступал Лейбниц. От него, вроде бы отказались в связи с появлением теории относительности Эйнштейна, но сегодня он появляется на новых основаниях в некоторых современных космологических теориях.

<sup>14</sup> Ньютон ведь создавал свою динамику, чтобы описать кеплеровские законы движения планет, т.е. в связке с теорией тяготения.

<sup>15</sup> Введение свойств изотропности и однородности пространства как признака инерциальности системы ничего принципиально нового при этом не дает.

выяснения степени инерциальности данной системы отсчета. На этом основана довольно проработанная процедура самосогласования и вытекающая из нее последовательность практических кандидатов в инерциальные системы<sup>16</sup>: земная поверхность, центр масс Солнца, система удаленных звезд.

В результате мы определили все измеримые величины в модельном слое и соответствующие им эталоны и процедуры сравнения в слое “эмпирического материала”, определили частицу-систему и внешнее воздействие. Корректный переход к многочастичной системе нетривиален даже в классической механике. Он требует отдельного постулата, каковым является 3-й закон Ньютона о равенстве сил действия и противодействия. С помощью его, определив понятие силы как внешнего воздействия на одночастичную систему, вводят понятие силы взаимодействия между частицами. Из частиц, межчастичных сил взаимодействия и внешних сил<sup>17</sup> строится все многообразие рассматриваемых в ньютоновской механике механических систем.

Математическим образом системы служит распределение масс и сил, связанных с материальными точками в декартовой системе координат. Уравнением движения является второй закон Ньютона<sup>18</sup>, а состояние определяется значениями координат и импульсов (скоростей) в произвольный момент времени. Преобразование от одной инерциальной системы к другой осуществляется с помощью привычных преобразований Галилея, что тесно связано с представлением об эталоне метра, изготовленного из твердого тела, для которого можно создать такие условия, что этот эталон не будет меняться при переносе из одной инерциальной системы отсчета в другую (см. гл. 5) .

<sup>16</sup> Имея одну инерциальную систему, мы имеем критерий для всех: они должны двигаться относительно нее равномерно и прямолинейно.

<sup>17</sup> В теоретической (аналитической) механике, занимающейся сложными системами многих тел (материальных точек), наряду с силами вводится еще понятие “связей”.

<sup>18</sup> Это для случая математического представления Ньютона. В классической механике используются еще два эквивалентных математических представления — Лагранжа и Гамильтона.

## ФОРМИРОВАНИЕ КONTИНУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ: СРЕДА, ВОЛНЫ, ПОЛЕ

---

---

Модель непрерывной среды является основной альтернативой ньютоновской модели частицы в пустоте. На натур-философском уровне она была провозглашена Р.Декартом, а на естественнонаучном физическом уровне развита в гидродинамике Эйлера. Главным ее отличием от ньютоновской модели частицы в пустоте является отсутствие пустоты, фиксируемое принципом непрерывности и ориентация на взаимодействие типа близкодействия (а не дальнодействия, как в ньютоновской теории тяготения). Модель непрерывной среды порождает две дочерние модели — волны и поля, которые тоже используются как архетипические для построения ПИО в различных разделах физики.

### 4.1. Гидродинамика

Интересующая нас модель непрерывной среды вполне сложилась уже в гидродинамике идеальной жидкости Л.Эйлера (жидкости, лишенной вязкости и теплопроводности).

Основания гидродинамики были заложены в сер. XVIII в. тремя учеными: Иоганном и Даниилом Бернулли (отцом и сыном, спорившими между собой о приоритете) и учеником Бернулли-отца — Леонардом Эйлером<sup>1</sup>.

Главный вопрос любого раздела физики — модель описания соответствующего движения, элементами которого являются система и ее состояния. В основании гидродинамики положено несколько представлений и принципов. К ним, во-первых, относятся разбиение жидкости на слои, гипотеза сечений и принцип неразрывности: “после того, как, конечно мысленно, мы представили себе жидкость разбитой на слои, перпендикулярные к направлению движения, мы допускаем, что части жидкости одного

<sup>1</sup> Деятельность по крайней мере двух из них была тесно связана с Петербургской АН. У Л.Эйлера здесь протекала основная его научная деятельность, Д.Бернулли непосредственно работал в ней лишь с 1725 по 1733 гг., но здесь он начал писать основную свою физическую работу “Гидродинамику” (1738), да и позже не прерывал с ней тесных связей, оставаясь ее почетным членом и публикуя в ее изданиях свои работы.

и того же слоя движутся с равной скоростью, так что скорость жидкости оказывается повсюду обратно пропорциональной соответствующему сечению сосуда”, — пишет в своей “Гидродинамике” Д.Бернулли [63, с. 179]. Его отец ввел представление о давлении жидкости на стенки (и не только в состоянии равновесия) и о внутреннем давлении слоев жидкости (как в состоянии ее покоя, так и в движении) [63, с. 182]. Этим И. и Д. Бернулли заложили основы описания движения жидкости. На этом этапе они использовали для построения уравнения движения в решаемых ими задачах закон сохранения энергии (“живых сил”), а не законы Ньютона. Правда, И.Бернулли иногда использовал прием “ускоряющих и движущих сил”. Развивая этот прием Эйлер делает основным методом “принцип ускоряющих сил”, который отличается от второго закона Ньютона тем, что к числу активных сил прибавляются явно оговоренные силы реакции связей (стенок сосуда).

В работе 1754 г. Л.Эйлер ставит вопрос об определении величины давления движущейся жидкости на поверхность мысленно выделенного ее элемента: “Однако если вода не находится в покое, то давление в каждом случае требует более глубоких исследований... Весьма важно развить эту идею давления, ибо это давление есть та сила, которая непосредственно действует на воду в трубке, вызывая ее ускорение или замедление” [63, с. 182—183]. В результате формирование средств описания движения жидкости в рамках модели “идеальной жидкости”<sup>2</sup>, шедшее первоначально независимо, подпадает под ньютоновскую схему. Роль силы при этом играет давление.

“Фундамент аналитической гидромеханики с четким понятием внутреннего гидродинамического давления, со строгим и ясным выводом уравнений движения идеальной жидкости содержится в нескольких работах Эйлера, относящихся к 1750—1766 гг... Исследуя движение твердого тела в жидкости, Эйлер фактически вводит новую механическую модель — модель сплошной среды, основанную на его новой аксиоме. Сущность этой аксиомы состоит в том, что второй закон Ньютона, впервые записанный Эйлером в виде трех дифференциальных уравнений движения материальной точки,... он считает справедливым и для элемента твердого тела или жидкости, мысленно выделенного из всей среды.... Этот новый закон механики Эйлера (вместо уравнений Ньютона для его вывода можно использовать закон сохранения импульса, как в [182] — А.Л.) содержит фундаментальную идею механики континуума, развитую в XIX в. Коши, Кирхгофом и др. Новый подход позволил Эйлеру составить диф-

<sup>2</sup> Идеальной жидкостью называется жидкость в которой пренебрегают процессами диссипации (вязким трением) и теплопроводности.

ференциальные уравнения движения идеальной жидкости<sup>3</sup>. Рассматривая элементарный параллелепипед жидкости с ребрами  $dx, dy, dz$ , Эйлер находит аналитическое выражение для ускорения жидкой частицы с массой  $\rho dx dy dz$  (где  $\rho$  — плотность) и приравнивает их соответствующим проекциям сил, отнесенных к единице массы” [63, с. 187—188]. Так сформировался слой “математического представления” гидродинамики идеальной жидкости.

В результате деятельности Эйлера возникла гидродинамика или механика движения идеальной<sup>4</sup> несжимаемой ( $\rho = \text{const}$ ) жидкости и более общей сжимаемой сплошной среды (требующей введения в рассмотрение температуры и закона сохранения энергии, а также “уравнения состояния” среды (зависимость давления от плотности и температуры) [182]). В последнюю наряду с жидкостью входят газ и твердое тело *Жидкость характеризуется непрерывностью (сплошностью, отсутствием разрывов и пустот) и текучестью*<sup>5</sup>.

Гидродинамика Эйлера, с одной стороны, опирается на ньютоновскую механику — введение центрального для описания жидкости “элемента жидкости” использует уже имеющийся “первичный идеальный объект” ньютоновской механики — материальную частицу (тело). Но введение

---

3 Первые дифференциальные уравнения движения идеальной жидкости были введены несколько ранее Даламбером в гидростатике.

4 Параллельно формированию теории течения идеальной жидкости шло формирование представления о трении-вязкости. Первым шагом на этом пути был эмпирический закон Ньютона для вязкости, утверждавший, что сила сопротивления (трения) пропорциональна скорости движения. Построение теории течения вязкой жидкости происходит в течение 19 в. и связано, в первую очередь, с именами Навье, Пуассона, Стокса. В ней уравнения Эйлера сменяют уравнения Навье-Стокса, в которых гидродинамика сливается с рассматриваемой ниже термодинамикой, поскольку вязкое трение производит тепло, а значение многих параметров зависит от температуры. В результате состояние среды характеризуется дополнительными измеримыми величинами (температурой, энтропией,....).

5 В общем случае решение системы гидродинамических уравнений очень сложно и может быть доведено до конца лишь в отдельных частных случаях, а именно: для идеальной жидкости (отсутствие вязкости), малой вязкости, безвихревого или потенциального течения; установившегося плоского и осесиммет-

новых принципов (непрерывности и др.) превращают ее в новый “первичный идеальный объект” — жидкость, *непрерывную среду, становящуюся альтернативой частице.*

Главной характеристикой физической системы является набор ее возможных состояний. Одним из главных отличий непрерывной среды является то, что *ее состояния* определяются значением соответствующих величин *во всех точках занимаемого системой (непрерывной средой) пространства* (что отвечает бесконечному числу степеней свободы). Т.е., если сравнить одномерное движение частицы и гипотетической однопараметрической среды, то на плоскости  $(p, x)$ , где  $x$  — координата, а  $p$  — скорость частицы или параметр среды, состояние частицы будет изображаться точкой, а состояние среды — линией. В эйлеровой гидродинамике идеальной несжимаемой жидкости *состояния* жидкости определяются вектором скорости  $v(x)$  и скалярным давлением  $p(x)$ , а уравнения движения выводятся из закона сохранения импульса и уравнения непрерывности [182].

Другая характерная черта — процедуры измерения основаны на использовании *пробного тела*. Пробное тело, с одной стороны, инородно по отношению к жидкости, чтобы выделить данную точку (при этом оно должно быть достаточно маленьким, чтобы пренебречь его возмущающим воздействием на соседние области жидкости). С другой стороны, оно отождествляется с “элементом жидкости”.

Эти две черты — *тип состояния* и *тип процедур измерения*, а также принципы *непрерывности* и *близкодействия* при передаче воздействия, задают модель непрерывной среды.

---

ричного одномерного движения; кроме того разработаны приближения для турбулентного (вихревого) течения и связанная с именем Рейнольдса теория подобия, которая дает возможность определить силы давления и трения, действующие на движущееся в жидкости тело или на стенки канала (русла), если известны соответствующие результаты для лабораторных модельных испытаний. В гидродинамике выделяют следующие подразделы: теория фильтрации, волн, вихрей, кавитации, глиссирования [184, с. 118-119].

Отметим, что при использовании (И-фаза на сх. 2.1) модели непрерывной среды не характерно построение моделей из комбинации многих сред. Усложнение системы здесь идет, главным образом, через усложнение граничных условий.

## 4.2. Волны

Над гидродинамической моделью непрерывной среды надстраивается модель волны.

Для среды есть особый, широко распространенный в силу наличия трения (вязкости) случай стационарного состояния, когда состояние (т.е. характеризующие его параметры, например, скорость  $v(x)$  и давление  $p(x)$ ), не меняется со временем. Вот над этим-то случаем и надстраиваются волны.

Волны, — написано в “Физическом энциклопедическом словаре” — это “*изменения состояния среды (возмущения), распространяющиеся в этой среде и несущие с собой энергию*”. Наиболее важные и часто встречающиеся виды волн — упругие волны (в том числе звуковые — А.Л.), волны на поверхности жидкости и электромагнитные волны... Основное *свойство* всех волн, независимо от их природы, состоит в том, что в волне осуществляется *перенос энергии без переноса вещества* (последний может иметь место лишь как побочное явление)” [184, с. 85].

Т.е. некий тип состояний среды представляется в виде стационарного состояния (типа гладкой поверхности воды) и особого типа нестационарной добавки колебательного характера, называемой волной, которая возникает во многих средах в результате локального возмущения стационарного состояния (типа брошенного в воду камня).

Но, с другой стороны, волны могут рассматриваться как физические системы. Причем, так же, как различные механические системы собираются из частиц, так и волны (это может быть одиночный импульс, цуг, состоящий из нескольких импульсов и т.д.) собираются из простейших, так называемых, “гармонических” или синусоидальных волн вида  $A_{\alpha, \nu} \sin(2\pi\nu t - kr + \varphi_{\nu})$ ,  $t$  — время,  $r$  — радиус-вектор, задающий определенную точку пространства;  $\nu$  — частота гармонической волны;  $k$  — волновой вектор, за-

дающий направление распространения волны, ее модуль  $k = 2\pi\nu/c$ , называется волновым числом,  $c$  — скорость волны (которая определяется свойствами среды)<sup>6</sup>,  $A_{\alpha, \nu}$  — амплитуда волны<sup>7</sup>,  $\varphi_{\nu}$  — начальная фаза,  $\alpha^8$  — характеристика поляризации в случае поперечной волны. Все прочие волны ( $B(r, t)$ ) можно представить в виде суммы синусоидальных волн:  $B(r, t) = \sum_{\nu} A_{\alpha, \nu} \sin(2\pi\nu t - kr + \varphi_{\nu})$  — так

называемых рядов (или интегралов) Фурье. При этом линейные волны подчиняются принципу суперпозиции, т.е. они распространяются независимо друг от друга. Т.о., “гармонические” или синусоидальные волны играют здесь роль ПИО, которые характеризуются частотой (подобно тому, как механические частицы характеризуются массой). Направление распространения гармонической волны, ее амплитуда, начальная фаза, поляризация — характеризуют ее состояние. Они меняются под действием трения, фильтров, поляризаторов, фазовых пластин, зеркал и т.п., выступающих в роли внешних воздействий (“сил”). В общем случае, волны имеют передний и задний фронты (начало и конец, расстояние между которыми определяет еще один важный параметр волны — ее “длину когерентности”), а могут представлять из себя и весьма компактные образования

<sup>6</sup> Скорость волны определяется упругими свойствами среды. При наличии дисперсии в среде (зависимости скорости от частоты) гоаявляется две скорости распространения: “фазовая” и “групповая”, соответствующая скорости переноса энергии и импульса.

<sup>7</sup> В зависимости от того, как возмущения ориентированы относительно направления распространения волны, они делятся на продольные и поперечные. Поперечные волны характеризуются дополнительным параметром — вектором поляризации  $\alpha$ , задающим направление колебаний волны, происходящим в плоскости перпендикулярной направлению ее распространения.

<sup>8</sup> Этот путь эквивалентен решению волновых уравнений, подробно разбираемых в [175], где в центре внимания (математические выражения, из анализа которых выделяется два основных класса волн: “гиперболические” и “диспергирующие”. Мы, как правило, ограничиваемся простейшим случаем “гиперболических” волн.

(волновые пакеты). Т.е. волна представляет собой протяженный, но ограниченный объект, распространяющийся в пространстве.

Поэтому многое в их поведении напоминает поведение частиц. Не случайно в течении долгого времени конкурировали волновая и корпускулярная модели распространения света. Тем не менее, исходно они выступают как альтернативные модели. Специфические свойства волн, характеризующие их распространение как принципиально отличное от движения частиц, — свойства интерференции (термин, введенный Томасом Юнгом в 1803 г.)<sup>9</sup> и дифракции<sup>10</sup>. Эти свойства отличают поведение волн от поведения потока частиц, описываемого законами геометрической оптики.

К этому следует добавить, что основное современное направление в теории волн — теории нелинейных волн [175], где возникают эффекты “самодействия” и изменения частот гармонических волн, что эквивалентно их взаимопревращениям. Одним из новых интересных идеальных объектов здесь является солитон — “структурно устойчивая уединенная волна в нелинейной диспергирующей среде (результат баланса действия эффектов нелинейности и дисперсии — А.Л.). Солитоны ведут себя подобно частицам: при взаимодействии между собой или с некоторыми други-

<sup>9</sup> При приходе двух совпадающих по частоте и имеющих неизменную разность фаз (“когерентных”) волн в данную точку среды их действие складывается так, что в точках, куда обе волны приходят в фазе они усиливают друг друга, а в точках, куда они приходят в противофазе - ослабляют. В результате получается картина так называемых интерференционных полос. В частности, в случае пучка света, падающего перпендикулярно на экран с двумя щелями, на стоящем за ним параллельном экране максимум интенсивности будет наблюдаться в области геометрической тени (на сечении экрана плоскостью, проходящей через середину между щелями перпендикулярно экранам, и будут повторяться многократно при разности расстояний до щелей кратной длине волны). Это классический опыт по доказательству волнового (а не корпускулярного, как предполагал Ньютон) характера света.

<sup>10</sup> Явление огибания тела волной, из-за чего предсказываемые геометрической оптикой резкие тени размываются.

ми возмущениями не разрушаются" [184, с. 698], но при этом проходят насквозь друг друга.

### 4.3. Электродинамика — модель поля

Другим порождением модели "непрерывной среды" является рожденная в электродинамике модель силового поля — еще одна архетипическая модель, интенсивно используемая в науке XX в.

Очень интересна история становления электродинамики. Она ярко демонстрирует ряд существенных моментов галилеевской модели развития естественной науки, важность и сложность истории формирования и новых измеримых величин, и новых "первичных идеальных объектов", а также возможность двух постановок задачи: оставаться в рамках имеющихся "первичных идеальных объектов" или создавать новые. Именно в рамках последней установки, принятой Максвеллом, становится более понятным провозглашавшийся им метод аналогий. Именно по этой причине в изложении данного раздела история науки занимает столь большое место, по сравнению с другими разделами.

Теория электричества и магнетизма относится к следующему, по сравнению с ньютоновской механикой и гидродинамикой Бернулли и Эйлера поколению разделов физики. Предыдущие выросли из решения конкретных задач. Эти формируются под знаком наведения порядка в имеющихся знаниях (похоже, что так же обстояло дело и в математике).

Историю электродинамики имеет смысл разделить на *два этапа*. Первый — "классический", ориентировался на образец ньютоновской механики. Этот этап неплохо описывается идущими от Фр. Бэкона эмпирическими моделями науки. Хотя уже на нем видно как непросто формируются основные понятия и измеримые величины нового раздела науки.

Второй — фарадеевско-максвелловский этап становления электродинамики, знаменует начало перехода к "неклассической" физике. Его уже вряд ли возможно адекватно описать в рамках бэконовских эмпирических моделей науки.

Он явно требует “галилеевской” модели развития естественной науки.

Простейшие электрические и магнитные явления известны были уже в древности как свойство некоторых минералов притягивать железо и как свойство потертого о шерсть янтаря (по-гречески — электрон) притягивать легкие предметы. Но предметом науки электричество и магнетизм становятся лишь в XVII-XVIII вв. “В XVII — 1-й пол. XVIII вв. проводились многочисленные опыты с наэлектризованными телами, были построены первые электростатические машины, основанные на электризации трением, установлено существование электрических зарядов (французским физиком Ш.Ф.Дюфе), обнаружена электропроводность металлов (английским ученым С.Греем). С изобретением первого конденсатора — лейденской банки (1745) — появилась возможность накапливать большие электрические заряды.

“Необычайный интерес к электрическим явлениям, особенно резко выраженный в сороковых годах (XVIII в. - А.Л.) и отмечаемый всеми историками физики, ... — пишет П.С.Кудрявцев, — для широких кругов ассоциировался с ... ”“курьезами”” [86, с. 281]. Увлечение курьезами-фокусами, диковинными механическими машинами-игрушками — характерная культурная черта того времени. На иллюстрации “Электрические опыты в XVIII в.” [86, с. 282] изображены кавалеры, демонстрирующие опыты дамам (т.е. лаборатория выступала как элемент светского салона).

“Во 2-й пол. XVIII в. началось количественное изучение электрических явлений. Появились *первые измерительные приборы* — электроскопы различных конструкций (простейшая конструкция — два тонких металлических лепестка, прикрепленных к металлическому стержню; по мере увеличения заряда того предмета, которого касается стержень, свободные концы лепестков все больше расходятся - А.Л.), электрометры” [184, с. 268]. Модельные представления при этом базировались на гипотезе об одной (как у Франклина) или двух (положительной и отрицательной) невесомых электрических жидкостях (“флюидах”). Закон Кулона (1785)<sup>11</sup>

<sup>11</sup> Английский физик Г.Кавендиш получил аналогичный результат еще в начале 1770-х, но он был опубликован лишь в 1879 г. Максвеллом. Генри Кавендиш свои исследования “производил в собственной лаборатории. Публиковал только те свои

завершает формирование первой измеримой величины электродинамики — *электрического заряда* (отметим, что использовавшиеся для этого крутильные весы создавались им для измерения вязкости жидкости).

Следующим на очереди оказывается ток. “Поводом к исследованиям Гальвани (1786-1791) послужило случайное наблюдение его ассистентами реакции лапок свежепрепарированной лягушки на искровой разряд расположенной на некотором расстоянии [электрической] машины” [96, с. 198]. Гальвани, в традициях тогдашней медицины и физиологии, отнес открытое им явление к “животному электричеству”, т.е. собственному электричеству организма. “А.Вольта — авторитетнейший специалист по электростатике — подтвердил существование эффекта, но активным началом счел контакт двух металлов. Именно в результате множества опытов в процессе длительной дискуссии Вольта, исключив из цепи какие-либо компоненты органического происхождения, изобрел свой вольтов столб”<sup>12</sup> [96, с. 198] и ввел понятие и эталон измерения электродвижущей силы (ЭДС) источника тока, известное нам как измеряемое в Вольтах напряжение (или разность потенциалов) в цепи.

С созданием *вольтового столба* (1800) стало возможным создавать электрический ток в течение длительного времени. С вольтовым столбом появилась возможность для открытия и исследования взаимодействия токов с магнитами. Но само *понятие* тока сформировалось лишь после революционных опытов датского физика Ханса Кристиана Эрстеда (1820), который, не имея этого понятия свои результаты выразил следующим пассажем: “Основной вывод из этих опытов состоит в том, что магнитная стрелка отклоняется от своего положения равновесия под действием

---

статьи, в достоверности которых был полностью уверен. В связи с этим долгое время его работы по электричеству оставались неизвестными. Изданные в 1879 Дж.Максвеллом эти работы показали, что в некоторых случаях Кавендиш значительно опередил современную ему науку...” [194, с. 122].

<sup>12</sup> “Гальвани же получил ток вообще без всяких металлов” [96, с. 198] и дискуссия о том к какой науке — биологии, химии или физике — относить это явление продолжалась еще некоторое время.

вольтаического аппарата и этот эффект проявляется, когда контур замкнут, и он не проявляется, когда контур разомкнут”, причем “наблюдаемый эффект не может быть приписан притяжению... электрический конфликт..., по-видимому, не ограничен проводящей проволокой, но имеет довольно обширную сферу активности вокруг этой проволоки. Кроме того, из сделанных опытов можно заключить, что этот конфликт образует вихрь вокруг проволоки” [96, с. 204].

К 1830 г. “учение об электричестве и магнетизме располагало законами Кулона для электрических и магнитных взаимодействий, законами Био-Савара (определяющего напряженность магнитного поля, создаваемого электрическим током - А.Л.) и Ампера (определяющего силу взаимодействия двух токов - А.Л.) — для электромагнитных взаимодействий токов и законом Ома — для гальванической цепи. Затем последовало открытие электромагнитной индукции (возникновение электродвижущей силы в проводящем контуре, находящемся в переменном магнитном поле или движущемся в постоянном магнитном поле (1831) - А.Л.), а также законов электролиза Фарадеем” [86, с. 463]. Соответствующие процедуры и единицы измерения заряда и тока — плод разработок Гаусса по введению системы единиц и Вебера по измерению электрических и магнитных величин.

Параллельно открытию новых феноменов шло развитие их математического описания. “Пуассон, Грин, Гаусс явились... основоположниками математической теории электростатики и магнитостатики” [86, с. 471]. В 1828 г. “даровитый пекарь” Грин (1793—1841) опубликовал свою классическую работу “Опыт приложения математического анализа в теории электричества и магнетизма”... Грин ввел “потенциальную функцию”, установил для нее математические соотношения (формулы Грина, функция Грина) и применил к решению электростатических и магнетостатических задач.... Новая функция, получившая название “потенциала”, в сороковых годах вошла во всеобщее употребление, благодаря Гауссу, его сочинению “Общие теоремы, касающиеся притягательных и отталкивательных сил, действующих обратно пропорционально квадрату расстояния” (1839)... [86, с. 433].

Дальнейшее развитие новой науки шло по двум линиям: английской (Фарадей и Максвелл) и немецкой (Ф. Нейман, В.Вебер и др.). Они, в свою очередь, были связаны, соответственно, с картезианской и бэконовско-ньютони-

анской традициями<sup>13</sup>. Первые исходили из концепции *близкодействия*, движений и энергий, вторые — из *концепции далекодействия*, сил и частиц.

“По основным физическим воззрениям разногласия сводятся к двум пунктам: допущение или недопущение *пустоты* и отношение к категории *силы*. В *физике Декарта*... нет места имматериальности; весь мир материален. Отсюда вытекает и отсутствие пустоты и изгнание категории силы как некоего надматериального агента, одушевляющего материю. В частности, сила тяжести не может быть каким-то изначальным свойством тел, “она, — говорит Гюйгенс, — будучи усилием или стремлением к движению, должна, по всей вероятности, производиться движением”... Движение может порождаться только движением, а не какой-то посторонней нематериальной причиной” [86, с. 233] (“Декарт стоял на позициях кинетического мировоззрения, согласно которому основу мира составляет материя и движение. Раз созданные материя и движение неуничтожимы” [86, с. 157]). “Если частица материи обладает некоторой величиной, то она никогда не сделается меньше, пока другие частицы ее не разделят...”, — говорит Декарт в 1-м начале своей “Космогонии” в сер. XVII в. “Внешней” причиной, нарушающей состояние частиц материи, является воздействие на данную частицу окружаю-

<sup>13</sup> Картезианскую и бэконовско-ньютоновскую точку зрения объединяют общие интересы в борьбе со схоластикой Аристотеля... (и) присущий им обоим механицизм. Когда картезианец Гюйгенс называет истинной ту философию, “в которой причине всех естественных явлений постигают при помощи соображений механического характера”, то он перекликается с ньютоновским пожеланием “вывести из начал механики и все остальные явления природы”. Разногласия возникают в вопросе о методе и в указанных выше натурфилософских концепциях” (центральными моментами этих дискуссий являлись вопросы о природе света и о природе тяготения). В методе Декарта “научная интуиция и тесно связанная с ней научная гипотеза играют первостепенную роль. В противоположность этому ньютоновцы выдвигают лозунг “не измышлять гипотез”, и Котс в своем предисловии называет гипотетические построения картезианцев вымыслами и баснями. Эмпирико-индуктивный метод... они считают единственно надежным, единственно научным” [86, с. 233].

щих частиц. Мерой воздействия является количество движения ( $mv$ ) [86, с. 156—157]. У *ньютонианцев* в природе имеет место дуализм материи и пустоты. Материальные частицы являются силовыми центрами, благодаря чему они взаимодействуют друг с другом. Раскрывать природу тяготения не следует, достаточно дать формальное описание дальнегодействующего притяжения<sup>14</sup>.

Наиболее успешно программу дальнегодействия<sup>15</sup> в электродинамике реализовывал *Вильгельм Вебер* (1804—1891). Он “задается целью последовательно провести ньютонианскую точку зрения в электродинамике и получить элементарный закон, охватывающий как статические, так и динамические взаимодействия, в том числе и индукцию... Основная его гипотеза — это гипотеза существования двух родов электрических субстанций, имеющих атомистическое строение...” Он утверждает, что “при всеобщем распространении электричества можно принять, что с каждым весовым атомом связан электрический атом... По Веберу, в каждом элементе провода текут два электрических потока с равными и противоположными скоростями” [86, с. 474, 475—476].

“По заявлению Франца Неймана (1798-1895) успех Вебера “оказался блестящим”. С одной стороны, из этого закона очень просто вытекает закон Ампера для действия двух эле-

<sup>14</sup> Вольтер так отзывался об этих двух направлениях: “...В Париже вселенная наполнена эфирными вихрями, тогда как здесь (в Лондоне) в том же пространстве действуют невидимые силы. В Париже давление луны на море причиняет прилив и отлив, в Англии, наоборот, — море тяготеет к Луне. У картезианцев все делается через давление, что, по правде сказать, не совсем ясно; у ньютонианцев все объясняется притяжением, что, впрочем, не много яснее” [86, с. 233].

<sup>15</sup> “Открытие закона сохранения энергии и открытия Фарадея наметили путь для последовательного проведения картезианской программы... Тем не менее в учении об электричестве господствовала ньютонианская тенденция — дать формально-безупречное описание фактов электродинамики, в основе которого лежал бы универсальный элементарный закон дальнегодействия. Такая тенденция особенно отчетливо выявлялась в работах немецких физиков. Видимо, здесь также проявилась оппозиция антиньютонианской направленности гегелевской философии” [86, с. 463].

ментов тока, с другой — установленный нами общий закон индукции”. И теория Вебера, игнорирующая роль среды в электрических взаимодействиях и допускающая мгновенное действие на расстоянии, господствовала безраздельно во всех учебниках физики и теоретических работах по электродинамике вплоть до семидесятых годов” (XIX в.) [86, с. 477]. Естественным продолжением этой линии можно считать лоренцевскую электронную теорию вещества.

*Модель Вебера оперировала зарядами, токами и силами* между ними и, соответственно, движением заряженных частиц и флюидов. По сути немецкая линия пыталась обойтись *старыми* “первичными идеальными объектами”, добавив к ним новые характеристики и измеримые величины — заряд и ток. Но новые силы взаимодействия стали зависеть от скоростей, что вело к очень витиеватым формулам. В результате теория *лишалась модельного слоя*, она вырождалась до характерной для чисто феноменологической программы замены “первичных идеальных объектов” непосредственно измеримыми величинами (зарядами и токами).

Рассмотренный первый этап становления электродинамики вполне вписывается в эмпирическую модель науки.

С одной стороны, появление перечисленных выше законов электродинамики вполне укладывается в бэконовскую схему<sup>I</sup>. С другой стороны, теоретические разработки М.Вебера и Ф.Неймана неплохо описываются феноменологическими моделями “конструктивного эмпиризма” ван Фраассена<sup>II</sup>.

Но создание *электродинамики Фарадея-Максвелла* (также как создание статистической физики, теории относительности и квантовой механики, по сути всех сложившихся разделов физики) в эту эмпирическую схему не вписывается. Развитие программы Фарадея-Максвелла шло совсем по другому сценарию. Она четко и решительно ориентировалась на построение принципиально нового “первичного идеального объекта” — электромагнитного поля. Основные черты этого “первичного идеального объекта” в модельном слое были заданы еще Фарадеем на основе модели силовых линий.

Фарадей исходил из *концепции близкого действия*. Поэтому он перенес центр тяжести своих исследований с элект-

рических и магнитных тел *на пространство между этими телами*. При этом “отказавшись от термина “электрический флюид” и введя понятия “силовое поле”, “индукция”, “диэлектрик” и т.д., Фарадей, — как специально подчеркивал Максвелл в статье “Фарадей” (1870), — буквально перестроил науку об электромагнетизме, обратив внимание исследователей на процессы, совершающиеся *в пространстве между* намагниченными и наэлектризованными телами [111, с. 68] (см. рис. 4.1).

В ходе исследования поведения сил в магнетиках (1845—1850) Фарадей особенно часто пользовался понятиями “количество”, “интенсивность”, “сгущение” и “разрежение” магнитных силовых линий, не связанных с какой-либо механической средой-веществом. “Если они (линии магнитной силы) существуют, — писал он, — то не как результат последовательного расположения частиц,... но обусловлены пространством, свободным от таких материальных частиц. Магнит, помещенный в лучший вакуум... действует на магнитную иглу так же, как если бы он был окружен воздухом, водой или стеклом” (приводится по [173, с. 124]). Начиная с 1845 г., в его трудах встречается понятие “поле” (магнитных сил)... *Магнитным полем*, — пишет Фарадей, — “можно считать любую *часть пространства*, через которую проходят линии магнитной силы... Свойства поля могут изменяться от места к месту по интенсивности силы как вдоль линий, так и поперек последних” [178, т.3, §2806].

Эту линию последовательно развил Дж. Максвелл. Причем, в отличие от Томсона, который показал, что результаты фарадеевских исследований силовых линий могут быть сведены к уже известным законам и методам, Максвелл в электродинамике придерживается иной стратегии. Он изначально исходит из *новой модели поля*, суть которой состав-

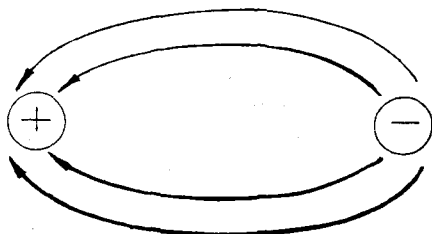


Рис.4.1. Электрические силовые линии

ляют “электрические силовые линии, существующие вне порождающих их зарядов. Такого объекта не было в представляющих (дофарадеевских — А.Л.) теоретических представлениях электростатики” [168, с. 153]. И над этой моделью надстраивается математический слой с помощью аналоговых гидродинамических моделей, жестко связанных со своим математическим слоем.

“Формирование этого языка открывало путь к построению основ для исследования принципиально новых законов действия электрических и магнитных сил, включая физические процессы их взаимопревращения и распространения в пространстве. При анализе генезиса теории электромагнитного поля очень важно помнить, что такие физические процессы, вообще говоря, были просто бессмысленны с точки зрения понимания силы как причины ускорения материальной точки. Так, Максвелл в одной из своих работ подчеркивал, что сила — это причина изменения движения и, следовательно, “существует только до тех пор, пока она действует;...” [121, с. 265—266].

Основные новые моменты модели, унаследованные от Фарадея, — *система-поле* (представляющее собой заполняющую пространство среду из силовых линий), *состояния* которого определяются значениями напряженностей магнитной и электрической составляющей — *новых измеримых величин*. Важнейшим шагом на этом пути было определение процедуры измерения характеристик поля посредством *пробного заряда*, которую Максвелл ввел первоначально для электростатического силового поля. “В модели Кулона заряд... определялся через свойство “изменять состояние движения другого заряда... В предельном случае один заряд — “источник электрической силы” — можно было считать фиксированным, а другой заряд — сколь угодно малым (“маленькое заряженное положительным электричеством тельце” [110, с. 15]). Тогда последний превращался в “пробный заряд”, который не оказывает на величину и направление электрической силы никакого воздействия, а позволяет лишь характеризовать плотность силовых линий, исходящих из порождающего их заряда” [168, с. 154—155]. Введение соответствующего пробного витка тока (или магнитного диполя) позволяет решить ана-

логичную проблему по отношению к магнитным силовым линиям.

Максвелл четко осознавал важность указания процедур измерения. В своем итоговом “трактате об электричестве и магнетизме” (1873) он писал: “В предлагаемом трактате я намерен описать наиболее важные из этих (электромагнитных) явлений, показать как их можно измерить и проследить математические соотношения между измеримыми величинами... Поэтому я буду рассматривать электрические явления в основном в отношении их измерения, описывая *методы измерения и определяя эталоны*, от которых они зависят.” [110, с. 345].

Оставалось построить соответствующее математическое представление. Для его получения Максвелл использовал свой “метод аналогий”. “Под физической аналогией, — говорит Максвелл, — я разумею частное *сходство между законами* (уравнениями. — *А.Л.*) двух каких-нибудь областей науки, благодаря которому одна является иллюстрацией другой” [110, с. 12]. Цель этого метода — получить “математические приемы и формулы, которые необходимы для изучения электрических явлений” [110, с. 14—17].

Этот метод естественно вытекал из принятой им картезианской натурфилософии. Так в докладе “Реальны ли аналогии в природе?” (1856) Максвелл утверждал, что “все явления природы, будучи множеством *движений*, могут отличаться только по сложности” [121, с. 268—269]. Поэтому он пытается “сводить все к чисто геометрической идее движения некоторой воображаемой жидкости” [110, с. 17] и говорит, что “сама концепция идеальной однородной жидкости является такой же существенной частью чистой динамики, как круг в чистой геометрии” [121, с. 271]. На модельном уровне близкое действие столь же естественно связывалось с моделью жидкости и декартовских вихрей, как дальнее действие — с ньютоновской моделью частиц и сил.

Кроме того, метод аналогии Максвелла, состоявший в работе с аналогами идеальной жидкости и “представлениями о вращающихся вихрях несжимаемой жидкости, между которыми расположены контактирующие с ними телесные элементы” [168, с. 165], позволил Максвеллу не отрываться в модельном слое от модели близкого действия.

Максвелл указывал, что надеется при “внимательном изучении свойств упругих тел и вязких жидкостей” найти “для электротонического состояния некоторый механический образ, способный вести к общим заключениям” [110,

с. 59, 156, 175]. При этом он не предполагает в этих аналогиях “и тени действительной физической теории (т.е. связи со старыми “первичными идеальными объектами” — А.Л.); напротив того, их главная заслуга как условных орудий для дальнейших исследований заключается в том, что они свободны от всякого предвзятого мнения (старых “первичных идеальных объектов”. — А.Л.)” [110, с. 85—86].

Еще одна функция метода аналогий состояла в том, что постоянное подчеркивание лишь аналогии с идеальной жидкостью давало возможность Максвеллу (а позже — Больцману в ходе создания статистической механики) противопоставить свою установку на построение новых “первичных идеальных объектов” установке на использование старых “первичных идеальных объектов” — феноменологически-эмпирической программе Вебера. Цель деятельности Максвелла, вроде бы та же, что и у Вебера — включить в свою теорию все известные эмпирические законы взаимодействия зарядов и токов. Но если Вебер, избегая вводить принципиально новые “первичные идеальные объекты”, сводит свою задачу к феноменологическому описанию всех этих взаимодействий общим уравнением, то Максвелл переносит центр тяжести на создание принципиально нового “первичного идеального объекта” — электромагнитного поля.

Схему метода “аналогий” можно представить в виде: *новая модель — аналоговая модель — ее математическое представление*<sup>16</sup>, становящееся (после “стирания” промежуточного звена аналоговой модели) математическим представлением новой модели. Эта процедура проводится только при создании нового “первичного идеального объекта” (в “С-фазе”) и далее не требуется<sup>17</sup>.

---

<sup>16</sup> “Она (идеальная жидкость. — А.Л.) представляет собой исключительно совокупность фиктивных свойств, составленную с целью представить некоторые теоремы чистой математики (методы математической теории потенциала) в форме более наглядной и с большей легкостью применимой к физическим задачам, чем форма использующая чисто алгебраические символы (т.е. типа веберовской, без модельного слоя. — А.Л.)” [106, с. 18].

<sup>17</sup> Интересно сопоставить ее с описанной ниже, в связи с квантовой механикой и теорией относительности, схемой метода “затравочной классической модели”: “затравочная классическая

Логика его аналогий на начальном этапе, когда он пытался охватить известные электро- и магнито-статические явления, описывается им так: "Законы теплопроводности в однородных средах кажутся на первый взгляд в физическом отношении как нельзя более отличными от законов притяжений. Величины, которые мы встречаем в этих новых явлениях, суть температура, поток тепла, теплопроводность. Слово сила чуждо этой области науки. Несмотря на это, мы находим, что математические законы стационарного движения тепла в однородных средах тождественны по форме с законами притяжений, будучи обратно пропорциональными квадрату расстояния. Заменяя центр притяжения источником тепла, ускоряющее действие притяжения — тепловым потоком, потенциал — температурой, мы преобразуем решение задач о притяжении в решение соответствующих задач о теплопроводности. Эта аналогия между формулами учений о теплоте и о притяжении была подчеркнута впервые, как мне кажется, проф. Вильямом Томсоном....

При помощи аналогии такого рода я попытался представить в удобной форме те математические приемы и формулы, которые необходимы для изучения электрических явлений. Мой метод одинаков с тем, которого придерживался Фарадей в своих исследованиях... Этим приемом мы можем достичь того, что поток жидкости в трубках своей скоростью представит напряженность силы, а своим направлением — ее направление. Метод представления интенсивности силы скоростью воображаемого потока жидкости в трубке применим ко всякой системе сил; но он дает большие упрощения в частном случае сил, обратно пропорциональных квадрату расстояния, что имеет место в электрических и магнитных явлениях... Стенки трубок при этом сводятся к математическим поверхностям, которые определяют направление движения жидкости, непрерывно заполняющей все пространство" [110, с. 14—17].

После этого Максвеллу оставалось получить уравнения движения электромагнитного поля, охватывающего все известные к его времени электромагнитные явления. Поскольку на базе использованных им вначале аналогий он не смог охватить динамические явления типа электромагнитной индукции Фарадея, то в своей более поздней и зрелой попытке он обращается к фарадеевской "идее нестационарных силовых линий", ставя ей в соответствие модель "вихря в несжимаемой жидкости" [110, с. 107—108].

Заключительным аккордом на пути получения *уравнений движения* электродинамики — уравнений Максвелла

---

*модель* — ее математическое представление — новое математическое представление, меняющее поведение "загравочной" модели и превращающей ее в новую модель. Эту процедуру надо повторять каждый раз при формулировке соответствующей задачи и при использовании уже определенных первичных идеальных объектов (в "И-фазе").

и завершения формирования нового “первичного идеального объекта” — электромагнитного поля было получение Максвеллом “уравнения с током смещения”<sup>18</sup> замкнувшее систему уравнений Максвелла<sup>19</sup> (для понимания модели, в первую очередь, важны входящие в уравнения величины, а не само уравнение):

$$\operatorname{rot} H = (4\pi/c) j_{\text{пр}} + (1/c)\partial D/\partial t,$$

$$\operatorname{rot} E = -(1/c)\partial B/\partial t,$$

$$\operatorname{div} B = 0,$$

$$\operatorname{div} D = 4\pi\rho,$$

где  $D = D(E)$ ,  $B = B(H)$  — векторы электрической и магнитной индукции,  $\rho$  — плотность заряда,  $j_{\text{пр}} = j_{\text{пр}}(E)$  — ток проводимости,  $\partial D/\partial t$  — ток смещения (“ток”, поскольку его размерность и действие те же, что у “тока проводимости”). “Полученная система уравнений и ее интерпретация сформировали новое видение электромагнитных процессов. Последние предстали как взаимодействие связанных между собой электрических и магнитных полей, распространяющихся в пространстве с конечной скоростью. Благодаря этому сама теория электромагнетизма должна была рассматриваться как описание существенных характеристик особой физической реальности — электромагнитного поля”. “Эта картина вводила представление об электромагнетизме”.

<sup>18</sup> Величина  $\frac{1}{4\pi}(\partial D/\partial t)$ , где  $D$  — вектор электрической индукции, создает магнитное поле по тому же закону, что и ток проводимости  $j_{\text{пр}}$ .

<sup>19</sup> “Уравнение с током смещения было получено Максвеллом в связи с необходимостью учесть в уже созданных обобщающих законах особенности электростатических взаимодействий... Аналоговой моделью, обеспечившей введение таких уравнений, послужило представление о вращающихся вихрях несжимаемой жидкости, между которыми расположены контактирующие с ними телесные элементы” [168, с. 165]. “Здесь видно, насколько не соответствует историческим фактам представление о том, что Максвелл вывел это уравнение, пользуясь соображениями симметрии... Эту симметрию уравнений Максвелла впервые зафиксировал О.Хевисайд лишь в 1885г. ...Такие приемы построения теории стали типичными только в современную эпоху эволюции физики” [168, с. 147].

тизме как передаче электрических и магнитных сил от точки к точке в соответствии с принципом близкого действия” [168, с. 168, 147].

С ней длительное время (до 1870-х)<sup>20</sup> конкурировала картина Ампера и Вебера. “Их теоретические исследования базировались на представлениях об электромагнитных взаимодействиях как о мгновенной передаче сил между точечными зарядами и дифференциально-малыми элементами тока... (Они) сумели развить достаточно богатую теорию, хотя последняя испытывала ряд трудностей, например, при объяснении электромагнитной индукции... Победа максвелловского направления была одержана только после построения теории электромагнитного поля и экспериментального обнаружения предсказанных теорией электромагнитных волн (немецким физиком Г.Герцем в 1886-89 гг. — А.Л.)” [168, с. 149]. Но даже после этого теория Максвелла многими воспринималась как “уравнения Максвелла”, т.е. феноменологически<sup>21</sup>.

К сказанному следует еще добавить, что современный вид электродинамика приняла в трудах Хевисайда, Герца и Лоренца [109, с. 21].

Заключает процесс создания классической электродинамики “Теория электронов” Г.А.Лоренца, продвинувшего электродинамику Максвелла в область сплошных сред. “Если мы хотим понять, — писал он, — каким образом электрические и магнитные свойства зависят от температуры, плотности, химического строения или кристаллического состояния вещества, то мы не можем удовлетвориться простым введением для каждого вещества этих коэффициентов, значения которых должны определяться из опыта... Эта необходимость и привела к представлению об электрических заряженных частичках, которые в громадных количествах присутствуют во всех весомах телах; их распреде-

---

<sup>20</sup> В 1870-е гг. полевые образы возникают в живописи импрессионистов, что, наверное, способствует распространению максвелловской электродинамики (из беседы с Г.С. Кнабе).

<sup>21</sup> Интересно, что Герц воспринимал теорию Максвелла, как уравнения Максвелла [204], т.е. по-веберовски. С другой стороны, многие физики воспринимают его механико-гидродинамические аналогии как механические объяснительные модели, игнорируя все недвусмысленные указания Максвелла.

лением и движением мы и намерены объяснить все электрические и оптические явления, которые происходят в несвободном эфире (т.е. веществе - А.Л.)" [109, с. 28].

Эта работа опиралась на открытие английским физиком Дж.Дж.Томсоном дискретности электрических зарядов в ходе исследования электрических разрядов в газах. В 1897 г. Томсон измерил отношение заряда электрона к его массе, а в 1898 определил абсолютную величину заряда электрона. Это открытие стимулировало интерес к исследованию строения атома приведшего к открытию Резерфорда. Но эта история уже относится к рождению квантовой механики.

В результате возникли *два новых "первичных идеальных объекта"*, составивших основу электродинамических моделей: *заряженная частица* (это частица классической ньютоновской механики, но среди ее характеристик наряду с массой появляется заряд) и *электромагнитное поле* (E,H). Соответственно расширяется и пространство состояний: кроме характерного для классической ньютоновской механики пространства состояний  $(x_1, \dots, x_n, v_1, \dots, v_n)$  системы из  $n$  частиц добавляется *пространство состояний*  $(E(x), H(x))$  *электромагнитного поля*, значение которого измеряется с помощью *пробных заряда и петли с током*.

Таким образом, модель электромагнитного поля в своих основных чертах совпадает с моделью непрерывной среды в гидродинамике Эйлера. Главное отличие, превращающее электромагнитное поле в новую "архетипическую" модель — *модель силового поля* в виде части пустого (без вещества) пространства, в котором тела (частицы), обладающие некоторым свойством (зарядом), испытывают воздействие, определяемое значением поля в той точке пространства, где находится тело (в эйлеровской модели важным моментом считается прием выделения элемента среды и обращение с ним как с материальной частицей).

Но главные *общие и для среды, и для поля черты*, которые объединяют их в альтернативную частице *модель континуума*, состоят в следующем: есть набор измеримых величин  $\{C\}$ , характеризующих основные (атрибутивные) свойства среды (или поля), *состояния* которой задаются значениями этих величин  $\{C(x)\}$  (измеряемых с помощью соответствующих "пробных тел") *во всех точках пространства, занимаемого средой или полем* (что отвечает

бесконечному числу степеней свободы)<sup>22</sup>, границы же этого пространства в виде граничных условий *играют роль внешнего воздействия* (F на сх. 3.1). Другая существенная общая непрерывной среде черта — усложнение системы здесь идет, главным образом, через усложнение граничных условий (формы границ, их свойств, внешних воздействий), а не через, скажем, увеличение числа сред.

Родившаяся в электродинамике Фарадея-Максвелла модель силового поля, получила в дальнейшем распространение и вне электродинамики, в частности, в теории сильных, слабых и гравитационных взаимодействий (при этом набор полей - характеристика системы, а значение величин полей - характеристика состояния системы).

---

<sup>22</sup> “Степени свободы” в механике соответствуют независимым перемещениям механической системы [184, с. 723].

Со специальной (СТО) и общей (ОТО) теорий относительности начинают отсчет “неклассического” периода в физике. Ее появление вызвало сильнейшее потрясение в умах не только физиков. Она стала достоянием культуры Новейшего времени и типичным представителем последнего (см. гл.1). При этом в культуре XX в. за ней, как и за квантовой механикой, закрепился статус недоступности для простых смертных, она рассматривается как достояние узкого слоя жрецов в лице физиков-теоретиков, непосредственно занимающихся этим предметом. Такое отношение послужило благодатной почвой для возникновения многочисленных мифов, распространяющихся в общественном сознании.

Что касается собственно физики, то СТО и ОТО являются попытками ввести в физику новую, по сравнению с частицами, непрерывной средой и силовым полем архетипическую модель — модель 4-мерного пространственно-временного многообразия с переменной кривизной и тему многомерности пространства и времени.

Попробуем разобраться в этих вопросах.

### 5.1. Специальная теория относительности (СТО)

Победа антиньютоновской программы электромагнитной теории Максвелла привела к кризису господствовавший до тех пор в среде физиков ньютоновский взгляд на мир. Согласно одному из основополагающих положений последнего “всякое физическое явление можно считать изученным только тогда, когда построена его механическая модель”. С механической же моделью максвелловского электромагнитного поля — эфиром дело обстояло плохо. Следствием этого стал критический анализ оснований классической механики, возникли вопросы “что такое сила?”, “что такое масса?”, а вместе с ними и альтернативные механики без этих понятий. С новой силой и аргументацией возродился спор XVII в. между Ньютоном и Лейбницем о существовании абсолютного пространства и времени. В фи-

зике разразился “гносеологический кризис”, который по своему духу вполне отвечал атмосфере “конца века” [161]. Центральное место в этих жарких спорах принадлежит Эрнсту Маху.

На этом фоне вызревал исходный парадокс — противоречие между максвелловской электродинамикой и классической механикой как физическими теориями. Особенно четко это противоречие сконденсировалось вокруг вопроса о распространении электромагнитных волн — квинтэссенции теории Максвелла.

Со времен Галилея существовал *принцип относительности* как принцип эквивалентности механических явлений во всех инерциальных (т.е. движущихся прямолинейно и равномерно) системах отсчета.

В силу этого принципа механические явления не дают возможности наблюдателю, находящемуся в какой-либо из этих систем определить некое абсолютное движение, т.е. определить какая из двух систем отсчета движется “на самом деле”.

Математическим выражением этого факта была инвариантность уравнений движения Ньютона по отношению к преобразованиям Галилея:

$$x' = x + Vt; \quad y' = y, \quad z' = z, \quad t' = t, \quad v' = v + V,$$

где  $V$  — скорость движения “штрихованной” системы отсчета  $O'x'y'z'$  (“вагона поезда”), движущейся вдоль оси  $Ox$  “нештрихованной” системы  $Oxyz$  (“перона вокзала”) с постоянной скоростью  $V$ .

Электромагнитная теория Максвелла нарушала эту идиллию. “В уравнения Максвелла входит характерная скорость “ $c$ ” — скорость света. Поэтому они не инвариантны относительно преобразований Галилея (в этом легко убедиться непосредственной постановкой вместо скорости света  $c$  суммы  $c + V$ )” [94, т. I, с. 208]. “Вообразим два наэлектризованных тела; — говорит А. Пуанкаре, — хотя они кажутся нам покоящимися, однако оба они увлекаются движением Земли... Движущийся электрический заряд эквивалентен току; поэтому два таких заряженных тела будут равносильны двум параллельным токам, направленным одинаково; а такие два тока должны притягивать друг друга. Измеряя это притяжение, мы измерим скорость Земли:... ее абсолютную скорость” [154, с.239].

Математическим выражением этого факта является то, что уравнения Максвелла оказываются инвариантными не относительно преобразований Галилея, а относительно преобразования Лоренца:

$$x' = (x - Vt)/\beta, \quad y' = y, \quad z' = z, \quad t' = (t - Vx/c^2)/\beta,$$

$$\beta = (1 - V^2/c^2)^{1/2}; \quad v' = (v - V)/(1 - vV/c^2),$$

которые связывают одну систему координат пространства-времени  $(x', y', z', t')$  с другой  $(x, y, z, t)$ , движущейся с постоянной скоростью  $V$  относительно первой (относительно оси  $x$ ). Это утверждение было сформулировано Лоренцем в 1899 г. (но первым, за два года до этого, их, фактически, записал В.Фогт). Из него следует, что с точки зрения “нештрихованной” системы отсчета  $O$  (“перона”), принадлежащие “штрихованной” системе отсчета  $O'$  (в “вагоне”) длины отрезков  $L$  и интервалы времени, соответственно, укорачиваются ( $L = L'\beta$ ) и удлиняются ( $\Delta t = \Delta t'/\beta$ ).

Специальная теория относительности (СТО) рождалась из преодоления указанного теоретического противоречия, путь разрешения которого зависел от выбора ответов на вопросы: 1) обобщать или нет принцип относительности на электромагнитные явления?; 2) если обобщать, то какую теорию менять: Ньютона или Максвелла и как?

Эйнштейн на первый вопрос отвечал положительно, так же как и А.Пуанкаре (1854—1912), которого в начале века, наряду с Х.Лоренцем (1853—1928) и Эйнштейном (1879—1955), относили к отцам СТО.

“В 1895 г. Пуанкаре напечатал серию статей по “теориям Максвелла”, а в период с 1897 по 1900 г. написал несколько статей по теории Лоренца. Кульминацией стали две работы, законченные им в 1905 г. Они имеют одинаковое заглавие: “О динамике электрона”. Наличие слова “динамика” очень примечательно. Так же примечательна и следующая хронология: 5 июня 1905 г. — Пуанкаре докладывает первую из указанных статей в Академии наук в Париже; 30 июня 1905 г. — журнал “Annalen der Physik” получает первую статью Эйнштейна по теории относительности...” [136, с. 127]. В июньской статье (1905) Пуанкаре пишет: “Невозможность показать опытным путем абсолютное движение Земли представляет собой, по-видимому, общий закон природы”, — и затем, ссылаясь на Лоренца, говорит о “полной невозможности обнаружить абсолютное движение”. “В работе 1904 г. Пуанкаре рассматривает ситуацию с двумя наблюдателями, равномерно движущимися друг относительно друга и пытающимися синхронизовать свои часы при помощи световых сигналов. “Выверенные таким способом часы будут показывать не истинное время, а так называемое местное время”. Каждому наблюдателю кажется, что у другого все явления протекают медленнее, причем это замедление одинаково для всех явлений, указывает Пуанкаре, и “как следует из принципа относительности,

[у наблюдателя] не будет никакого средства узнать, находится ли он в покое или в абсолютном движении” [136, с. 126].

Что касается второй альтернативы, то Эйнштейн решил менять уравнения Ньютона, прибавив к этому, что оказалось еще более важным, изменение процедур измерения (т.е. пошел по кинематическому пути, а не по динамическому, как Пуанкаре).

Этот выбор лежал в основе знаменитой статьи Эйнштейна 1905 г. “К электродинамике движущихся тел”, где специальная (частная) теория относительности (СТО) была сформулирована почти в полном виде<sup>1</sup>.

В основе его специальной теории относительности (СТО) лежали два постулата:

1. *Все законы физики имеют одинаковый вид во всех инерциальных системах отсчета.* “... Для всех координатных систем, для которых справедливы уравнения механики, справедливы одни и те же электродинамические и оптические законы”.

2. *Скорость света постоянна во всех инерциальных системах отсчета.*

*Главные следствия СТО, сделавшие ее столь знаменитой — сокращение длин и замедление времени (описываемых преобразованием Лоренца), обсуждение процедур измерения расстояний и времени, относительность одновременности событий в удаленных точках пространства и вопрос о связи пространства и времени, а также увеличение инертной массы в движущейся системе координат*

<sup>1</sup> Статья Эйнштейна была опубликована в ведущем физическом журнале того времени “Annalen der Physik”. И тем не менее только благодаря интересу проявленному со стороны М.Планка она сравнительно быстро стала предметом обсуждения очень узкого, но влиятельного круга физиков. В июле 1907 г. Планк писал Эйнштейну: “Сегодня, когда сторонников СТО можно пересчитать по пальцам...” И это несмотря на то, что к этому времени (в 1904—1905 гг.) Х.Лоренц и А.Пуанкаре сформулировали, соответственно, принципы инвариантности уравнений электродинамики относительно преобразований Лоренца и общий принцип относительности (невозможно обнаружить абсолютное равномерное прямолинейное движение, исходя из представлений об эфире и уравнений Максвелла-Лоренца), чем внесли значительный вклад в теорию относительности.

и эквивалентность энергии и массы, выраженное знаменитой формулой:  $E = mc^2$ .

Последние два эффекта относятся к динамическим и связаны с изменением уравнений (“законов”) движения.

Первые — кинематические, ибо вытекают из изменения процедур измерения. Эйнштейн, в отличие от Лоренца, пошел по пути кинематики, а не динамики<sup>2</sup> и обратился к анализу процедур измерения<sup>1</sup> расстояний, отрезков времени, одновременности событий (синхронизации часов) в различных точках пространства. Суть этих изменений — в изменении главного эталона (главное качество эталона — неизменность при перемещении). Главный эталон в классической физике — метр, предполагающий существование неизменного твердого тела. Главный эталон в теории относительности Эйнштейна — неизменная скорость света  $c$ . Поскольку именно кинематические эффекты определяют лицо СТО, то начнем с них.

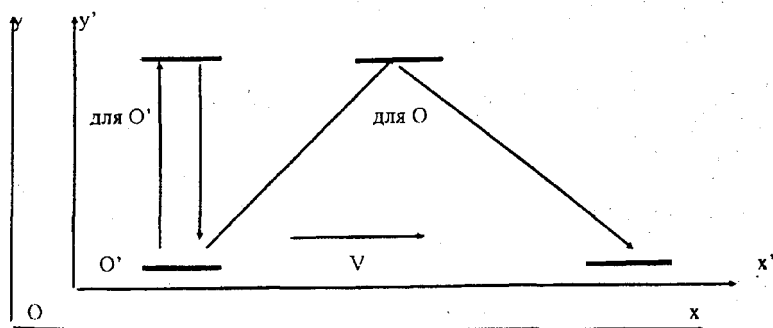


Рис. 5.1

<sup>2</sup> Одним из вариантов решения этой проблемы был динамическим: в 1892 г. была введена гипотеза о сокращении Фицджеральда-Лоренца (второго порядка по  $v/c$ ) длины вдоль направления движения, которую Лармор связал с преобразованиями Лоренца. Отметим, что эта гипотеза была выдвинута в рамках характерной для 19 в. эфирной формулировки этой проблемы и связанными с ней опытами Майкельсона и Морли.

Наиболее просто понять суть кинематических эффектов на примере *эффекта замедления времени*.

Для этого соорудим световые часы следующего типа (рис.5.1). Возьмем вместо маятника импульс света, колеблющийся с полупериодом  $\tau = L/c$  между двух параллельных зеркал, расположенных на фиксированном расстоянии  $L$  друг от друга. Расположим эти часы в системе  $O'$  (в "вагоне поезда") так, чтобы направление луча было перпендикулярно направлению скорости движения системы отсчета  $O'$ . Тогда расстояние  $L$ , будет одинаково в обеих системах отсчета, но для системы  $O$  ("перон вокзала") за полупериод зеркала сместятся по оси  $x$  на расстояние  $Vt$  и луч будет двигаться по диагонали прямоугольного треугольника со сторонами  $L = \tau c$  и  $\tau V$ .

В результате, с точки зрения системы  $O$  ("перон"), часы в системе  $O'$  ("вагон") будут идти в  $\beta = (1 - V^2/c^2)^{-1/2}$  раз медленнее. В силу принципа относительности (инвариантности всех физических явлений относительно перехода от одной инерциальной системы отсчета к другой) такое же замедление будет и для времени отсчитываемого по часам с другим механизмом — скажем, атомным часам.

В качестве экспериментального подтверждения этого эффекта часто приводят пример распада мю-мезонов (мюонов) — элементарных частиц, приходящих к нам из космоса. Их среднее время самопроизвольного распада  $2,2 \times 10^{-6}$  сек. При таком кратком времени жизни мюоны, приходящие вместе с космическими лучами, не могут пройти больше 600 м, даже если они движутся со скоростью света. Но, хотя мюоны возникают у верхних границ атмосферы на высоте 10 км и выше, их все-таки обнаруживают в земных лабораториях. Как это может быть? Ответ состоит в том, что некоторые мюоны летят со скоростями, близкими к скорости света настолько, что по часам, связанным с мюонами они живут всего лишь около 2 мксек, а по нашим — в тысячи и более раз дольше.

Отметим, однако, что, с другой стороны, эффект замедления времени порождает теоретический "парадокс близнецов" (его решение, возможно, ведет к новым вариантам теории относительности). Этот парадокс состоит в следующем. Пусть один из двух близнецов —  $O'$  садится в ракету и в течении, скажем, 50 лет путешествует в ней с околосветовой скоростью такой, что с точки зрения оставшегося брата  $O$  он состарился всего на 5 лет. Учитывая, что в силу принципа относительности с точки зрения

брата  $O'$  все выглядит наоборот, кто из них будет стариком, если они встретятся? Для этого, правда, надо сделать траекторию ракеты замкнутой, и следовательно включить ускоренные участки, выходящие за область применимости СТО, но, как указывают выкладки общей теории относительности и некоторые эксперименты [153], ускорение, во всяком случае определенным образом сконструированное, мало влияет на эффект замедления времени. Некоторые авторы утверждают, что этот парадокс разрешаем в рамках ОТО, если корректно поставить задачу [41]. Другие предлагают вернуться к абсолютному времени и пространству Ньютона, обращаясь к фону далеких звезд и реликтовому излучению как абсолютной системе отсчета [153].

Но, пожалуй, центральным пунктом в СТО является эффект относительности одновременности (рис.5.2.).

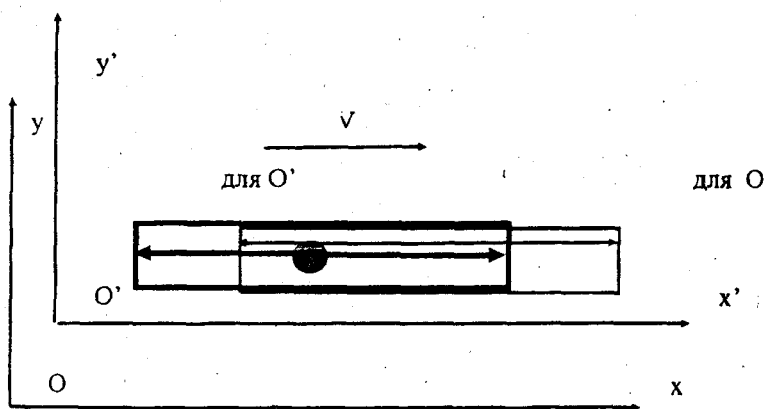


Рис. 5.2

“Пусть человек, движущийся в космическом корабле (система  $O'$ ), установил в двух концах корабля часы... Как синхронизовать ход часов?... Расположимся... посередине между часами. Из этой точки пошлем в обе стороны световые сигналы. Они будут двигаться в обе стороны с одинаковой скоростью и достигнут обоих часов в одно и то же время. Вот этот-то одновременный приход сигналов и можно применить для согласования хода часов. Положим, что человек в системе  $O'$  таким способом согласует ход часов. Посмотрим, согласится ли наблюдатель в системе  $O$ , что эти часы идут одинаково... Наблюдатель в системе  $O$

сразу рассудит, что раз корабль движется, то часы на носу корабля удалились от светового сигнала и свету пришлось пройти больше половины длины корабля, прежде, чем он достиг часов; часы на корме, наоборот, двигались к световому сигналу — значит, его путь сократился...Итак...в другой системе координат одинаковым  $t'$  отвечают разные значения  $t$ !" [180, т. 2, с. 17-18].

В этом и состоит суть "эффекта" "связи пространства и времени" в теории относительности в формулировке Г.Минковского: "Отныне пространство само по себе и время само по себе должно обратиться в фикции и лишь некоторый вид соединения обоих должен еще сохранять самостоятельность" [124, с. 167]. Это высказывание было подхвачено Эйнштейном и многими видными учеными. Но, во-первых, даже в 4-мерной геометрии Минковского четвертое измерение, связанное с временем, выделено. Но главное, 4-мерная геометрия Минковского — это лишь математическое представление, которое используется как более удобное (чем язык дифференциальных уравнений, использующийся в нерелятивистской механике) для записи *нового релятивистского уравнения движения*. В *модельном же слое остаются прежние тела и электромагнитные поля*. "Первая часть замечания Минковского, — говорит Г. Рейхенбах — известный философ, занимавшийся логическим анализом ТО, — оказалась, к несчастью, причиной ошибочного впечатления о том, что все наглядные представления о времени как времени и о пространстве как пространстве должны "обратиться в фикции". На самом деле относительность одновременности приводит к сопряжению пространственных и временных измерений..." [155, с. 180].

Релятивизация понятия одновременности, пожалуй, наиболее существенное изменение в привычных представлениях о пространстве и времени. Она интенсивно обсуждается в философии науки, порождая порой необоснованные натурфилософские построения. Одним из характерных для физики XX в. факторов, провоцирующих на это, является используемая терминология. В математическом слое теории относительности часто используют понятие "4-мерного события", ("точечного события"), описывающего "нечто, происходящее в данной точке пространства в данный момент времени (например, выстрел, распад элементарной частицы)" [184, с. 508] или просто нахождение частицы в данном месте.

“Событие определяется местом, где оно произошло. Таким образом, событие происходящее с некоторой материальной частицей, определяется тремя координатами этой частицы и моментом времени, когда происходит событие” [93, т. II, с. 15]. Но никаких событий, кроме перемещения тел и изменения полей в теории относительности не рассматривается.

Представление движения частицы как совокупности таких 4-мерных “событий” называют “мировой линией”. Удобство перехода на язык “событий” и 4-мерной геометрии Минковского состоит в том, что расстояния и интервалы времени в ТО зависят от системы отсчета, а их комбинация, равная разности квадратов времени (умноженного на скорость света) и расстояния между этими событиями:

$$s_{12}^2 = c^2(t_1 - t_2)^2 - [(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2],$$

называемая квадратом “интервала между двумя событиями”, — одинакова (инвариантна) для всех (инерциальных) систем отсчета (для распространения света  $s_{12}^2 = 0$ ).

Эта величина позволяет ввести удобную классификацию. Если  $s_{12}^2$  больше нуля, то существует такая система отсчета, в которой оба события произошли в одном и том же месте. Такой интервал называют “*времениподобным*”. Отметим, что два события могут быть *связаны причинным образом* друг с другом только в том случае, если интервал между ними “времениподобный”. Поскольку движение всех известных частиц происходит со скоростями меньше скорости света, то любые два события (две точки) “мировой линии”, отвечающей движению частицы, являются “времениподобными”.

Если  $s_{12}^2$  меньше нуля, то существует такая система отсчета, в которой оба события произошли в одно и то же время. Такой интервал называют “*пространственноподобным*”. Соответственно, относительно произвольного события  $O$  “световой конус”, выходящий из этого события, разбивает пространство событий на “*абсолютно прошедшие*”, “*абсолютно будущие*” (верхняя и нижняя внутренние части светового конуса) и “*абсолютно удаленные*” (внешние части светового конуса) *по отношению к событию  $O$*  (рис. 5.3).

Все эти свойства — следствие принятых в теории относительности процедур измерения, использующих в качестве основы скорость распространения света.

Теперь перейдем к *динамическим* эффектам.

В релятивистском случае некорректно пользоваться понятием дальнедействующей силы, поскольку она предполагает мгновенность распространения взаимодействий. Поэтому СТО адекватны полевые модели взаимодействий. Если

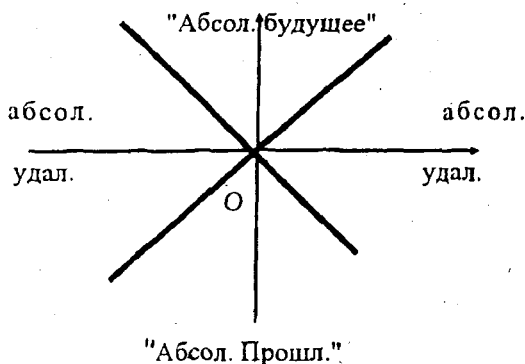


Рис. 5.3

же полей нет, то релятивистская механика ограничивается рассмотрением столкновений частиц.

Уравнения движения релятивистской механики, по сути, получаются, исходя из двух постулатов: требования лоренц-инвариантности (инвариантности относительно преобразований Лоренца) — математического выражения 1-го постулата Эйнштейна — и перехода в уравнения классической ньютоновской механики в пределе малых скоростей [93, т.2]. При этом здесь используется характерный для неклассической физики метод “затравочной классической модели”, в наиболее развернутой форме представленный в квантовой механике. Его реализация в СТО выглядит следующим образом. Берется “затравочная” классическая модель (из физики Ньютона и Максвелла) и за счет изменения в математическом слое (Мат-слой на сх.3.1) математического образа “затравочной” классической системы ей придается неклассическое поведение.

Поскольку понятие силы в релятивистском случае некорректно, то исходят не из уравнений Ньютона, а из эквивалентного ньютоновскому лагранжевского математического представления. В нем математическим образом частицы (системы частиц) является так называемая функция Лагранжа  $L = T - U$ , где  $T$  — кинетическая, а  $U$  — потенциальная энергии системы. В отсутствии полей  $U=0$ . Накладывая на эту функцию указанные два требования, получают, что, с точностью до несущественной для динами-

ческих свойств постоянной,  $L = -mc^2(1 - v^2/c^2)^{1/2}$ , где  $v$  — скорость частицы.

Из этого следуют выражения для импульса и энергии частицы:

$$p = \partial L / \partial v = mv(1 - v^2/c^2)^{-1/2};$$

$$E = pv - L = c^2m(1 - v^2/c^2)^{-1/2}.$$

Поскольку, по определению, импульс считается пропорциональным скорости, а коэффициент пропорциональности называется массой, то получается выражение для релятивистской массы, зависящей от скорости  $mv = m_0(1 - v^2/c^2)^{-1/2}$ , где  $m_0$  — так называемая масса покоя, т.е. масса при  $v = 0$ .

То есть чем выше скорость, тем больше инертная масса и тем тяжелее увеличить скорость частицы. Поэтому никакая частица (тело) не сможет достигнуть скорости света, если она обладает массой покоя.

Из двух последних выражений следует знаменитая формула Эйнштейна  $E = m_0c^2$  (подробно обсуждающаяся в [133]), утвердившая эквивалентность массы и энергии (нам представляется, что это утверждение является особым постулатом) и ставшая основой теоретических оценок энергии, выделяемой при термоядерных реакциях.

Итак, в релятивистской механике (СТО) на уровне физических моделей система и состояния системы остаются теми же, что и в нерелятивистской ньютоновской механике. Меняются же процедуры измерения и уравнение движения вместе с математическим представлением системы и ее состояний (последнее строится на основе 4-мерной геометрии Минковского). Это утверждение в основном можно распространить и на созданную А.Эйнштейном в 1915 г. общую теорию относительности (ОТО), где основой математического представления служит еще более сложная 4-мерная геометрия -геометрия Римана. Поэтому утверждение Л.И.Мандельштама, что название "теория относительности" лучше заменить на "теория пространства-времени", — неверно. С точки зрения физической модели, ни специальная, ни общая теории относительности не яв-

ляются теорией пространства-времени. Специальная теория относительности (СТО) рождается как обобщение галилеевско-ньютоновского “принципа относительности”. Общая теория относительности (ОТО) для Эйнштейна есть дальнейшее расширение принципа относительности на системы отсчета, движущиеся ускоренно и в поле сил тяготения (для неинерциальных систем отсчета), и построение — *релятивистской теории тяготения*.

## 5.2. Общая теория относительности (ОТО) и другие релятивистские теории гравитации

Ситуация, складывающаяся вокруг ОТО, является замечательным материалом для применения науковедческих моделей Т.Куна и И.Лакатоса, рассмотренных в последней главе. Поэтому, наряду с наиболее известной эйнштейновской ОТО, мы рассмотрим и две другие альтернативы релятивистской теории гравитации — полевую и эфирную.

“Специальная теория относительности основывается на твердой экспериментальной основе, в которой опыт Майкельсона и Морли (результаты которого замечательно согласуются со СТО и противоречат выводам ее предшественниц — А.Л.) является только отдельным элементом. Со всем не так обстоит дело в случае общей (теории) относительности, объединяющей гравитацию и относительность. ... (Здесь) возможен и другой (по сравнению с эйнштейновским — А.Л.) выбор и многочисленные теории ... конкурируют с концепцией общей (теории) относительности” — заявил в своем резюме обзорного доклада по экспериментальной проверке специальной и общей теории относительности проф. Х.Маршал на “XXIII международном семинаре по фундаментальным проблемам физики высоких энергий и теории поля” в Протвино в июне 2000 г. [238].

На самом деле ОТО и ее конкуренты находятся в разных “весовых категориях”. Подавляющее число физиков, занимающихся этими вопросами, работают в рамках ОТО. Соответственно несоизмеримы и степень разработанности и количество решаемых задач в рамках ОТО и ее альтернатив. Сторонники ОТО периодически сравнивают свои достижения с достижениями альтернативных теорий и де-

монстрируют свое подавляющее превосходство [176, 13, 52]. Более того, утверждается, что “ОТО более двадцати пяти лет тому назад превратилась в инженерную дисциплину для высокоточной космической навигации” [22, с.751] (например, при учёте релятивистских поправок при радиоизмерениях радиальной скорости и дальности [106]). Правда, скорее всего многие из этих результатов можно было бы получить и на основе рассматриваемых ниже альтернатив ОТО. Явления, которые предсказывает только ОТО и которые являются ее визитной карточкой — это рассматриваемый ниже космологический сценарий “Большого взрыва” и “гравитационный коллапс” (оба этих явления связаны с сингулярностью решений уравнений ОТО).

Рассмотрение явления так называемого гравитационного коллапса (сжатия) звезды в “черную дыру”, когда поле тяготения столь велико, что даже свет не может преодолеть его притяжения (это происходит, когда радиус звезды достигает радиуса сферы Шварцшильда  $r_g = 2GM/c^2$ , где  $M$  — масса звезды,  $G$  — гравитационная постоянная,  $c$  — скорость света; для Солнца  $r_g = 3$  км, для Земли  $r_g = 0,44$  см), кроме того, демонстрирует еще одну специфическую черту ОТО — разные точки пространства имеют свое собственное время и свою метрику, зависящие от поля тяготения. Рассматривая явления в системах отсчета внешнего наблюдателя и наблюдателя, находящегося внутри сферы Шварцшильда, мы получим, что “по часам  $t$  удаленного наблюдателя радиус сжимающегося тела лишь асимптотически при  $t \rightarrow \infty$  стремится к гравитационному радиусу... Приближение к гравитационному радиусу, требующее бесконечного времени по часам внешнего наблюдателя, занимает лишь конечный интервал собственного времени (время в сопутствующей телу системе отсчета)... Достигнув (по собственному времени) гравитационного радиуса, тело будет продолжать сжиматься, причем все его частицы достигнут центра за конечное собственное время. Этот процесс, однако не наблюдаем из внешней системы отсчета;... из-под шварцшильдовской сферы не выйдут... никакие сигналы... Все процессы на теле по отношению к внешнему наблюдателю “застывают”” [93, т.2, с. 384-385].

1. Эйнштейновская модель гравитации как “искривления пространства-времени”, известная как “общая теория относительности” (ОТО), не отменяет СТО, а продолжает ее. Общепринято, что в ней Эйнштейн вместо ньютоновской силы тяготения (гравитации) вводит “искривление

пространства-времени". Рассмотрим это утверждение более тщательно.

Физическая модель силового поля (или силы) предполагает использование концепции "свободного" ("естественного") движения пробного тела (как правило, это галилее-ньютоновское равномерное прямолинейное движение) и отклонения от него. Силовое поле (или сила) появляются как причина этого отклонения.

В эйнштейновской ОТО при рассмотрении движения тел можно не вводить понятия "отклонения", а следовательно и понятия силы и силового поля. Вместо этого здесь можно непосредственно рассматривать сложное "естественное" движение, фиксируемое в математическом слое так называемыми "геодезическими линиями" в четырехмерной геометрии Римана<sup>3</sup>, в которой, в отличие от геометрии Минковского, кривизна не постоянна (равна нулю), а зависит от распределения масс и энергий в пространстве.

Что же понимается под гравитационным полем в ОТО? Мне представляется, что под этим названием здесь сосуществуют понятия полей двух разных типов. Первый — это математическое поле кривизны (или метрического тензора, или символов Кристоффеля) в 4-мерном пространственно-временном многообразии Римана. Это поле задает отклонение от "плоского" 4-мерного пространства-времени Минковского. Второй — это физическое ньютоно-максвелловское силовое поле, сочетающее ньютоновскую идею гравитационной силы с принципом фарадее-максвелловского близкодействия, включая использование пробных тел для измерения.

Физики-теоретики, занимающиеся ОТО, часто отождествляют гравитационное поле с первым. Мы полагаем, что

<sup>3</sup> История возникновения ОТО связана с размышлениями Эйнштейна над пропорциональностью масс в законах инерции и всемирного тяготения Ньютона, которые навели его на знаменитый принцип эквивалентности, состоящий в "физической равноценности гравитационного поля и соответствующего ускорения системы отсчета". "В свободном падении человек не ощущает своего веса". Я был поражен. Эта простая мысль произвела на меня огромное впечатление. Развив ее, я пришел к теории тяготения" [136, с. 172].

это поле является лишь математическим образом второго, что вытекает из анализа постановки и решения задач, выходящих на эксперимент. В центре внимания такого анализа — границы между теоретической и нетеоретическими частями (сх. 3.1), поскольку именно на них выявляется то, что относится к физической модели.

В целом процедура постановки и решения задач в ОТО выглядит следующим образом. Берут “затравочную классическую систему”, которая состоит из одного или нескольких выделенных изучаемых тел (или непрерывной среды) и источников гравитационного поля — массивных тел и прочих полей (т.е. энергий и импульсов), распределенных в обычных трехмерном пространстве и одномерном времени. При этом *состояние* выделенных изучаемых тел (или непрерывной среды) задается как в классической механике (или как в гидродинамике и электродинамике) — их положениями и импульсами в обычном 3-мерном пространстве и обычном времени, а состояние гравитационного поля определяется ускорениями и рядом пространственных производных ускорения пробного тела в различных точках пространства. Т.е. тип системы напоминает электродинамику (ср. [42, с. 143]), что естественно, поскольку модель ОТО складывалась на базе моделей Ньютона, Фарадея-Максвелла (и идей Минковского, которые, как мы пытаемся показать, относятся не к модельному, а к математическому слою).

Затем составляют для нее соответствующие ОТО математические образы, используя язык 4-мерного пространства-времени Римана и получают нужное уравнение движения. Окончательный же результат (то что превращается в эксперимент) в конце концов *всегда* представляют на языке движения тел в обычных трехмерном пространстве и одномерном времени.

Эту ситуацию очень красиво фиксирует замечание крупного геоботаника и разностороннего ученого С.В.Мейена: “Физики-теоретики ... успешно оперируют единым пространством-временем. Все же и от них (можно услышать), что расширение вселенной началось 15-20 млрд. лет назад... (Т.е.) говорили они не о каком-то едином пространстве-времени в неведомых простому смертному единицах, а о привычном времени в годах”.[118, с.312].

Действительно, если обратиться к описанию таких специфических для ОТО явлений, как “гравитационный коллапс” и гравитационные волны, то мы встретим следующие описания.

Гравитационный коллапс — это “процесс гидродинамического сжатия тела под действием собственных сил тяготения” [184, с.137] в обычных трехмерном пространстве и одномерном времени (приблизительно то же мы найдем в [93, т.2, с. 384-385; 12 П]).

Гравитационные волны — это “переменное гравитационное поле, которое излучается ускоренно движущимися массами, ”отрывается” от своего источника и, подобно электромагнитному излучению, распространяется в пространстве со скоростью света” [184, с.137]. “Гравитационную волну можно рассматривать как гравитационное поле, движущееся в пространстве. Такая волна должна была бы оказывать силовое воздействие на объекты, обладающие массой” — пишет Дж. Вебер [42, с. 179]. Правда, затем он добавляет: “Физик-релятивист говорит о гравитационной волне как о распространении кривизны пространства-времени”, но тут же уточняет, что “более точным было бы, по-видимому, такое определение: гравитационная волна — это возмущение гравитационного поля, распространяющееся с конечной скоростью и несущее с собой энергию”. В [22], с одной стороны, “гравитационная волна” представляется как “рябь на статической кривизне” (имеется в виду кривизна в 4-мерном пространстве-времени Римана). Но когда говорят о ее источнике и конструировании прибора для регистрации в конкретном эксперименте, то речь уже идет о “распространении” в обычном пространстве и времени “градиента ускорений”, источником которого являются вращающиеся (в обычном пространстве и времени) двойные звезды, а приемником — разнесенные в обычном пространстве тела, взаимное смещение, которых “вызвано переменной силой (гравитации — А.Л.)”.

Приводимые в оправдание таких описаний ссылки на необходимость все измерения выражать на “классическом” языке, с нашей точки зрения, не выдерживают критики, поскольку существуют описания последовательных процедур измерения величин фигурирующих в геометрии пространства времени Римана. Потенциал человеческого языка и мысли велик и понятие “классического” исторично. Яркий пример — история формирования понятия электромагнитного поля (более подробно этот вопрос обсуждается в следующей главе). Неверными нам представляются и ссылки на то, что такие непоследовательные описания являются приближениями и упрощениями, поскольку точность этих описаний ничем не ограничена.

Причина этой непоследовательности, непризнаваемой или незамечаемой многими физиками, лежит в том, что они не замечают принципиальную разницу между моделью типа “клиффордской” кривизны в 3-мерном пространстве и кривизной в 4-мерном пространственно-временном многообразии Римана.

В 1876 г. в статье “О пространственной теории материи” известный английский математик В.Клиффорд сформулировал своеобразный манифест, в котором вместо сил и частиц фигурировали искривления пространства. В своей “субстанциональной” концепции

пространства он полагал: 1. Что малые участки пространства действительно аналогичны небольшим холмам на поверхности, которая в среднем является плоской, а именно, там несправедливы обычные законы геометрии. 2. Что это свойство искривленности или деформации непрерывно переходит с одного участка пространства на другой наподобие волны. 3. Что такое изменение кривизны пространства и есть то, что реально происходит в явлении, которое мы называем движением материи, будь она весомая или эфирная" [71, с. 36]. ОТО оставляет прежним понятие частицы и электромагнитного поля, и сводит к искривлению лишь силы тяготения. В этом случае в модели Клиффорда переменное гравитационное поле представлялось бы как изменение такой "искривленности пространства" ("холма") в обычном пространстве. При этом понятие "искривления пространства" предполагает сравнение с плоским (евклидовым) пространством.

Модель Клиффорда (точнее лишь натурфилософская программа) относится к слою физических моделей. Но пафос клиффордовской модели был направлен против модели вещественного эфира. И в этом плане при сравнении с послемаксвелловскими моделями невещественного силового поля, разница между ними существенно стирается и начинает видеться общее — все они являются "полями отклонений". При этом "отклонение" всегда можно проинтерпретировать как какую-то силу (возможно, неизвестную). Поэтому модели невещественного силового поля и поля "клиффордовских" искривлений легко переходят друг в друга. Но поскольку "клиффордовская" модель не дает преимуществ в сравнении с невещественным силовым полем, то она была вытеснена последним

Итак, мы полагаем, что в ОТО, так же как и в СТО серьезные изменения по сравнению с классической ньютоновской механикой (и гидродинамикой) происходят в процедурах измерений (в описанном выше изменении главного эталона) и уравнениях движения<sup>4</sup>. Но в слое физических моделей перемены не столь радикальны, как об этом часто говорят. В модельном слое остается прежняя ньютоновская по своей сути основная модель движения тел в обычном пространстве и времени и восприятие ускорения как отклонения от "естественного" "свободного" движения, причиной которого является силовое поле. Что касается кривизны в 4-мерном пространственно-временном многообразии Римана, то она стала новой "темой" в

<sup>4</sup> Новой кинематической чертой ОТО, по сравнению с СТО, является то, что каждая точка пространства имеет свое собственное время и свою метрику.

смысле Дж. Холтона [193], но существует только в *математическом* слое — это *математический образ гравитационного поля*<sup>5</sup>, используемый в “уравнении движения” (в смысле сх. 3.1). Такая модель работает как в случае слабых, так и в случае сильных полей.

То, что эту кривизну *можно* померить, пока ничего не меняет, поскольку это на практике не реализуется. Так последовательный с точки зрения ОТО проект измерения непосредственно в 4-мерном пространстве-времени Римана, описанный в [115], настолько умозрителен и сложен для воплощения, что, естественно, нигде реально не используется. Такая последовательная с точки зрения Эйнштейна “исследовательская программа” (в терминологии И.Лакатоса, описанной в последней главе) не выдерживает конкуренции с описанным нами и реально применяемым на деле более простым подходом с более простыми физическими моделями (где 4-мерное пространство-время Римана относится лишь к математическому слою), дающим те же результаты. Лежащий в основании ОТО *принцип эквивалентности* систем отсчета, находящихся в однородном гравитационном поле и движущихся с ускорением, делает эквивалентными в плане своих проявлений модели искривления пространства и времени и описанной выше модели силового гравитационного “ньютоно-максвелловского” поля. Но последняя проще и обеспечена описанием соответствующих процедур “приготовления” и измерения. Поэтому пока первая служит лишь ее математическим образом, с помощью которого задается необходимое уравнение движение. Поскольку физики-теоретики занимаются составлением и решением этих уравнений, они погружены в этот красивый математический мир пространства-времени Римана. Но для понимания, как получаемых ими наблюдаемых результатов, так и лежащих в их основании механизмов этого не требуется (сравните приведенные выше описания гравитационного коллапса и гравитационных волн, и приведенный ниже сценарий “Большого взрыва”).

<sup>5</sup> Здесь проглядывается некоторая аналогия с волновой функцией в квантовой механике в плане сложности связи между величинами, характеризующими состояние системы и их математическими образами.

2. Теперь рассмотрим модель гравитационного поля. Наиболее известным современным представителем последней является “релятивистская теория гравитации” (РТГ) А.А.Логанова [107], которая, по его словам, является “объединением идеи Пуанкаре о гравитационном поле [149] как о физическом поле в духе Фарадея-Максвелла с идеей Эйнштейна о римановой геометрии пространства-времени. Уравнения в данной теории существенно отличаются от уравнений Гильберта-Эйнштейна, поскольку в ней сохранено понятие инерциальной системы координат, а силы гравитации в принципе отличаются от сил инерции, т.к. они вызваны физическим полем....

Возникает вопрос: какие опытные факты необходимы, чтобы можно было однозначно сказать о характере геометрии (т.е. выбрать между теорией Эйнштейна и предлагаемой Логановым — АЛ.)? По нашему мнению, такими фактами могут быть фундаментальные законы сохранения энергии-импульса и момента количества движения.... Это и приводит нас к псевдоевклидовой геометрии пространства-времени (т.е. геометрии Минковского, геометрии специальной теории относительности. — АЛ.) как самой простейшей.

Таким образом, при установлении структуры геометрии пространства-времени естественно исходить не из частных опытных фактов (например, движения света и пробного тела), а из фундаментальных физических принципов, выведенных из обобщения многочисленных опытных данных, относящихся к различным формам материи.

В основе РТГ лежит специальная теория относительности, что означает, что пространство Минковского (псевдоевклидова геометрия пространства-времени) есть фундаментальное пространство для всех физических полей, в том числе и для гравитационного. Это положение является необходимым и достаточным, чтобы имели место как законы сохранения энергии— импульса, так и закон сохранения момента количества движения для вещества и гравитационного поля, вместе взятых”.

“Согласно этой теории гравитации, однородная и изотропная Вселенная развивается циклически от большой плотности до минимальной и т.д., и может быть только плоской. Теория предсказывает существование во Вселенной значи-

тельной скрытой массы вещества. Существование во Вселенной "черных дыр" полностью исключается (хотя их существование не имеет пока прямых абсолютно достоверных экспериментальных подтверждений, сторонники ОТО утверждают, что существует по крайней мере 11 объектов, которые с очень большой достоверностью являются черными дырами [196], поскольку их поведение хорошо описывается в рамках модели пары звезд, одна из которых — "черная дыра" и не описывается в рамках других теоретических моделей — А.Л.). Теория объясняет все известные наблюдательные факты в Солнечной системе" [107, с. 188-189 и 187].

Таким образом, Логунов кладет в своей РТГ в качестве основания *законы сохранения* вместо эйнштейновского принципа эквивалентности инертной и тяжелой (гравитационной) массы. А почему бы и нет? Если мы вспомним логику работ Ньютона, так ведь он создавал законы динамики и закон тяготения совместно для решения одной задачи — создать теорию, из которой бы вытекали законы Кеплера для движения планет. Поэтому его законы динамики и тяготения тесно связаны, и пропорциональность между инерционной и гравитационной массами вытекает из этой связи через законы Кеплера. Поэтому в моделях Ньютона или Логунова, моделях с силой или полем тяготения эта пропорциональность существует, но она не означает эйнштейновский принцип эквивалентности инерционной и гравитационной масс. Для них "силы гравитации принципиально отличаются от сил инерции" [107].

3. В [206] утверждается, что могут быть построены современные *эфирные* теории гравитации, которые будут совместимы со всеми важнейшими современными экспериментальными фактами, может быть даже со всеми. Их исходная точка — "теория эфира Лоренца-Пуанкаре (см. [149] — А.Л.), т.е. теория, согласно которой эфир является такой инерционной системой отсчета, что в ней справедливы уравнения Максвелла и любые материальные объекты испытывают "реально" лоренцево сокращение, если они двигаются сквозь эфир... теория эфира Лоренца-Пуанкаре может критиковаться только по тем причинам, которые делают ее эквивалентной стандартной специальной теории от-

носительности, а именно, за необнаружимость эфира: таким образом, любая инерциальная система отсчета может быть выбрана в качестве эфира. Это может вести к эйнштейновскому мнению 1905 г., согласно которому "введение светоносного эфира пока представляется излишним". Но специальная теория относительности не включает гравитацию. Следовательно, экспериментальная поддержка специальной теории относительности, как таковая, не накладывает больших ограничений на теорию гравитации: можно определить очень широкий класс "релятивистских" модификаций ньютоновской гравитации, при условии, что любая из них сведется к специальной теории относительности при исчезновении гравитационного поля... Если так определить "релятивистский" характер теории гравитации, ничто не запрещает, чтобы такая теория могла иметь а priori привелигированную систему отсчета — таким образом уничтожая не только явную форму принципа относительности..., но и сам ее дух. Сегодня физические резоны искать такие "эфирные теории гравитации" идут от А) желания примирить квантовую физику с теорией гравитации (квантовая механика и квантовая теория поля были созданы в плоском пространстве времени и фактически нуждаются в выделенной временной координате... Более того, квантовая теория показывает, что то, что мы называем "вакуумом", наделяется физическими свойствами (ср. эффект Казимира, ...), что делает его подобным эфиру; и от Б) от трудностей в самой ОТО ((i) сингулярности имеющей место при гравитационном коллапсе..., (iii) необходимости галактической скрытой массы, чтобы объяснить движение звезд в галактиках...).

В эфирной теории гравитации [206] гравитационные силы приблизительно интерпретируются как архимедовская сила выталкивания в жидком эфире в скалярной эфирной теории гравитации. Усредненное движение этой жидкости определяет выделенное тело отсчета или "макроэфир", который играет роль твердого эфира Лоренца-Пуанкаре". Соответственно там нет "парадокса близнецов".

Таким образом, во всех трех моделях в модельном слое мы имеем тела в классическом 3-мерном пространстве и обычном времени.

### 5.3. Современная космология — пример использования существующих ПИО

Продемонстрируем насколько проще воспринимаются результаты использования уже существующих “первичных идеальных объектов”, чем осознаются новые “первичные идеальные объекты”. Сделаем это на примере вроде бы весьма сложной темы — современной космологии.

Первый акт современной космологии связан со сценарием Большого взрыва. Основная его часть весьма проста, но применяемый подход вызывает непростые вопросы, поэтому мы его отложим до следующего параграфа. А здесь продемонстрируем модель (теорию) эволюции звезд, начиная с фазы существования межзвездного газа.

“Звезды начинают образовываться в результате развития флуктуаций плотности в исходном облаке межзвездного газа. Образовавшиеся комки вещества продолжают сжиматься под действием сил гравитации. Для того, чтобы этот процесс мог привести к образованию звезды, необходимо, чтобы масса комка была достаточно большой... На ранней стадии эволюции звезда представляет собой газовый шар достаточно большой массы и большого размера, который продолжает сжиматься за счет гравитационных сил. При этом шар излучает энергию за счет энергии гравитации. Звезда сжимается, увеличивая среднюю плотность и температуру в центре.

Это происходит до тех пор, пока температура не поднимется настолько, что в центре звезды начнутся термоядерные реакции с выделением энергии, и силы теплового давления не скомпенсируют силу гравитационного сжатия. Звезда вступает на этой стадии в наиболее длительный и спокойный период своей жизни (исходный газ, из которого образуются протозвезды, состоит примерно на три четверти из водорода и на одну четверть из гелия)...

Не очень массивная звезда на конечной стадии эволюции, когда ее ядерное топливо кончилось или почти кончилось, превращается в белого карлика, в котором гравитационные силы уравновешены холодным давлением ферми-газа электронов. Если масса больше некоторого предела, то белый карлик становится нестабильным... (и превращается в нейтронную звезду)... Если звезда достаточно массивна, ... ней-

тронная звезда становится неустойчивой... Все звезды с массой больше двух солнечных масс после того, как они закончат свою эволюцию, должны начать коллапсировать и уйти под шварцшильдовский радиус. Внутри сферы Шварцшильда материя... остановиться не может. Что будет в самой сингулярности, неизвестно... Во всяком случае снаружи от сколлапсировавшей звезды мы должны продолжать видеть "старое" поле тяготения Шварцшильда... Описанный объект принято называть черной дырой. Если вблизи нее есть газ (туманность или звезда, являющаяся источником газовых потоков), то этот газ будет втягиваться в дыру, исчезая в ней. В процессе падения (аккреции) газ должен разогреться и стать источником рентгеновского излучения. Именно по такому излучению пытаются искать черные дыры" [13, т. II, с. 23-27] (в [196] приводится 11 таких объектов).

Не очень массивные звезды, у которых в ходе эволюции (термоядерной реакции "горения" водорода и гелия) сформировалось сверхплотное СО-ядро с массой меньше или порядка 1,4 солнечных масс, взрываются, образуя вспышки так называемых "сверхновых звезд" [184, с. 656-657].

Если к этому добавить нижеследующие страницы описания "стандартной модели Большого взрыва", то мы получим на 2-3 страницах изложение существенных моментов передового края современной физики, использующего "первичные идеальные объекты" ОТО, термодинамики и теории элементарных частиц (релятивистской квантовой механики). Я полагаю, что это самые простые страницы из главы посвященной теории относительности, если не всей книги. Эта пропорция (и по объему и по легкости) дает представление о соотношении сложности постижения "первичных идеальных объектов" и того, что из них строится.

#### 5.4. Сценарий "Большого взрыва"

"Стандартная модель Большого взрыва" появилась следующим образом. Физики не избежали искушения применить уравнения ОТО к Вселенной в целом. И здесь их, во всяком случае Эйнштейна, ждал сюрприз. Оказалось, что решения уравнений Эйнштейна в предположении модели

однородной и изотропной Вселенной нестационарны (это в 1922 г. открыл молодой советский физик А.А.Фридман) и приводят к модели расширяющейся Вселенной (точнее, либо сжимающейся, либо расширяющейся, но после открытия явления “красного смещения” (эффета разбегания галактик [184]), выбрали последнее). Соответственно путь в обратном направлении по времени приводит, согласно законам термодинамики, к сверхплотным концентрациям энергии, при которой, согласно теории элементарных частиц, надо обращаться уже к ее моделям. Так возникла модель “Большого взрыва”, которая говорит приблизительно следующее:

Вначале был взрыв. Через 0,01 с. температура составляла  $10^{11}$  К, что отвечает энергиям при которых не могут существовать даже атомные ядра. Это был *мир фотонов и лептонов* (электронов, позитронов, нейтрино) с небольшой примесью нуклонов (протонов (p) и нейтронов (n)).

Далее температура быстро снижается и через 14 с. достигает  $3 \times 10^9$  К при которой электроны и позитроны начинают быстро аннигилировать и выходят из игры.

Через 3 минуты температура падает еще в 3 раза и начинают образовываться сложные *атомные ядра*, начиная с дейтерия (p+n). Затем из дейтерия образуется гелий. Вселенная в основном состоит из фотонов, нейтрино и антинейтрино с небольшой примесью ядерного материала.

Через несколько сот тысяч лет Вселенная остывает настолько, что появляются *атомы* водорода и гелия, т.е. газ<sup>6</sup>. Этот газ под воздействием сил гравитации образует сгустки, которые затем превращаются в *галактики и звезды* нынешней Вселенной (см.п.5.3). Звезды первого поколения начинают свою эволюцию с теми составными элементами, которые образовались (“были изготовлены”) в первые 3 минуты [25].

Такова “стандартная модель Большого взрыва” — космологический миф XX в.

Возникает вопрос — не является ли это эпическое полотно, по сути, натурфилософским мифом, который вместо

---

<sup>6</sup> Этому моменту (соответствующему 4000 К) приписывают образование так называемого “реликтового излучения”, обнару-

древних полубожественных элементов (земля, вода, воздух и огонь) использует другие — фотоны, лептоны, нуклоны..., заимствованные из физики? Основания для подобных подозрений есть<sup>7</sup>. Физика, как и инженерия, предполагает ограниченную “лабораторию”. Например 2-й закон термодинамики выведен по отношению к “рабочему телу”, находящемуся между холодильником и нагревателем (см. п.8.1). Подобные границы присутствуют и в других разделах физики.

В астрофизике, когда мы говорим об эволюции галактик и звезд, мы еще стоим на почве физики (за исключением, может быть, рассуждений о “черных дырах”). Исследуемые в астрофизике объекты выделяются лишь своими размерами, но они ограничены. В принципе, все используемые для их описания процессы и модели те же, что и в обычной “лабораторной” науке. Поэтому рассмотрение их как естественнонаучных явлений вполне логично. Хотя здесь уже возникают трудности ввиду невозможности поставить классический изолирующий эксперимент, предполагающий возможность приготовления исследуемой системы в исходном состоянии.

Принципиально иная ситуация возникает в Космологии XX в., где как к явлению подходят к Вселенной в целом. Не говоря о том, что в силу элементаристского характера всех разделов физики подходят элементаристски и к Вселенной в целом, что, как минимум, требует серьезного обсуждения, оставляя в стороне вопрос о том, что отсутствует квантовая теория гравитации и существуют сомнения в адекватности современной формы совмещения релятивистских и квантовых теорий (принципов), Вселенная в целом исключает клас-

женного в 1965 г. и представляющего сегодня равномерно распределенное по небесной сфере радиоизлучение, интенсивность которого соответствует излучению абсолютно черного тела при температуре 3 К [184, с.634-635].

7 “Что мы можем сказать о ранних стадиях эволюции Вселенной? Что можно сказать, сделав предположение (возмутительное!) о полноте и адекватности наших сегодняшних представлений о составе Вселенной? Несмотря на то, что было бы безумством воспринимать ответы на такие вопросы слишком серьезно, определенно имеется интересная проблема, достойная обсуждения. Получающийся сценарий называется “стандартной моделью Большого Взрыва” [12, с. 380].

сический изолирующий эксперимент в принципе! Здесь сомнительно соблюдение основных принципов связи теории и эмпирии, описанные во 2-й главе, как отличающие послегалилеевскую естественную науку от натурфилософии. Весьма ярко это проявляется в проблеме измерений.

Эволюция Вселенной, рассматриваемая как явление приводит к новой ситуации в отношении процедур измерения. Обычно в физике предполагается, что, в принципе, измерения возможно произвести в любой момент времени. Здесь же в ранние моменты не из чего делать приборы и эталоны. Все доступные измерения возможны только в наше время. В результате используемые при этом физические "первичные идеальные объекты", относимые к ранним моментам времени отрываются от эмпирического материала (сх.2.1) и мы возвращаемся к догалилеевской натурфилософии.

В свете вышесказанного сомнительно, что к Вселенной и ее эволюции можно подходить как к явлению, без создания новых "первичных идеальных объектов".

Эти проблемы наиболее ярко высвечиваются в квантовой космологии. "Основы квантовой космологии, говорит А.Д.Линде - разработчик одного из вариантов сценария раздувающейся Вселенной, - были заложены в конце 60-х гг. Уилером и Деวิตтом. Однако до создания сценария раздувающейся Вселенной описание всего мира в целом в рамках квантовой механики большинству специалистов казалось излишней роскошью... В стандартной теории горячей Вселенной... наблюдаемая часть Вселенной произошла за счет расширения области, которая всегда содержала примерно  $10^{87}$  элементарных частиц... Однако согласно сценарию раздувающейся Вселенной вся наблюдаемая часть Вселенной (а может быть и вся Вселенная) образовались за счет быстрого расширения области размером ...  $\sim 10^{-33}$  см, не содержащей, возможно, ни одной элементарной частицы! В этом случае на ранних стадиях расширения Вселенной квантовые эффекты действительно могут играть определяющую роль" [99, с.208]. С другой стороны, существует проблема введения времени в космологические теории. Дело в том, что в квантовой космологии "волновая функция Вселенной не зависит от времени". Лишь после того, как мы "разбиваем Вселенную на две части: на макроскопического наблюдателя с часами и на все остальное, - говорит А.Д.Линде, - это "все остальное" вполне может развиваться во времени..." [99, с. 211].

С нашей точки зрения, в подобных рассуждениях перемешаны два типа проблем, связанных с процессом измерения. Первый — указанная выше особенность Вселенной, ее "нелабораторность". Вторая группа проблем характерна для

обсуждений квантовой механики вообще, проблем типа разбираемого в следующей главе парадокса “редукции волновой функции” и натурфилософских построений типа “многомировой” интерпретации”<sup>8</sup>.

Современным космогоническим мифом, идущим от элементарных частиц и Большого взрыва через атомы ко всем остальным явлениям Природы, кормится физикалистский пафос (лапласовского или платоновско-пифагорейского типа) построения единой теории всей Природы, разделяемый многими физиками. Так Эйнштейн в своем приветствии на 60-летию Планка провозглашал: “Они (законы теоретической физики) должны составлять ту основу: из которой путем вдумчивой дедукции можно вывести картину всех явлений природы: в том числе и явлений жизни” [28, с. 156].

В рамках такой постановки вопроса возникает так называемый “антропный принцип”, который, в изложении одного из лидеров квантовой космологии — А.Д.Линде, выглядит следующим образом. “Одно из наиболее дерзких желаний физиков-теоретиков — построить такую теорию, из которой однозначно следовали бы наблюдаемые значения всех параметров элементарных частиц, населяющих нашу Вселенную... Задание конкретной теории великого объединения далеко не всегда позволяет однозначно определять свойства элементарных частиц в

<sup>8</sup> “Иначе говоря, — продолжает Линде, — привычная картина мира, развивающаяся во времени, возникает лишь после разбиения Вселенной на две макроскопические части, каждая из которых развивается квазиклассическим образом (это про первый тип проблем, а далее речь идет о втором типе — А.Л.). Т.о., фактом своего существования наблюдатель как бы производит редукцию полной волновой функции Вселенной к той ее части, которая описывает наблюдаемый мир. Именно такая картина получается, если следовать стандартной копенгагенской интерпретации квантовой механики. С этой точки зрения наблюдатель выступает не как пассивный свидетель, а скорее как участник создания Вселенной... Несколько иначе все выглядит в рамках многомировой интерпретации квантовой механики, которой придерживается сейчас большая часть специалистов по квантовой космологии. Согласно этой интерпретации, волновая функция... одновременно описывает все возможные типы Вселенных вместе с живущими в них наблюдателями всех возможных типов. Проводя измерения, наблюдатель не редуцирует волновую функцию всех Вселенных к волновой функции одной из них (или их части), а лишь уточняет, кто он и в какой именно из этих Вселенных он находится. В результате получаются те же результаты, что и в рамках стандартного подхода, но без привлечения малообоснованной гипотезы о редукции волновой функции в момент измерения” [99, с. 211].

нашей Вселенной... Очевидно, что при этом могут возникать самые разнообразные наборы параметров элементарных частиц (массы, заряды и т.д.)... Между тем уже давно было отмечено, что, казалось бы, незначительное изменение (в два-три раза) массы электрона, постоянной тонкой структуры  $\alpha$ , константы сильного взаимодействия или гравитационной постоянной приводило бы к миру, в котором возникновение жизни нашего типа было бы невозможно. Например, увеличение более чем в два с половиной раза массы электрона сделало бы невозможным существование атомов... Далее, для существования жизни нашего типа нужно, чтобы Вселенная была достаточно большой, плоской, однородной и изотропной. Перечисленные, а также ряд других наблюдений и замечаний легли в основу так называемого **антропного принципа** в космологии. Согласно этому принципу, мы наблюдаем наш мир таким, каков он есть, потому что только в таком мире и может существовать наблюдатель, похожий на нас. В настоящее время существует уже несколько разных версий этого принципа — слабый антропный принцип, сильный антропный принцип, окончательный антропный принцип и т.д. (см. [210]). Все эти варианты, заметно различаясь по формулировке, так или иначе связывают между собой свойства Вселенной, свойства элементарных частиц и сам факт существования человека в этом мире...” [99, с. 238—239]. Но, — как отмечает сам Линде, — “приведенные выше рассуждения подразумевают, что действительно можно сравнивать вероятность оказаться в разных мирах с разными свойствами пространства и материи. Однако это возможно, только если такие миры на самом деле существуют. В противном случае все рассуждения об изменении массы электрона, постоянной тонкой структуры и т.д. будут совершенно бессмысленными” [99, с. 240]<sup>9</sup>.

### 5.5. Программы “геометризации”

Эйнштейновская общая теория относительности (ОТО) порождает два глобальных продолжения.

Одно из этих продолжений связано с общей космологией. Второе глобальное продолжение ОТО в теоретической

<sup>9</sup> Линде приводит типичный физикалистский натуралистический ответ: “Возможный ответ на это возражение состоит в том, что волновая функция Вселенной описывает и наблюдателя и остальную часть вселенной во всех ее возможных состояниях, включая все допустимые варианты компактификации и спонтанного нарушения симметрии...”, но самого Линде такой

физике представляют программы “геометризации” различных физических полей по аналогии с гравитационным<sup>10</sup>. СТО поставила под вопрос привычные представления о времени и пространстве как независимых сущностях (это мы обсудили выше). ОТО же, начав с вопроса о “действительной” кривизне пространства-времени, пошла еще дальше, породив идею *многомерных пространств* (миров).

Одна из подобных программ — программа американского физика-теоретика *Дж. Уилера* и его школы. В ее рамках утверждается, что “в мире нет ничего, кроме пустого искривленного пространства (4-мерного пространства Римана — *А.Л.*). Материя, заряд, электромагнетизм и другие поля являются лишь проявлением искривленного пространства. Физика есть геометрия” [123, с. 217]. Эту (по идее — *клиффордскую*) программу он воплотил в теорию, названную им “*геометродинамикой*”.

Эйнштейновская ОТО менее радикальна, здесь материя существует самостоятельно наряду с искривленным пространством-временем. При этом ОТО позволяет геометризовать лишь одно гравитационное поле. Попытки развить ОТО и геометризовать другие поля, в первую очередь электромагнитное поле, привели к появлению различных обобщений римановой геометрии (геометрия Вейля, геометрия с кручением Картана и др.) [30].

Другое направление, основанное на идеях общей теории относительности, приводит к *геометриям с увеличенным числом размерностей*. Обычно в литературе их называют теориями Калуцы-Клейна. В центре этого направления лежит идея, что реальное пространство-время имеет большее число измерений, чем 4, т.е. содержит дополнительные скрытые от нас размерности. К этому семейству относятся так называемые “*теории вакуума*”.

---

ответ не вполне удовлетворяет: “Скорее всего, - продолжает он, - этот ответ правилен и вполне достаточен. Тем не менее было бы очень желательно иметь альтернативный ответ... не требующий для своего обоснования анализа пока еще не до конца ясных основ квантовой космологии...” [99, с. 240].

<sup>10</sup> И дали новое дыхание логико-метафизической программе “причинной теории пространства-времени” (Рейхенбах и др.) [256; 103].

Но, как и в традиционной теории относительности, здесь ограничиваются разработкой новых математических представлений в математическом Мат-слое, а объявленные программы радикального изменения модельного Мод-слоя (наследницы программы Клиффорда) оказываются невыполненными (здесь, как и в ОТО, они оказываются “голыми королями” перед приведенным выше “наивным” вопросом С.В.Мейена).

Это типичная ситуация для всех рассмотренных геометро-физических программ. Пока непонятно как их можно реализовать на модельном уровне, но если непоследовательно платоническая программа “геометризации” физики или последовательно платоническая программа “алгебраизации” физики, добьются успеха, то это будет научная революция более мощная, чем в начале XX в. Новая наука будет отличаться от современной, возможно, не менее, чем средневековая наука номиналистов от механики Галилея и Ньютона. Но более вероятным представляется, что рассмотренные попытки не “выскочат” из XX в., т.е. из создания новых математических представлений, модельный слой которых содержит световые часы специальной теории относительности и 3-хмерное пространство.

Важным отличием “галилеевской линии” от “геометро-физических” (как в “субстанциональных”, идущих от Ньютона, так и в “реляционных”, идущих от Лейбница [103]) является то, что в последних пространство и время “первое” движения. В то время как в развиваемой нами “линии Галилея”, как и у Аристотеля, *основной целостностью является движение* (в физике — движение-перемещение, описываемое как переход из одного состояния в другое), а *пространство и особенно время выступают как его моменты.*

Теперь обратимся к, наверное, самой сложной теме — квантовой механике, и попытаемся развеять миф о ее неаглядности, непостижимости и немодельности.

В квантовой механике сложилась весьма парадоксальная ситуация. С одной стороны, вот уже более 60 лет она успешно решает стремительно расширяющийся круг задач. С другой, все это время не утихают споры о ее основаниях, о ее полноте, о ее интерпретации (см., напр., [72; 222; 208; 250] и др.). “Несмотря на громадные практические успехи, квантовая теория настолько противна интуиции, что, даже спустя 45 лет, сами эксперты еще не все согласны в том, что с этим делать” [222], — писал профессор ДеВитт 15 лет назад. И подобное утверждение и сейчас, и тогда, и много раньше находило и находит живой отклик в среде физиков и не физиков<sup>1</sup>. Уже более 70 лет в этой развитой и эффективной науке продолжается начатый Бором и Эйнштейном спор.

По сути, в квантовой механике в настоящее время сложилось два почти независимых друг от друга направления деятельности. Первое направление обеспечивает получение конкретных теоретических и экспериментальных *результатов*, касающихся конкретных квантовых систем. Второе направление деятельности направлено на *понимание* квантовой механики. Эти два направления образуют как бы *два независимых потока* — “квантовая механика 1” и “квантовая механика 2”, “квантовая механика естественнонаучная” и “квантовая механика философская”. Такое положение дел устанавливается с конца 1920-х, когда труда-

<sup>1</sup> “Несмотря на неоспоримый экспериментальный успех, теория имеет очень шаткие философские основания. Стандартная копенгагенская интерпретация (что бы под этим ни подразумевалось) требует от нас принять столь много предположений, которые бросают вызов здравому смыслу, что... она привела к ужасным дебатам по поводу ее интерпретации” — говорит на открытии конференции 1994 г. “Фундаментальные проблемы в квантовой теории” проф. Д.М.Гринбергер [225, р. XIII].

ми Эйнштейна, де Бройля, Гейзенберга, Шредингера, Борна, Бора, Дирака и др. были созданы основания современной квантовой механики, которые в контексте первого потока часто называют “формализмом” квантовой механики.

В центре второго (философского) потока — обсуждение многочисленных “интерпретаций” квантовой механики, по-разному решающих “проблемы” “редукции (коллапса) волновой функции” и связанных с ним проблем “квантовой теории измерений”, а также “парадоксов” “Эйнштейна, Подольского, Розена” (ЭПР), “кота Шредингера”, “телепортации” и т.п. И за 70 лет эти споры существенно разрослись и проблемы скорее, еще более запутались, чем прояснились. Чем объяснить столь странный феномен?

Нам видится здесь несколько причин, которые так или иначе связаны с неадекватной рефлексией того, что происходило в науке на рубеже веков. Главная из них состоит в том, что *средства*, применявшиеся для *анализа* сложного процесса формирования квантовой механики оказались *не вполне адекватными*.

Этому способствовало то, что используемая при этом математика становилась все более сложной и все менее доступной, в связи с чем резко сократился круг лиц, способных свободно рассуждать на эти темы. К 1930-м гг. еще более усугубилась отмеченная еще Э.Махом ситуация, когда, ввиду усложнения, как физики, так и философии, физики создают себе “домашние философии, а философы — “домашние физики”. Последние создаются на зыбком основании разнообразных поисковых полуфилософских утверждений физиков — творцов квантовой механики, особенно Н.Бора. Над ними стали надстраиваться философские мнения других крупных физиков. В результате возникли весьма расплывчатые облака смыслов вокруг терминов “копенгагенская интерпретация”, “принцип соответствия”, “принцип дополнительности”, “корпускулярно-волновой дуализм” и др. Разные авторы вкладывали в них разный смысл, не всегда удосуживаясь сравнить свое понимание с другими. При этом мало кто обращался к анализу того, что реально делали и делают физики в своей успешной работе в течение этих 70 лет, как они используют (если используют) “принцип соответствия”, “принцип до-

полнительности” Бора и др. волнующие философов и философствующих физиков понятия.

Неоднозначность и нечеткость основных формулировок и понятий, используемых в литературе по этой теме, составляет одну из основных трудностей в обсуждении данных вопросов. “Дорого я бы дал за то, — говорит крупный исследователь творчества А.Эйнштейна А.Пайс, сравнивая степень четкости оснований специальной теории относительности (СТО) и квантовой механики, — чтобы иметь возможность рекомендовать то же (что и в СТО — А.Л.) в отношении квантовой теории!” [136, с. 137]<sup>2</sup>.

Главная цель данной главы состоит, во-первых, в четкой формулировке основных постулатов и понятий квантовой механики, исходя из физики, а не высказываний физиков. Нам представляется, что в третируемой К.Поппером “третьей<sup>3</sup> группе физиков”, работавших “в русле новой традиции узкого профессионализма”, эти расплывчатые облака смыслов оформились в четкие процедуры и постулаты.

Во-первых, мы хотим показать, что постулаты Шредингера, Борна и Бора (плюс постулат о неразличимости частиц и следующие из него статистики Бозе-Эйнштейна и Ферми-Дирака для многочастичных систем) дают возможность для реализации высказанного А.Пайсом пожелания, что с их помощью неявным образом задается физическая модель квантовой частицы, которая заменяет так называемые “интерпретации”. Именно этот факт составляет суть перехода от “старой” квантовой механики<sup>4</sup> первой четверти XX в. к “новой”.

Во-вторых, мы хотим, опираясь на эти постулаты, проанализировать основательность указанных выше “проблем”, обсуждаемых в философском потоке, которые на поверку

<sup>2</sup> “До сих пор неизвестна формулировка квантовой механики, основанная на системе проверенных аксиом” — пишут в “Лекциях по квантовой механике для студентов-математиков” Л.Д. Фаддеев и О.А. Якубовский [177].

<sup>3</sup> По отношению к группе, возглавляемой А. Эйнштейном и Э.Шредингером и группы, возглавляемой Н.Бором и В.Гейзенбергом.

<sup>4</sup> Ее формулировки, как справедливо замечено в [177], “носили чисто рецептурный характер. Они содержали некоторые правила, позволяющие вычислять измеряемые на опыте величины”.

оказываются придуманными проблемами или “мифами”, т.е. утверждениями, принимаемыми без должного основания и не допускающими в принципе экспериментальной демонстрации.

В изложении квантовой механики мы пойдем по уже знакомому нам пути — от формулировки исходного парадокса к описанию нового “первичного идеального объекта” — квантовой частицы по канону, отображенному на сх. 3.1. При этом мы ориентируемся на то, что делают физики (в первую очередь, физики-теоретики) в своей повседневной работе при постановке и решении различных задач. В ходе этого движения мы рассмотрим основания и предлагаемые решения наиболее популярных “парадоксов” и попытаемся восстановить во многом утерянную связь между собственно физическим и философским потоками.

### 6.1. Парадокс “волна-частица”

В становлении квантовой механики можно выделить два этапа. На первом этапе (конец XIX — 1-я четверть XX вв.) формулируется серия парадоксов вокруг явлений, связанных с взаимодействием электромагнитных волн с веществом. Они возникли в теории: 1) теплового излучения абсолютно черного тела<sup>5</sup>, 2) фотоэффекта, 3) теплоемкости твердых тел при низких температурах, 4) строения атома и атомных спектров. Эти парадоксы были разрешены в рамках “старой” квантовой механики первой четверти XX в. посредством введения в теоретические выражения различными способами постоянной Планка  $h$ .

В ходе этой первой фазы был сформулирован парадокс “волна — частица” (часто называемый “корпускулярно-волновым дуализмом”), обозначивший начало второй фазы, на которой в 1925-27 гг. была создана “новая” квантовая механика. Ее суть составляет решение этого парадокса через создание нового “первичного идеального объекта” — “квантовой частицы”. В результате нечеткие и непоследователь-

---

<sup>5</sup> Тело, которое поглощает все падающие на него лучи. В качестве реализации этого нового первичного идеального объекта в теории теплового излучения была предложена дырочка в полой сфере, внутренняя поверхность которой зачернялась сажей.

ные рецепты “старой” квантовой механики уступили место четкой системе понятий и постулатов “ядра раздела науки” “новой” квантовой механики.

Парадокс теплового излучения абсолютно черного тела был четко сформулирован Лоренцем в апреле 1908 г. в докладе “Распределение энергии между весомой материей и эфиром” на IV международном математическом конгрессе в Риме. “В докладе подчеркивалось, что при использовании статистической механики, верной для любых систем, подчиняющимся уравнениям движения Гамильтона получается формула Рэлея-Джинса<sup>6</sup>....Полученная для длинных волн (или низких частот  $\nu$ ) (эта) формула всеобща... А поскольку эта формула противоречит фактам (которые на высоких частотах описываются неприводящей к “ультрафиолетовой катастрофе” формулой Вина<sup>7</sup>) существует некоторое противоречие” [186, с. 60].

Немецкий физик Макс Планк в 1900 г. нашел простую формулу,

$$\rho(\nu, T) = (8\pi\nu^3/c^3)/(\exp(-h\nu/kT) - 1),$$

которая приводила в предельных случаях высоких и низких частот к известным формулам Вина и Рэлея-Джинса для спектра излучения черного тела. Затем он, приняв гипотезу о квантовании энергии электронного осциллятора (типа заряда на пружинке), вывел эту формулу на основании электродинамики и статистической механики.

Так был введен знаменитый *квант действия*  $h$ , получивший название *постоянной Планка*.

---

<sup>6</sup> Формула Рэлея-Джинса (1900), описывает спектральную плотность теплового излучения:  $\rho(\nu, T) = A\nu^2 kT/C^2$ , где  $\nu$  — частота,  $k$  — постоянная Больцмана,  $c$  — скорость света,  $T$  — температура. При высоких частотах она приводит к “ультрафиолетовой катастрофе”, которая выражается в том, что интеграл по частоте, представляющий суммарную энергию абсолютно черного тела при данной температуре  $T$ , стремился к бесконечности из-за своей высокочастотной части. Т.е. никакое тепловое равновесие абсолютно черного тела невозможно, так как вся энергия системы будет постепенно передаваться электромагнитным колебаниям все более высоких частот.

<sup>7</sup>  $\rho(\nu, T) = A\nu^3 \exp(-C/T)$ , где  $A$  и  $C$  — постоянные.

Таким образом, первенство в выдвижении квантовой гипотезы принадлежало М.Планку (1900). Однако он считал свою гипотезу скорее приемом расчета. “Вначале он ввел квантовую гипотезу как *чисто формальный прием*... В письме к американскому физика Р.Вуду в 1931 г. он писал: “это было чисто формальное предположение, и я не размышлял особенно о нем; единственно, что меня волновало, — это любым способом получить положительный результат, чего бы это ни стоило” [186, с. 52].

К началу XX в. были установлены и основные эмпирические закономерности фотоэффекта:

“В тех случаях, когда слабые ультрафиолетовые лучи оказывают действие, красные лучи огромной интенсивности никакого действия не оказывают... С увеличением энергии лучей данной длины волны увеличивается число электронов, вылетающих в единицу времени с единицы поверхности освещенного тела, но не меняется их скорость... С точки зрения волновой теории главным фактором фотоэффекта должна была быть энергия света, тогда как частота была второстепенным фактором” [186, с. 47—48]. Это звучало как парадокс.

Строя теорию фотоэффекта *А.Эйнштейн* в статье “Об одной эвристической точке зрения, касающейся возникновения и превращения света” (1905) ввел представление о *свете, состоящем из квантов с энергией  $h\nu$* . В его модели один квант света выбивает один электрон, для чего требуется энергия кванта  $h\nu$  больше энергии связи электрона<sup>8</sup>. “Дальнейшее доказательство корпускулярного характера света было получено в 1922 американским физиком *А.Комптоном*, показавшим экспериментально, что рассеяние света свободными электронами происходит по законам упругого столкновения двух частиц — фотона и электрона (эффект Комптона)... Таким образом, было доказано экспериментально, что наряду с известными волновыми свойствами (проявляющимися, например, в дифракции света) свет обладает и корпускулярными свойствами: он состоит как бы из частиц — фотонов... Возникло формальное логическое противоречие: для объяснения одних явлений необходимо было считать, что свет имеет волновую природу, а

<sup>8</sup> Введение гипотезы квантов позволило Эйнштейну получить правильное выражение и для поведения теплоемкости твердых тел при низких температурах.

для объяснения других — корпускулярную. По существу разрешение этого противоречия и привело к созданию физических основ квантовой механики”, — пишет В.Б. Берестецкий [184, с.253].

Еще один парадокс — *парадокс устойчивости атома* состоял в том, что результаты опытов Резерфорда о столкновении  $\alpha$ -частиц с атомами указывали на то, что атомы содержат маленькое положительное ядро, в поле которого движутся электроны. Отсюда вытекала *планетарная модель атома*. Но согласно законам электродинамики подобное движение электрона являлось ускоренным движением, а следовательно электрон должен был излучать электромагнитные волны, терять энергию и очень быстро (за  $10^{-10}$  с.) упасть на ядро. Гипотеза квантов позволила Бору объяснить этот парадокс. Более того, она позволяла объяснить ряд обнаруженных к тому времени эмпирических выражений, описывающих дискретные спектры излучения различных атомных газов.

Обсуждение гипотезы квантов как способа решения этих парадоксов и особенно дискуссия Эйнштейна и Лоренца по поводу гипотезы квантов света — фотонов привели к формулировке парадокса **ВОЛНА-ЧАСТИЦА** для света: квант света распространялся согласно волновой теории (это проявлялось в явлениях интерференции и дифракции), а поглощался, согласно фотоэффекту, как частица. В начале 1920-х французский физик Луи де Бройль предположил, что и частицы материи тоже распространяются как волны с частотой  $\nu = m_0 c^2 / h$  ( $m_0$  — масса покоя частицы) [186, с. 143; 50, с. 239], и в 1927 г. Дэвиссон и Джермер получили от рассеяния пучка электронов на кристалле картину, аналогичную рентгенограмме Лауэ, свидетельствующую, что электроны, как и рентгеновские лучи испытывают характерную для волн дифракцию.

Эту *двойственность поведения квантовых частиц*, часто называемую “корпускулярно-волновым дуализмом”, хорошо иллюстрирует мысленный эксперимент по прохождению квантовой частицы (электрона, фотона, ...) сквозь экран с двумя щелями. Двойственность состоит в следующем. Если за этим экраном поставить фотопластинку (регистрирующий прибор), то при многократном повторении

эксперимента с одной частицей мы увидим дифракционно-интерференционную картину, свойственную волне, проходящей через обе щели одновременно. Классическая же частица обладает траекторией и может пролететь либо в одну, либо в другую щель. И если мы захотим подсмотреть через какую щель проходит частица, то интерференционная картина пропадет — квантовая частица будет вести себя именно как частица (подробнее см., например, [180, т. 8, гл. 1]). Таким образом, поведение квантового объекта не схватывается в классических понятиях волны и частицы. Требуется новый “первичный идеальный объект” (ПИО) — *квантовая частица*. Каковы же свойства этого нового ПИО, и какова та система понятий и постулатов, которая его определяет неявным образом?

Задача по преобразованию этого парадокса в новый “первичный идеальный объект” — квантовую частицу (микрочастицу) реализуется в несколько ходов, сделанных отцами квантовой механики в 1925-27 гг. Этими “ходами”, в нашем изложении, являются постулаты Шредингера, Борна и Бора, с помощью которых наполнились конкретным содержанием обозначенные на сх.3.1 функциональные места и родилась современная “*новая*” квантовая механика. Период 1900—1925 гг. отвечает, так называемой, “*старой*” квантовой механике — весьма синкретическому образованию, в котором использовались “первичные идеальные объекты” классической механики и электродинамики, на поведение которых чисто внешним образом накладывались некие предназначенные для определенного сорта задач правила и ограничения, типа боровских правил квантования энергии атома водорода. “Старая” квантовая механика пыталась идти по эмпирическому пути от эмпирических фактов к эмпирическим законам. В ней пытались искать законы с помощью планковского кванта действия  $h$ , опираясь на правило квантования Бора-Зоммерфельда, а не новые “первичные идеальные объекты” (исключение — теория фотоэффекта Эйнштейна). Психологически “старая” и “новая” квантовая механика — связаны, но логического перехода от первой ко второй — нет. *Появление “новой” квантовой механики в 1925-27 гг. — это скачок. Только после этого скачка можно ставить вопрос о понимании*

квантовой механики, ибо понять квантовую механику, как и любой другой раздел физики, это значит построить физическую модель соответствующего “первичного идеального объекта” (ПИО) и его состояний, определяемых соответствующим “ядром раздела науки” (ЯРН).

## 6.2. Постулаты Шредингера и Борна

*Первый шаг* на пути построения “новой” квантовой механики состоит в введении *математического представления волновых функций Шредингера* (мы будем излагать общую схему на примере этого математического представления<sup>9</sup>), включающего принцип суперпозиции и уравнения движения Шредингера.

В представлении Шредингера фигурируют: стационарная (или нестационарная) *волновая функция*  $\psi$  (или  $\Psi$ ) (так называемые функции Гильбертова пространства), являющаяся *математическим образом состояния квантовой системы* (квантовой частицы или системы квантовых частиц); оператор<sup>10</sup> Гамильтона  $H^{оп}$  — математический образ системы (его собственные значения  $E_\psi$  определяют спектр энергии системы).

Уравнение Шредингера, фиксирующее волновой характер изменения состояния системы, выглядит следующим образом:

$$i(h/2\pi) \partial\Psi/\partial t = H^{оп}\Psi,$$

где  $\partial/\partial t$  — производная по времени<sup>11</sup>.

<sup>9</sup> В квантовой механике наряду с представлением Шредингера используется масса других эквивалентных математических представлений: Гайзенберга, взаимодействия,...

<sup>10</sup> Людям далеким от математики не следует пасовать перед встречающимися в этом разделе математическими понятиями. Достаточно понимать, что операторы - комбинации математических образов измеримых величин, относящихся состоянию системы. Их математическая суть состоит в том, что они преобразуют одни волновые функции в другие, т.е. “сдвигают” математические образы состояний.

<sup>11</sup> Его популярный упрощенный стационарный (независящий от времени) вариант:  $H^{оп} \psi = E\psi$ .

В постулаты Шредингера следует включить и “*принцип суперпозиции*”, гласящий, что суперпозиция (наложение) любых допустимых в данных условиях состояний физической системы является также допустимым состоянием [184] (в математическом слое он звучит как утверждение, что если у системы есть несколько состояний, отвечающих различным  $\psi_k$ , то и для любой комбинации чисел  $a_k$  существует состояние, отвечающее  $\psi = \sum_k a_k \psi_k$ ).

Второй шаг состоит в введении правил вероятностной интерпретации волновой функции (ВИВФ) Борна, которые связывают между собой математический образ состояния системы, модельный образ состояния системы (связанный с совокупностью определенных измеримых величин) и соответствующие процедуры измерения. Именно постулаты Борна вносят вероятность в квантовую механику. Связь же состояний, задаваемая уравнением Шредингера в квантовой механике столь же детерминистична (однозначна), как и в классической механике.

Достигается это следующими действиями.

Для измеримой величины  $U$  (пусть это будет положение  $(x)$  поглощаемого фотодетектором фотона или электрона), могущей принимать значения  $u_k = x_k$ , вводят набор “собственных” волновых функций  $\{\chi_k\}$  с “собственными значениями”  $\{u_k\}$ <sup>12</sup>. Этот набор “собственных” волновых функций используют как базис<sup>13</sup> для представления волновой функции:  $\psi(x, t) = \sum_k a_k \chi_k(x, t)$ . Квадраты модулей коэффициентов разложения  $|a_k|^2$  задают распределение вероятностей ( $P_k^u$ ) результатов измерения. Так через матема-

<sup>12</sup> Обычно математический образ измеримой величины вводят в виде оператора  $u^{\text{оп}}$ , который порождает наборы  $\{\chi_k\}$  и  $\{u_k\}$  как свои “собственные функции” и “собственные значения”:  $u^{\text{оп}} \chi_k(x, t) = u_k \chi_k(x, t)$ .

<sup>13</sup> Здесь имеется полная аналогия с разложением вектора по ортам декартовой системы координат. Роль вектора выполняет функция  $\psi(x, t)$ , а роль ортов — функции  $\chi_k(x, t)$ .

тический образ  $\{\chi_k\}$  измеримой величины и устанавливают соответствие между значением волновой функции  $\psi$ , характеризующей состояние системы в математическом слое, и значениями распределения вероятностей измеримых величин, характеризующих состояние системы в модельном слое (правая стрелка на сх. 3.1).

Подчеркнем, что *состоянию квантовой системы* в модельном слое отвечает, как правило, не определенные значения соответствующих измеримых величин, а лишь *распределения вероятности* этих значений. Это означает *существенное изменение*, по сравнению с классической физикой, *процедур измерения*. Если в случае классической физики достаточно было произвести по одному<sup>14</sup> акту измерения на каждую измеримую величину, чтобы определить состояние системы, то в случае квантовой физики в общем случае для этого необходима достаточно *длинная серия из многих актов измерения*. Вероятностный характер здесь носит объективный характер — это свойство природы, а не результат нашего незнания.

Момент, который требует здесь понимания и обсуждения — это, в первую очередь, *вероятностный тип описания состояния системы* в квантовой механике.

Один из главных пунктов неприятия квантовой механики был связан “с вероятностным, а не детерминированным” характером описания поведения квантовой системы<sup>15</sup>. Очень показательна в этом отношении эволюция позиции Эйнштейна. Он первым, еще в 1905 г., ввел понятие квантовой частицы (кванта света — фотона) и заявил, что новый круг явлений, связанный с дискретностью и посто-

<sup>14</sup> В измерительной практике, чтобы исключить так называемые несистематические ошибки измерения и этим повысить точность измерения, применяют метод статистического усреднения многократно повторенных измерений. Но у нас речь идет о принципе, о теоретическом определении состояния физической системы.

<sup>15</sup> Для Луи де Бройля “вероятностная интерпретация” “исключала возможность традиционного для классической физики точного описания атомных явлений, как происходящих в пространстве и времени и тем самым исключала детерминизм” [47, с. 32, 11].

янной Планка требует создания новой физики. Но, когда к концу 1920-х гг. эта новая физика — квантовая механика была создана, он, так же как и ряд других ее отцов (Шредингер, Де Бройль и др.), ужаснулся образу своего детища.

Стараясь вернуться на почву детерминизма, они пытались построить “интерпретации квантовой теории в терминах “скрытых” параметров, которые бы в принципе точно определяли поведение индивидуальных систем; измерения, которые можно практически осуществить в настоящее время, должны включать в себя процессы усреднения по этим параметрам”, — писал в 1952 г. основоположник этого направления Д.Бом [32, с.34]. Вероятностный характер в этом случае становится следствием недостаточно точного знания.

Нам, как и авторам [222; 185], претензии Эйнштейна и др. представляются сомнительными. *Состояние системы в классической физике определяется значением соответствующих измеримых величин, а в квантовой механике — распределением вероятности этих значений.* Обращаясь к изображенным на сх. 3.1 связям, мы видим, что в теоретическом Т-блоке описана связь двух последовательных состояний объекта-системы А:  $S_A(t_0)$  и  $S_A(t_1)$ . Зная состояние системы в момент  $t_0$  мы можем однозначно предсказать ее состояние в момент  $t_1$ , т.е. характер связи идеальных состояний физической модели столь же детерминистичен, как и в классической механике<sup>16</sup>. Различие с классической механикой возникает в *более сложной процедуре связи между величинами, характеризующими состояние квантовой системы в теоретическом “Т-блоке”, и отвечающими им значениями реальных измерений*<sup>1</sup> ((И) на сх. 3.1): “Каждой величине, — говорит В.А.Фок, — соответствует своя серия измерений, результаты которой выражаются в виде распределения вероятностей для этой величины”

<sup>16</sup> Поэтому мы не согласны с утверждением “пропенситивной” интерпретации К.Поппера, что “квантовая теория - это не теория, описывающая динамические процессы во времени, а вероятностная теория предрасположенностей” [138, с.91].

[185, с. 166—167]. Т.е. вероятностный тип указанной связи предполагает в общем случае *не одно* измерение (как в классической физике), а *серию измерений* над одной и той же системой в одном и том же состоянии. Это вносит некоторый элемент неопределенности (который последовательно уменьшается в случае удлинения серии измерений), но не волюнтаризма (индетерминизма)<sup>17</sup>. С точностью до этой неопределенности (“размытости”) общая детерминистская схема *связи состояний* (описания движения), описанная в гл. 3 (сх. 3.1), остается в силе.

Но эта непротиворечивая картина возникает благодаря тому, что мы здесь вводим *нестандартное определение состояния* квантовой системы, опираясь на введенное выше определение. Согласно этому определению состояние физической системы определяется тем, что его знание позволяет ответить на все могущие возникнуть в данном разделе физики вопросы относительно данной физической системы. Мы полагаем, что *все вопросы, которые можно задавать в квантовой механике* можно относить только к *распределениям вероятностей* различных измеримых величин. Значения же *отдельного акта измерения* сопоставить с *состоянием* системы (если оно не приготовлено в собственном состоянии) *нельзя ни до, ни после этого акта измерения*. Это достаточно сильное утверждение, существенно отличающееся от приведенной ниже (с.138) копенгагенской интерпретации Борна. По-видимому, более привычно связывать состояние непосредственно со значениями измеримых величин (это утверждение остается и в нетрадиционном “модальном варианте копенгагенской интерпретации” Б. ван Фраассена [258]). Тем не менее наше определение понятия состояния не противоречит постулатам Борна и является естественным пролонгированием общего понятия состояния на квантовую механику. Пространство состояний определяется полным набором измеримых величин. В квантовой механике рассматриваются раз-

---

<sup>17</sup> И никакого места для свободного субъекта, истории и т.п. здесь не возникает.

личные типы квантовых частиц с различными вариантами таких наборов (например, частицы со спином и без).

Итак, в результате введения постулатов Шредингера и Борна, появляется возможность *описания двойственного поведения* квантовой частицы: волновая функция  $\psi(x, t)$ , определяющая движение квантовой системы (переход из одного состояния в другое), определяет *волновые* черты квантовой частицы, а определяемые постулатами Борна процедуры учета отдельного измерения, проявляют характерное для *частицы* поведение (квантовая частица воздействует на прибор, например, фотопластинку, как частица).

### 6.3. “Дополнительность” и “принципы” “дополнительности” и “неопределенности”

Теперь перейдем к обсуждению наиболее непривычных следствий, которые определяют “непонятность” квантовой механики.

На первом месте здесь безусловно стоит “*принцип дополнителности*” Бора, который Гейзенберг тесно связывает с проблемой понимания квантовой механики [36, с.112]. Этот принцип, провозглашенный Бором в 1927 г. на Международном физическом конгрессе в небольшом итальянском городке Комо, связывается с предложением “называть “*явлением*” лишь совокупное описание наблюдаемой физической системы и использующегося для этого наблюдения прибора” [193, с.162]. Дж.Холтон, в рамках своего “тематического анализа науки”, расценивает “принцип дополнителности” как рождение новой “темы”, что является весьма редким для истории науки событием, и даже называет его “поворотной точкой человеческого познания” [193, с. 27, 159]. Суть этой новой “темы” Холтон видит в пути к ясности через “исчерпывающее взаимоналожение различных описаний, включающих явно противоречащие друг другу понятия” (в качестве каковых могли выступать: корпускулярные и волновые свойства, координата и импульс, пространство и время и другие “дополнительные” переменные), в пути, на котором следует “не примирять противоречия альтернативных типов физического опи-

сания, а понять их дополнительность по отношению друг к другу" [193, с.163, 162].

Сам Бор об этом много позже (в 1949 г.), с учетом длительной дискуссии с Эйнштейном и попытками снять его обвинение квантовой механики в неполноте в связи со знаменитым мысленным экспериментом Эйнштейна, Подольского, Розена (ЭПР) (см. ниже), говорил так: "На международном конгрессе физиков в Комо, посвященном памяти Вольты и созванном в сентябре 1927 г., новейшие успехи квантовой физики были предметом обстоятельных дискуссий. В своем докладе я развил тогда точку зрения, которую кратко можно охарактеризовать словом "дополнительность"; эта точка зрения позволяет с одной стороны, охватить характерную для квантовых процессов черту неделимости и, с другой стороны, разъяснить существующие в этой области особенности постановки задачи о наблюдении. Для этого решающим является признание следующего основного положения: как бы далеко ни выходили явления за рамки классического физического объяснения, все опытные данные должны описываться *при помощи классических понятий*.

Обоснование этого состоит просто в констатации точного значения слова "эксперимент". Словом "эксперимент" мы указываем на такую ситуацию, когда мы можем сообщать другим, что именно мы сделали и что именно мы узнали. Поэтому экспериментальная установка и результаты наблюдений должны описываться однозначным образом на языке классической физики.

Из этого основного положения, обсуждение которого стало главной темой излагаемой здесь дискуссии, можно сделать вывод. *Поведение атомных объектов невозможно отграничить от их взаимодействия с измерительными приборами*, фиксирующими условия, при которых происходят явления. В самом деле, *неделимость* типичных квантовых эффектов проявляется в том, что всякая попытка подразделить явления требует изменения экспериментальной установки и тем влечет за собой возможности принципиально *неконтролируемого взаимодействия* между объектами и измерительными приборами. Вследствие этого данные, полученные при разных условиях опыта,

не могут быть охвачены одной-единственной картиной; эти данные должны скорее рассматриваться как дополнительные в том смысле, что только совокупность разных явлений может дать более полное представление о свойствах объекта" [20, т.2, с. 406-407].

Следует иметь в виду, что, как было уже отмечено во введении, формулировки "принципа дополнительности" весьма неоднозначны и расплывчаты. На это указывал в 1949 г. и Эйнштейн, писавший, что "несмотря на многочисленные попытки" он "так и не смог к тому же уяснить" "точной формулировки" "боровского принципа дополнительности" [224, р. 674]. "Де Бройль, называя Бора "Рембрандтом современной физики", тоже отмечал, что для соображений в защиту концепции дополнительности характерна "светотень", благодаря которой они не всем могут показаться вполне убедительными" (по [1, с.123]).

Необходимо также отметить, что, как справедливо указывается в [193], формулировка и обсуждение "принципа дополнительности" (ПД) Бора весьма тесно переплетаются с "принципом неопределенности" (ПН) Гейзенберга. "Решающей и новой особенностью применения Бором квантового постулата (т.е. "принципа неопределенности") было распространение его на процессы наблюдения атомных процессов, — пишет И.С.Алексеев. — Это было стимулировано работой Гейзенберга по установлению соотношения неопределенностей. По словам Бора, суть гейзенберговского подхода состояла "в неизбежности квантового постулата при оценке возможностей измерения" [20, т.2, с. 37]. Благодаря применению этого постулата к процессам наблюдения (измерения) последние тоже зачислялись в разряд атомных процессов и становились элементами физической реальности, подлежащими отображению в теоретической схеме" [1, с. 129].

Такое переплетение "принципа дополнительности" и "принципа неопределенности", по общему мнению, стало неотъемлемой частью так называемой "*копенгагенской*" интерпретации (точнее интерпретаций), которая постепенно заняла господствующее положение и получила статус "ортодоксальной". Тем не менее Эйнштейн и через четверть века после провозглашения "принципа дополнительности" оставался в оппозиции по отношению к нему: "Мне кажется

ретический характер крайних частей фоковской структуры реального эксперимента, которым на сх. 2.1 отвечает нижний “этаж”, содержащий “конструктивные элементы”, обеспечивающие реализацию идеальных систем и приготовления их исходных состояний, и процедуры измерения III.

Граница между теоретической и “нетеоретическими” частями подвижна — можно усложнить теоретическую часть за счет включения в нее части измерительной части (этим занимается теория измерений, о которой речь ниже), но ВСЮ измерительную часть включить в теоретическую часть ПРИНЦИПИАЛЬНО НЕЛЬЗЯ. Весьма популярное *представление об измерении как воздействии неверно!* Это связано с тем, что процедура измерения (сравнения с эталоном) содержит часть, которая не может быть описана в рамках того раздела физики, в котором она используется (полагаю, что верно еще более жесткое утверждение: процедура сравнения с эталоном не может без остатка рассматриваться никаким разделом физики в принципе). У нас нет строгого доказательства этого утверждения типа доказательства теоремы Геделя для арифметики, но, представляется, что вряд ли кто-либо из физиков всерьез отнесется к требованию описывать с помощью уравнений Ньютона экспериментатора, прикладывающего сантиметр при измерении расстояния, пройденного телом двигающимся по гладкой наклонной плоскости. Во всяком случае к тем, кто оспорит обязательность такой постановки отнесутся с пониманием.

Непринятие указанных нами границ между теорией и измерением, с точки зрения Садбери (разделяемой многими физиками), имеет *мировоззренческие корни* и связано со следующей цепочкой рассуждений: “Прибор является физической системой, а эксперимент — физическим процессом. Поэтому и прибор и эксперимент сами должны подпадать под действие уравнения Шредингера... [И вполне возможно] ”применение уравнения Шредингера к комбинированной системе, составленной из объекта и прибора... Так можно продолжать до бесконечности, — говорит Садбери. — Мы должны были бы включить в рассмотрение оборудование для проявления пленки и в конечном счете глаз и мозг экспериментатора... Мы все равно должны будем разделить мир на две области — квантовую и классическую с различными законами в разных областях... Одно из

предложений состоит в том, чтобы считать, что граница между квантовой и классическими областями проходит по границе человеческого сознания, ... между телом и разумом" [160, с. 257]<sup>24</sup>.

Очень ярко эта линия рассуждений представлена в мысленном эксперименте "*кошки Шредингера*", где кошка сидит на бомбе (или сосуде с синильной кислотой), взрывное устройство которой запускается радиоактивным атомом и счетчиком Гейгера. Описывая с помощью волновых функций не только радиоактивный атом, запускающий "адскую машину", но и всю систему, включая кошку, Шредингер приходит к парадоксу, подробно анализируемому в [95]. Парадокс состоит в том, что, при применении к кошке квантовомеханического описания, наряду с предполагаемыми "чистыми" состояниями, отвечающими живой или мертвой кошке, согласно принципу суперпозиции что-то должно отвечать и суперпозиции волновых функций этих чистых состояний — состоянию, когда кошка "ни жива, ни мертва", что явно противоречит здравому смыслу.

Причина парадокса, как и выше, состоит в том, что здесь внутрь физической системы поместили весь измерительный прибор, состоящий из счетчика Гейгера, взрывателя, динамита и кошки.

Собственно парадоксы типа "*Шредингеровского кота*" можно сформулировать и без квантовой механики, на основе позиции Лапласа *на материале классической механики*, потребовав от последней включить процедуру измерения расстояния с помощью линейки внутри теории Ньютона.

<sup>24</sup> А вот еще одна подобная цепочка рассуждений известного автора "Геометро-динамики" — Дж. Уиллера: "Метод квантовой механики позволяет нам рассматривать механизм наблюдения. Позволяют ли они нам анализировать также и наблюдателя? У нас нет никаких проблем с квантовомеханическими принципами применения идеи "волновой функции", когда частица проходит через пузырьковую камеру. Ни когда эта частица ионизирует молекулу азота. Ни на дальнейших стадиях на этом пути... И разве возникают трудности с идеей "амплитуды вероятности", когда фотоэлемент действует на дисплей? А когда фотон от дисплея действует на глаз? А когда импульс от сетчатки проходит по оптическому нерву? Нет и еще раз нет. Тогда почему не использовать амплитуду вероятности для описания состояния сознания наблюдателя?" [260, р. 2].

Как уже отмечалось в п.2.1, указанная Фоком трехчастная структура эксперимента заложена уже в галилеевско-ньютоновской механике. В простейшем механическом эксперименте Галилея по скатыванию шаров с наклонной плоскости мы найдем те же три фазы-части: конструкцию для приготовления начального состояния (наклонная плоскость с поднятым на определенную высоту шариком); подчиняющееся теории движение шарика по гладкой наклонной плоскости; процедуры измерения (сравнение с эталоном) времени, расстояния и скорости. Поэтому нам представляется совершенно *необоснованным* широко распространенное мнение, что “наиболее глубокое различие между квантовой и классической механикой состоит в учете *особой роли процесса измерения*, которую он играет в квантовой механике” [160, с. 254]. Отметим, что столь характерного для квантовой механики ажиотажа вокруг “непосредственной ненаблюдаемости”, “ненаглядности” и необходимости опосредования классическими наблюдаемыми величинами почему-то нет в химии, простые вещества и молекулы в которой вряд ли более “непосредственно наблюдаемы”, чем квантовые частицы. С другой стороны, в теории элементарных частиц, где вводится много не имеющих аналогов в классической физике “внутренних” характеристик (типа “странности”, лептонного и барионного зарядов и др.) их измерение производится, по сути, путем сравнения результатов взаимодействия измеряемых квантовых объектов с эталонными квантовыми объектами. Вообще понятие “непосредственной наблюдаемости” при наличии приборов понятие весьма туманное, о чем уже говорилось в п.2.1 в связи с обсуждением объективации наблюдения у Галилея.

Итак, *главный источник “парадоксов”, связанных с измерением — игнорирование наличия в нем принципиально нетеоретического остатка*. Нам представляется, что идущая от Бора традиция обозначать это качественное отличие измерения от теории ссылками на якобы принципиальную необходимость использовать “классические приборы”, “язык классической физики” и т.п., широко используемый Фоком, Гейзенбергом и др., является не впол-

не адекватным<sup>25</sup> обозначением указанной границы между теоретической частью и нетеоретическими процедурами измерения, в основе которых лежит процедура сравнения с тем или иным эталоном<sup>26</sup>.

Для Шредингера такая постановка задачи вытекает из убеждения, что “наблюдение — такой же естественный процесс, как и всякий другой, и сам по себе не может вызывать нарушения закономерного течения естественных процессов” [200, с. 81]. Основой этого убеждения является недостаточно обоснованное философское по своей сути утверждение фон Неймана, Д.Бома и др., что “если квантовая теория способна дать полное описание всего, что может произойти во вселенной, то она должна иметь возможность описать также сам процесс наблюдения через волновые функции измерительной аппаратуры и исследуемой системы. Кроме того, в принципе, квантовая теория должна описать и самого исследователя, наблюдающего явления при помощи соответствующей аппаратуры и изучающего результаты эксперимента ... через волновые функции различных атомов, составляющих этого исследователя” [19, с. 668] (то же найдем в [130, с. 307-308]). Отсюда возникают (как выше у Садбери) мифические проблемы “проведения точной границы между объективным и субъективным” в квантовой механике [48, с. 290].

Подобные утверждения являются безусловными с точки зрения позиции Лапласа (или Шредингера с его кошкой), согласно которой “поскольку все, включая человека, состоит из атомов, а атомы описываются механикой, то все действия и мысли человека можно описать с помощью механических законов”. На этот мировоззренческий, а не физический довод нечего возразить, кроме того, что идеология

<sup>25</sup> Отметим, что на ложную форму фиксации границы между теоретической и нетеоретической частью в структуре естественной науки (сх.2.1) в виде ссылок на “язык классической физики” провоцирует описанная выше “процедура квантования”, благодаря которой квантовые модели строятся с помощью классических моделей.

<sup>26</sup> Эта граница подвижна, ибо мы можем некоторую часть прибора включить в теоретическое рассмотрение, усложнив рассматриваемую систему. Но всегда будет оставаться невключенный остаток типа сравнения с эталоном (как и в классической физике).

столь крайнего механицизма “попахивает нафталином”, и что системный подход во второй половине XX в. выдвинул противоположный популярный тезис, утверждающий, что система обладает свойствами, которые не сводятся к свойствам ее элементов<sup>27</sup>.

Как только мы примем гетерогенный характер описания физического явления, отраженный на сх. 2.1, при котором, кроме теоретической части, существует и нетеоретическая, так сразу *рассеются многие “парадоксы”* квантовой механики.

Критика “утверждения 1” уже накладывает тень на безусловность “утверждения 2”. Но мы подвергнем анализу и другие основания этого утверждения.

С самого начала были понятны две трудности в формулировке “*утверждения 2*”. Во-первых, было очевидно, что измерение может производиться так, что оно разрушит не только состояние, но и саму систему (например, регистрация квантовых частиц фотодетектором), поэтому В. Паули ввел деление измерений на измерения 1-го (неразрушающие) и 2-го (разрушающие состояние или даже систему) рода и ограничил применение рассматриваемого “утверждения 2” лишь первыми. Во-вторых, постулаты Борна ничего не говорят о состоянии системы после измерения.

Поэтому основным аргументом в пользу “утверждения 2” является высказанный еще фон Нейманом тезис о том, что если систему подвергнуть двум непосредственно следующим друг за другом измерениями (1-го рода), то результат второго измерения совпадет с результатом первого. Фон Нейман ссылаясь при этом на опыт Комптона-Симонса [218] по столкновению фотонов и электронов. С тех пор это принято рассматривать как известный эксперименталь-

<sup>27</sup> Здесь остается только присоединиться к критике К. Поппером [154, с. 74 и д.] В. Гайтлера, утверждавшего, что в связи с возникновением квантовой механики “нельзя более поддерживать разделение мира на “объективную реальность вне нас” и “нас”, сознающих себя сторонних наблюдателей. Субъект и объект становятся неотделимы друг от друга” [228, р. 194]. Ничего подобного. Никаких подобных проблем в реальной работе физика, как и в развиваемом нами подходе, не возникает. Квантовая механика столь же объективна, как и классическая механика.

ный факт подтверждающий "утверждение 2". Но правильна ли подобная интерпретация?

Корректная постановка вопроса для случая *повторного измерения* в камере Вильсона в рамках стандартной квантовой механики, опирающейся на уравнение Шредингера, рассмотрена Л. Шиффом [199, с. 242] как задача о вычислении распределения вероятности возбуждения двух атомов пролетающей быстрой квантовой частицей (электроном). Результат дает заметную вероятность только в случае, если направление движения частицы почти параллельно как линии, соединяющей атомы, так и направлению конечного импульса рассеянной частицы. Другими словами, экспериментальные результаты, обычно приводимые в подтверждение тезиса фон Неймана и "утверждения 2", можно описать в рамках стандартной квантовой механики *без "утверждения 2"*. На сегодняшний день, по-видимому, все известные эксперименты количественно описываются стандартными алгоритмами квантовой теории и постулатом Борна. Снова и снова подтверждается лишь адекватность квантового формализма (при правильном выборе модели) и постулата Борна. Примечательно, что проекционный постулат фон Неймана-Дирака (в отличие от постулата Борна), по-видимому, никогда не используется при количественном описании реальных экспериментов. Он, как и понятие частичной редукции, фигурирует лишь в общих качественных натурфилософских рассуждениях. По крайней мере, на сегодня автору неизвестно экспериментальных результатов, которые было бы нельзя подобным образом теоретически описать.

Поэтому "утверждения 2 и 3" являются тоже необоснованными.

*Место "утверждения 3"* в реальной квантовой механике занимает констатация того факта, что кроме уравнения Шредингера (или его аналога), описывающего связь (изменение) состояний в квантовой механике, требуются еще борновские правила "вероятностной интерпретации волновой функции", связывающие между собой математический образ некоторого состояния системы (волновую функцию) и соответствующие измерения и не имеющие отношения к изменению состояний. Так устроена квантовая механика.

Аналогичная структура имеет место и в классической механике: там тоже за связь состояний отвечает уравнение движения, а процедура измерения (сравнение с эталоном) фиксирует определенное состояние.

В связи с “редукцией волновой функции”, следует еще указать, что в некоторых рассуждениях о повторном измерении и “редукции ВФ” утверждается, что измерение является в то же время приготовлением новой ВФ (см., например, [160; 262] и ссылки [54, 55] в [74]). “Это утверждение естественно вписывается в идеологию получивших широкое распространение проекционных операторов Фон Неймана-Дирака, которые в математическом слое описывают различного типа фильтры, часто используемые в процедурах приготовления исходного состояния системы. Однако в реальных квантовых экспериментах для приготовления ВФ (точнее состояния системы) и для измерения используются совершенно различные процедуры (см. примеры в [73]). Целесообразно, например, фильтрацию с помощью экрана с отверстием или поляроида отличать от измерения. **Фильтры** готовят состояние, а что-то измерить можно лишь при наличии наряду с фильтром и детектора (под детектированием мы понимаем реально наблюдаемые свидетельства существования частицы, например, шелчок в счетчике Гейгера или трек в камере Вильсона). Фильтрация направлена непосредственно на состояния, на контролируемое воздействие на них, а акты измерения направлены на значения измеримых величин, распределения вероятностей которых описывают состояние системы (с точностью до принципа дополнительности)” [73].

Таким образом мы приходим к выводу, что “проблема редукции ВФ” является лишь некоторой гипотезой, предложенной Дираком и фон Нейманом (1932 г.) и представляет собой типичный пример “порочного круга”: постулируется (“Мы примем это утверждение как основной постулат”), что “волновая функция просто-напросто уничтожается вне области ”регистрации” [65, с. 154]. Затем этот постулат (по сути — необоснованная теоретическая гипотеза или интерпретация) рассматривается как явление природы, после чего пытаются это “явление” объяснить, чего только не привлекая<sup>28</sup>. Самое экзотическое решение — многомировая интерпретация Эверетта [222], утверждающая что каждое измерение переносит нас в другую Вселенную.

<sup>28</sup> “Различные исследователи усматривают разные субстанциональные причины редукции..., пишет А.И.Панченко. — Известно, например, что В.Гейзенберг говорил о ”неконтролиру-

“Тем не менее в ряде учебников и монографий редукция объявляется одним из основных постулатов квантовой механики (см., например, [160]). Часто редукцию представляют как “реальное” событие [160; 215]. Однако, проекционный постулат Дирака фактически не нужен и никогда не используется для количественного описания реально наблюдаемых эффектов. В ряде работ понятие редукции, его необходимость подвергается сомнению (см. [240; 229; 209; 243; 247]). Например, согласно [243, с. 351], “...проекционное правило фон Неймана следует рассматривать как чисто математическое и ему не следует придавать никакого физического смысла.” В книге [160] на стр. 294 делается следующее примечание: “...при проведении тщательного различия между процедурой приготовления и процедурой измерения проективный постулат не нужен” [74].

Подводя итог, можно сказать, что, постулат Борна дает алгоритм сравнения теории и эксперимента. Это основной измерительный постулат квантовой механики, согласующийся со всеми известными экспериментами. Понятие же “редукции ВФ” в момент измерения выглядит излишним. Одной из главных логических ошибок, приводящей к редукции ВФ является игнорирование гетерогенности структуры физики, того момента, что сердцевину измерения составляет *практическая процедура сравнения с эталоном*, которая, в силу этого, НЕ МОЖЕТ быть предметом физической теории.

## 6.7. Мифы о квантовом измерении

“Проблема редукции ВФ” тесно связана с “проблемой измерения” в квантовой механике. Глобальная цель “*квантовой теории измерений*” — теоретическое (квантовомеханическое) описание процесса измерения, как он понима-

емом возмущении” квантового объекта макроскопическим прибором и о потенциальных возможностях в поведении квантового объекта. Н. Бор всегда подчеркивал целостность квантового явления и тот фундаментальный, по его мнению, факт, что “поведение атомных объектов невозможно резко отграничить от их взаимодействия с измерительным прибором”. В свою очередь, В.А. Фок указывал, что при описании взаимодействия микрообъекта с классическим прибором надо учитывать относительность к средствам наблюдения... Согласно И. фон Нейману, в квантовой теории специфическую роль играет сознание наблюдателя...” [137, с. 37—38].

ется в рамках “проблемы редукции (коллапса) волновой функции”, проанализированной выше. И та и другая опираются на указанные выше “утверждения 1-3”. Поэтому приведенный там критический анализ распространяется и на “квантовую теорию измерений” и ставит под сомнение правомерность этой глобальной цели.

В чем же тогда состоит предмет “квантовой теории измерений”? Выделим среди типов воздействия измерительного прибора на измеряемую систему: 1) разрушение (в измерениях “второго” рода); 2) фильтрацию; 3) взаимодействие через пробное тело. Именно последнее, т.е. различные варианты косвенных измерений, является главной реальной областью исследования квантовой теории измерений. Т.е. адекватнейшей областью исследования для квантовой теории измерений является теоретическое рассмотрение взаимодействия измеряемой системы и “пробного тела” в случае неразрушающего измерения “первого рода” в рамках стандартной квантовой механики. К этому же типу задач относится и анализ *точности измерительной аппаратуры* (не имеющий отношения к определению понятия состояний системы (ср. сноску на с.28)). В этом случае происходит расширение рассматриваемой системы за счет включения в нее соответствующей части измерительного прибора (пробного тела или, что по сути то же, некоторой части измеряющей системы), что эквивалентно *смещению границы  $T - И$*  на схеме 2.1). Далее возникает обычная квантово-механическая задача о составной системе, которая решается стандартными методами с помощью уравнения Шредингера или его аналогов. Это нормальная строго поставленная квантово-механическая задача. Но к полученному стандартными методами решению в конце часто прибавляют утверждение о “редукции ВФ” на тех основаниях, о которых говорилось выше. Т.е. в конце совершается теоретически никак не обоснованный скачок. Поэтому к собственно ТЕОРИИ измерений следует относить то, что получается *до этого скачка*. А это не выходит за пределы стандартной квантовой механики (куда мы включаем и квантовую статистическую механику, где роль волновой функции выполняет матрица плотности).

Аналогичная ситуация складывается вокруг анализа воздействия типа *фильтрации*. Фильтрация часто используется как при

приготовлении состояния, так и в качестве элемента измеряющего прибора. При смещении границы Т — И или П — Т (на схеме 2.1) фильтрация включается внутрь теории. При этом иногда она описывается последовательно квантово-механически, как в опыте Штерна-Герлаха, часто — менее подробно (по сути квазиклассически) посредством соответствующего проекционного оператора в математическом слое. Иногда последнее делается не очень явно. Так в рассматриваемом в [73] опыте быстрая частица с определенным импульсом регистрируется двумя счетчиками Гейгера, расположенными на некотором расстоянии друг от друга. При теоретическом рассмотрении этого опыта задача сводится к описанию взаимодействия этой частицы с атомами этих счетчиков, т.е. к задаче о неупругом столкновении частицы на паре атомов, напоминающей упомянутую выше задачу о камере Вильсона. Но в отличие от последней, здесь атомы “закреплены” посредством счетчиков Гейгера, размеры которых выступают как пространственные фильтры для состояний атомов, на которых происходит неупругое столкновение с частицей.

Во всех этих случаях никакой “проблемы редукции”, как и в случае с пробным телом, не возникает.

Итак, исходная ГЛОБАЛЬНАЯ постановка “проблемы квантовой теории измерений”, тесно связанная с “проблемой редукции волновой функции”, некорректна в силу необоснованности лежащих в их основании “утверждений 1—3”. Реальная же теория измерений связана с квантово-механическим рассмотрением различных вариантов косвенных измерений и включает приблизительно тот же круг вопросов, что и классическая теория измерений. И там, и там любая часть процедуры измерения, которая формулируется как физическая задача, решается в рамках соответствующего существующего раздела физики. Но в состав процедур измерения и там, и там включена и процедура сравнения с эталоном, которая является принципиально технической *процедурой*, а не физическим или психо-ментальным (т.е. включающим сознание) *явлением*“.

Таким образом, в настоящее время нерелятивистская квантовая механика с большой убедительностью описывается стандартным формализмом квантовой механики и подтверждается экспериментами. И нет никаких веских экспериментальных или теоретических оснований для утверждения о необходимости ревизии оснований нерелятивистской квантовой механики. Это подтверждает и поток новых результатов. В ее лоне родились и выросли такие разделы

физики, как ядерная физика, физика твердого тела, лазерная оптика, квантовая химия и др., а их технические реализации просто поражают воображение.

В частности, не имеет под собой основания существующая уже более 70 лет традиция, тесно связанная с “проблемой квантовой теории измерений” и “проблемой редукции волновой функции”, в рамках которой пытаются включить “*феномен сознания*” в основания квантовой механики. Эта традиция идет от фон Неймана [130] и представленная сегодня в мире такими весьма серьезными учеными как Е.Вигнер [262], Р.Пенроуз [245], а у нас в стране М.Б. Менским [120] и др.

“Мы всегда должны делить мир на две части — наблюдаемую систему и наблюдателя... То, что такую границу можно поместить сколь угодно далеко внутрь организма действительного наблюдателя, и составляет содержание принципа психофизического параллелизма (который фон Нейман чуть выше называет “*фундаментальным для всякого естественнонаучного мировоззрения*”. — АЛ.). Однако... эта граница должна быть где-нибудь проведена.... Ибо опыт может приводить только к утверждениям этого типа — наблюдатель испытал определенное (субъективное) восприятие, но никогда не к утверждениям таким, как: некоторая физическая величина имеет определенное значение” [130, с. 308]. Это утверждение сочетает мировоззрение физикализма (в духе Лапласа), инструментализма и очень популярного в 1930-40 гг. неопозитивизма (логического позитивизма). С уходом последнего со сцены (которое было раскритиковано в пух и прах постпозитивизмом 1960-70 гг. (см. подробнее в последнем разделе) роль наблюдателя как средства разрешения проблемы “редукции ВФ” была отведена сознанию [120; 215; 160].

Основанием для этой традиции служит “проблема измерения”. “Решение” этой “проблемы” в рамках данной традиции приводит к некоторому логически бесконечному ряду. И сознание, как “Бог из машины” в пьесах XVII—XVIII вв., призвано оборвать эту бесконечность (на сознание, как и на Бога, можно списать все). Приведенный выше анализ показывает шаткость основания этих положений.

То же можно сказать и о появившейся в 1970-х многомировой интерпретации [222, 9], где предполагается, что каждое слагаемое в выражении  $\Psi = \sum_k c_k |b_k\rangle$  “соответст-

вует отдельному миру. В каждом мире существует своя квантовая система и свой наблюдатель, причем состояние системы и состояние наблюдателя скоррелированы. Процесс же измерения можно назвать процессом ветвления волновой функции или процессом “расщепления” миров. В каждом из параллельных миров измеримая величина  $B$  имеет определенное значение  $b_i$ , и именно это значение и видит наблюдатель, “поселяющийся в этом мире. Поэтому для наблюдателя в каждом из параллельных миров происходит эффективная редукция волнового пакета” [9, с.25]. Неслучайно при изложении последней обсуждают, как правило, только случай одного наблюдателя. Случай более чем одного наблюдателя является трудноразрешимой задачей для этой “шизоидной” (от греч. schizo — разделяю) концепции.

Что касается обсуждения концепции декогеренции [120], также тесно связанной с “проблемой квантовой теории измерений” и “проблемой редукции волновой функции”, то здесь надо различить ряд моментов.

1) В [120] декогеренция связывается с проблемой “редукции волновой функции” при измерении в квантовой механике. Поскольку, с нашей точки зрения, такой проблемы нет, то этот аспект мы не рассматриваем.

2) Есть то, что М.Б.Менский классифицирует как мезосистемы — системы состоящие из большого числа атомов, которые в случае очень большого числа атомов должны переходить в макросистемы. По сути, речь идет об экспериментальной проверке выражения де Бройля для квантовомеханических интерференционных эффектов для все более массивных систем. Но никакого особого эффекта декогеренции здесь вводить не требуется.

3) Выделяется особый тип задач по взаимодействию квантовой системы с термостатом. Это и есть, собственно говоря, та область, где рождается и развивается теория декогеренции.

### **6.8. ЭПР-парадокс и “копенгагенские” интерпретации квантовой механики**

“Парадокс” Эйнштейна-Подольского-Розена (ЭПР), сформулированный для обоснования тезиса о недостоверности

(неполноте) здания квантовой механики, высвечивает еще ряд интенсивно обсуждающихся тем.

Суть предлагавшегося Эйнштейном, Подольским и Розеном мысленного эксперимента, изображенного на рис.6.2, довольно проста (особенно в постановке Бома). Пусть разлетаются две частицы со спином  $1/2$ , образывавшие синглетное (т.е. с суммарным спином  $S=0$ ) состояние (например, рождение электрон-позитронной пары [160, с. 267]). Когда они разлетелись настолько далеко, что взаимодействием между ними можно пренебречь, производится измерение проекции спина на ось  $z$  1-й частицы. До измерения мы знаем, что для каждой из частиц вероятности значений проекций спинов на любую ось, в том числе на ось  $z$ , равных  $+1/2$  и  $-1/2$  (на рисунке обозначены, соответственно, стрелками  $\downarrow$  и  $\uparrow$ ), одинаковы. Но после того, как мы измерили это значение для 1-й частицы, мы сразу узнаем значение проекции и для 2-й (их совместное состояние остается синглетным, следовательно сумма проекций спинов должна быть равна нулю). Далее сравниваются результаты измерений некомутирующих между собой величин, скажем, проекций спина на ось  $z$ , и на ось  $x$ .

На основании этого формулируется следующий парадокс: “В результате двух различных измерений, произведенных над первой системой, вторая система может оказаться в двух разных состояниях, описываемых различными волновыми функциями. С другой стороны, так как во время измерения эти две системы уже не взаимодействуют, то в результате каких бы то ни было операций над первой системой во второй системе уже не может получиться никаких реальных изменений... Таким образом, одной и той же реальности (вторая система после взаимодействия с первой), — говорит Эйнштейн, — можно сопоставить две различные (волновые — *А.Л.*) функции... Здесь реальность  $P$  и  $Q$  (величины измерений двух некомутирующих физических величин над второй системой — *А.Л.*) ставится в зависимость от процесса измерения, производимого над первой системой, хотя этот процесс никоим образом не влияет на вторую систему. Никакое разумное определение реальности не должно, казалось бы, допускать этого” [202, т. 3, с. 607-610].

Отсутствие парадокса, с нашей точки зрения, объясняется следующим. Во-первых, эйнштейновская формулировка неявно основывается на распространенном представлении о мгновенной “редукции (коллапсе) волновой функции” в ре-

Рис. 6.2

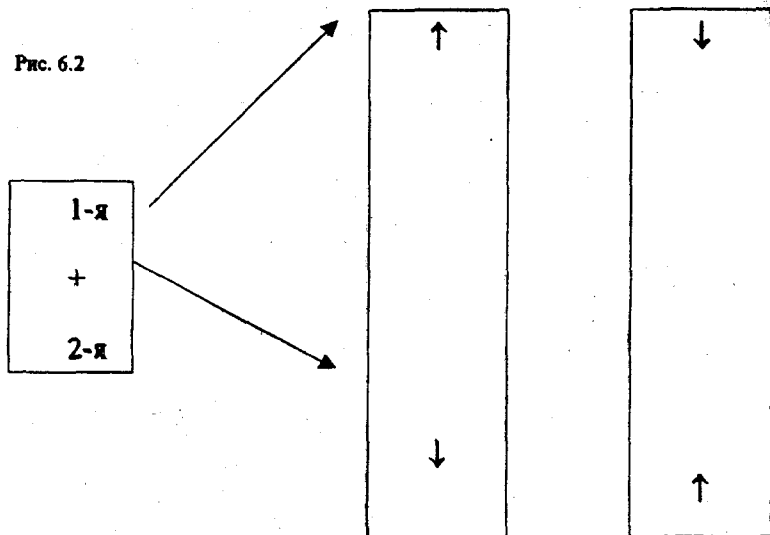


Рис. 6.2

зультате измерения, приводящей к квантовой нелокальности. Дело же состоит в том, что, как было уже указано, *одно измерение не задает состояние*, а если мы произведем достаточно много измерений, то для каждой частицы получим весьма тривиальный результат: равновероятность различных направлений спина частицы. Во-вторых, в мысленном ЭПР-эксперименте введены так называемые “перепутанные” состояния двухчастичных систем, которые нельзя просто перевести на язык двух одночастичных состояний (речь об этом в следующем параграфе), как это делает Эйнштейн.

Правильно поставленная задача - задача о корреляциях значений измерений в пространственно удаленных точках - решается в рамках стандартной квантовой механики и никаких ЭПР-“парадоксов” не порождает.

В последние годы выросла новая волна интереса к ЭПР-эксперименту и его модификациям. Это связано, как с переводом знаменитых “мысленных” экспериментов 1930-х

в реальные, так и с открытыми в последние годы перспективами новых приложений в сфере кодирования, передачи и обработки информации, введенных в ЭПР-эксперименте “перепутанных” состояний. Так в [207] экспериментально показано наличие ЭПР-корреляции на больших расстояниях и для пространственноподобных событий (т.е. событий, которые не могут быть связаны световым сигналом), а в [214] говорится о “телепортации фотона”.

Но, как справедливо отмечается в [75; 258 и др.], утверждение о мгновенном распространении информации в ЭПР-эксперименте возникает лишь *вследствие навязанной ему интерпретации*. Ничего выходящего за рамки стандартной квантовой механики здесь не происходит.

Более того существуют классические аналоги ЭПР-корреляций. В предлагаемой в [76] такой классической модели “как и в “настоящих” квантовых ЭПР-моделях, — говорит Д.Н.Клышко, — используется некоторый общий принцип управления “на расстоянии” парными корреляциями. Это управление осуществляется путем отбора определенных подмножеств из имеющегося... общего информационного множества... отличие классических и квантовых моделей заключается лишь в способе описания этого общего априорного множества... Воздействие удаленных наблюдателей на их взаимные корреляции не означает... какого-либо таинственного дальнего действия... Обратим внимание, что наблюдение корреляции требует передачи информации (протоколов испытаний...) от А и В к третьему наблюдателю С с помощью обычных каналов... Это обстоятельство исключает часто обсуждаемую возможность сверхсветового обмена информацией между А и В с помощью ЭПР-корреляции” [76, с. 93].

Передачи сигнала эксперимент Аспекта и др. [207] не производит и все его результаты описываются стандартной квантовой механикой [43; 166]. То же можно сказать и о напумевших недавно экспериментах по “телепортации фотона” [214]. В отличие от [207] здесь используется 3-частичная схема и речь идет о трехчастичной корреляции. Но измерения скорости передачи сигнала и передачи сигнала вообще в этом эксперименте тоже не производилось. Здесь тоже измерялись лишь корреляции. Как в ЭПР, когда речь идет о двойных корреляциях, так и при так называемой “квантовой телепортации”, когда речь идет о тройных корреляциях, принятая в [213; 212; 261; 221; 217; 216; 214] трактовка эффекта, — плод сильно теоретически нагруженной интерпретации, характерной для ЭПР-экспериментов.

Подчеркнем, что все *реальные эффекты* полностью количественно *описываются стандартной квантовой механикой* (см. [73; 75]).

Исторически из возникшего вокруг ЭПР-парадокса спора между А.Эйнштейном и Н.Бором, противопоставившим ЭПР-парадоксу свой “принцип дополнительности”, вырастает *множественность интерпретаций* квантовой механики и их размежевание на два больших лагеря [208]<sup>29</sup>.

Сторонники А.Эйнштейна признавали наличие парадокса и необходимости развития квантовой механики, которое пошло по линии разработки *теории скрытых параметров* Д.Бома и близких им по духу “*статистических интерпретаций*”<sup>30</sup>, полагающих, что результаты квантовой механики применимы не к отдельным частицам, а лишь к ансамблям частиц [208].

Другой лагерь составили приверженцы “*копенгагенской интерпретации*” — очень расплывчатого и широкого семейства интерпретаций (свои варианты были у Бора, Борна, Гейзенберга и др.)<sup>31</sup>, непризнающих ЭПР-парадокса. В качестве общей черты здесь можно выделить утверждение *о законченности* здания квантовой механики и от-

<sup>29</sup> Согласно ван Фраассену “интерпретация квантовой механики это живая философская тема... Стансы на эту тему включают эйнштейновский реализм, боровскую и гейзенберговскую версии Копенгагенской интерпретации, фоннеймановский постулат об “акаузальном” коллапсе волновой функции и ансамблевой интерпретации состояний. Эти взгляды не составляют специфических строго разработанных интерпретаций, таких какие мы имеем сейчас” [258, р. 241] (под последними подразумеваются логически строгие интерпретации, включая его собственный “модальный вариант копенгагенской интерпретации” [258], разрабатываемые в современной западной философии науки).

<sup>30</sup> “Статистическая интерпретация... полностью открыта в отношении скрытых переменных”. Она не требует их, но делает их поиск всецело осмысленным” [208, р.372].

<sup>31</sup> Например, у Г.Стаппа в статье “Копенгагенская интерпретация” вообще нет теоретической физики, хотя есть волновые функции, которые “описывают эволюцию вероятностей реальных вещей, а не сами реальные вещи” [250, р.1102]. Постулаты Бора, Борна, Шредингера или Гейзенберга он даже не упоминает, а “логическая суть” “копенгагенской интерпретации им” суммируется в следующих двух утверждениях: (1) Квантовомеханический формализм должен быть интерпретирован прагматически. (2) Квантовая теория обеспечивает полное научное описание атомных феноменов”.

ошибочным, — писал он, — теоретическое описание, непосредственно зависящее от эмпирических утверждений, что характерно, например, для боровского принципа дополнителности” [224, р. 674]. Эйнштейн считал, что: “Существует нечто вроде *“реального состояния”* физической системы, существующего объективно, независимо от какого бы то ни было *наблюдения или измерения*” [202, т.3, с. 624].

И мы полагаем, что так оно и есть. В соответствии с приведенным в конце предыдущего пункта определением состояния квантовой системы, которое фиксируется в математическом слое посредством волновой функции (ВФ), оно проявляется через распределение вероятностей различных наборов измеримых величин, в том числе и *“(взаимо)дополнительных”*.

Что касается по-разному подаваемому *“принципу дополнителности”*, то мы его соотносим со специфической для квантовой механики сложностью *измерения состояния* системы, т.е. восстановления состояния системы, исходя из данных измерения (при приготовлении таких сложностей не возникает). В общем виде это свойство представляется нам следующим образом.

Каждая *квантово-механическая система*, как и классическая, характеризуется соответствующим *набором измеримых величин*, определяющим ее состояние. Однако в квантовой механике эти величины распадаются на *“(взаимо)дополнительные”*. В математическом слое им отвечают некоммутирующие друг с другом операторы. *Физическим* же проявлением этого свойства является *“соотношение неопределенностей”* (СН) Гейзенберга, утверждающее, что для любого состояния системы произведение неопределенностей измерений этих величин (квадратные корни дисперсий соответствующих функций распределения) будет больше  $h/4\pi$  ( $h$  — постоянная Планка). Но выражение *“нельзя одновременно измерить две величины с любой точностью”* здесь следует понимать в логическом, а не временном смысле (т.е. не в смысле, что при измерении одной величины, прибор возмущает другую). Подчеркнем, что это свойство состояния системы, которое вытекает из стандартной квантовой *теории* — из уравнения Шредингера и постулатов Борна (поэтому, хотя в литературе выражения

“соотношение неопределенностей” и “принцип неопределенности” употребляются как синонимы [184], первое из них точнее выражает суть дела).

Исходя из этого абсолютно четкого определения (взаимо)дополнительности, набор измеримых величин, отвечающих данной квантово-механической системе разбивается на полные “наборы одновременно измеримых величин” (НОИВ) (т.е. величин не подпадающих под соотношение неопределенностей). В математическом слое каждому такому НОИВ, являющемуся характеристикой системы, отвечает полный (и ортонормированный) базис пространства состояний системы в гильбертовом пространстве. Таким образом, каждый такой НОИВ задает полное пространство состояний системы, а также базис по которому может быть разложена волновая функция любого состояния системы.

Волновая функция (ВФ) является математическим образом состояния квантовой системы и содержит полную информацию о состоянии системы. Но измерение соответствующих НОИВ, т.е. распределения вероятностей этих величин, дает лишь квадраты модулей соответствующих коэффициентов разложения ВФ по базису, отвечающему данному НОИВ. Фазы коэффициентов здесь не определяются и полная волновая функция не может быть восстановлена. Однако полную реконструкцию ВФ (или ее эквивалента — матрицы плотности), а следовательно и состояния системы, можно измерить с помощью *томографических* методов из измерения распределения измеримых величин (“наблюдаемых”), которые являются определенными комбинациями “дополнительных” измеримых величин [223, 236].

На более конкретных примерах это свойство, согласно Д.Н.Клышко, выглядит так.

“Часто (это самая простая его форма подачи) принцип дополнительности формулируют в “дихотомном” виде: в одном эксперименте можно измерить или координату  $x$  или импульс  $p$ . Однако в общем случае имеется непрерывная последовательность возможностей, когда измеряется некоторая линейная комбинация из координаты и импульса (в математическом слое этой измеримой величине соответствует оператор  $X' \equiv \alpha X + \beta P$ ). При этом ни координата  $x$ , ни импульс  $p$  не имеют в общем случае определенных значений. Соответствующие эксперименты привлекают большое внимание в последнее время (см. ссылки [30-35] в [74]).

Аналогично, в случае двухуровневой системы (частица со спином  $S = 1/2$  или фотон с определенной поляризацией) произ-

вольное состояние имеет вид  $\alpha|1/2\rangle + \beta|-1/2\rangle$ , поэтому здесь также имеется непрерывный ряд возможностей. В случае частицы со спином  $1/2$  переход к произвольному состоянию реализуется поворотом магнита Штерна-Герлаха.

В связи с этим измерения с различными  $\alpha$  и  $\beta$  не просто дополняют друг друга, а дают каждый раз новую информацию. Это обстоятельство и обеспечивает практическую возможность измерять состояние объекта (фиксируемое его волновой функцией). В реальных экспериментах для измерения состояния проводят несколько серий экспериментов, в которых измеряются различные комбинации  $X$  и  $P$  с достаточной мелким шагом (см. ссылки [36-42] в [74]).

Эту томографическую процедуру для измерения состояния квантовой системы мы рассматриваем как “сухой остаток” расплывчатых формулировок “принципа дополнительности”. В такой четкой и однозначной постановке, применяющейся по сути и в потоке практической работы внутри квантовой механики (в “первом (физическом)” потоке), “принцип дополнительности” вместе с расплывчатостью теряет и многие черты, которые ему приписывал Бор.

Во-первых, это касается центрального из приведенного выше его высказывания тезиса о “неделимости” квантовых явлений, “невозможности отграничить (атомные объекты) от их взаимодействия с измерительными приборами”. В реальной работе физика не встает никакой подобной проблемы различения “атомного объекта” и “измерительного прибора”, ситуация здесь та же, что и в классической физике. Связано это с тем, что физики умеют готовить исходное состояние, теоретически описывать его изменение с помощью ВФ и дать с ее помощью ответ на все осмысленные в квантовой механике вопросы, в том числе и о распределении вероятности любой измеримой величины, имеющей отношение к данной системе (в том числе и для “взаимодополнительных” величин).

Во-вторых, очень сомнительным представляется постоянно повторяемый им аргумент о непреходящем значении “языка классической физики” как средства коммуникации между физиками: “Любое описание природы должно быть основано на использовании представлений, введенных и определенных классической теорией” [20, т.1, с. 482] (см. также [20, т.2, с. 392—393]). С нашей точки зрения под фиксацией границы между “классической” и “неклассической”

кой” механикой, введенной Бором и подхваченной другими физиками и философами, скрывается граница между теоретической и “нетеоретической” частью (схема 2.1), между теорией и процедурами сравнения с эталоном. Эта граница действительно имеет логически необходимый статус. Но в качестве эталонов необязательны объекты классической механики. В теории элементарных частиц при определении нестабильных частиц с помощью пузырьковой камеры в качестве эталонов выступают более стабильные элементарные частицы. То же имеет место и при измерении неклассических измеримых величин, характеризующих элементарные частицы.

В итоге от “*принципа дополненности*” Бора остается лишь само понятие “(взаимо)дополненности” измеримых величин и выделенная Дж.Холтоном “тема” “исчерпывающего взаимоналожения различных описаний, включающих явно противоречащие друг другу понятия”, вполне согласующаяся с упомянутым выше топографическим методом. Но этот “сухой остаток” — чрезвычайно важное свойство квантовых состояний, характеризующее их отличие от классических. Это отличие заключается в новом по сравнению с классической механикой *свойстве дополненности* измеримых величин, характеризующих состояние системы.

Подчеркнем еще раз, что все вышесказанное, включающее “соотношение неопределенностей” и “принцип дополненности”, относится к свойствам квантовых систем и их состояний, а не является результатом “взаимодействия с прибором” при измерении. Эти свойства следуют из приведенных выше постулатов Шредингера и Борна и не являются независимыми принципами или постулатами.

#### **6.4. Метод “затравочной классической модели” в квантовой механике (постулаты Бора)**

Но рассмотренными выше двумя сериями постулатов Шредингера и Борна не исчерпываются основания квантовой механики. Шредингер ввел и продемонстрировал эффективность своего формализма на примере конкретной задачи о спектре атома (т.е. электрона в центральном элект-

рическом поле). Там участвовали многие необходимые понятия, но *общей процедуры*, позволяющей решать разнообразные квантовомеханические задачи еще не было. Эту задачу решает введенная Бором *процедура квантования "затравочной" классической системы* частиц (или полей в квантовой теории полей)<sup>18</sup>.

Эта процедура является наиболее развернутым образцом применения характерного для физики XX века метода "затравочной классической модели" (сх. 6.1.).

Суть ее состоит в следующем: берется "затравочная" модель физической системы из классического раздела физики (классической механики и электродинамики), затем берется классический математический образ этой системы (в виде соответствующего гамильтониана ( $H^{кл}$ ) или лагранжиана ( $L^{кл}$ )), после чего вводятся определенные процедуры (замена импульсов соответствующими операторами) для

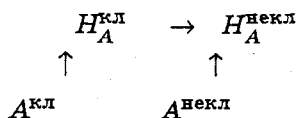


Схема 6.1

преобразования классического математического образа системы в квантовомеханический —  $H^{некл} = H^{оп}$ . Таким образом "затравочной" классической модели сопоставляют новое "неклассическое" математическое представление, в результате чего мы получаем модель с "неклассическими" свойствами<sup>II</sup>.

В квантовой механике эта процедура используется при постановке задачи (поищите откуда берется гамильтониан той или иной квантово-механической задачи и вы найдете лежащую в ее основании "затравочную" классическую модель).

Например, атом в нерелятивисткой квантовой механике рассматривается следующим образом. Берется затравочная модель в виде электронов в центральном положительном поле ядра.

<sup>18</sup> Эта процедура "квантования" Бора устанавливает границу между макро- и микро-мирами.

Затем, согласно процедуре квантования Бора для системы электронов получают математическое представление квантовой системы в виде оператора Гамильтона для системы электронов в центральном поле. Решая соответствующую квантовомеханическую задачу, получают набор собственных энергетических состояний этой системы электронов в виде набора собственных значений энергии  $E_k$  и отвечающих им волновых функций  $\psi_k$ . Поглощение или испускание фотона связывается с переходом этой системы из одного состояния в другое, такое, что разность энергий ( $E_k - E_m$ ) =  $h\nu_{km}/2\pi$ , где  $\nu_{km}$  — частота соответствующего фотона. Таким образом, энергетический спектр этой системы, связывается со спектрами поглощения и излучения атома

Аналогичный прием-постулат используется и при переходе от “нетеоретической” “приготовительной” части к теоретической, когда, например, пучку электронов с определенным импульсом приписывают волновую функцию (отвечающую начальному состоянию) в виде плоской волны.

Таким образом, *классическая механика и электродинамика оказываются принципиально встроенными в квантовую механику*, в ее теоретическую часть и в процедуры приготовления (о процедурах измерения речь впереди).

Эта процедура, которую мы назвали “методом затравочной классической модели”, может быть проведена с разной степенью полноты.

Ею, в частности, определяется выбор квазиклассического или последовательного квантовомеханического описания электромагнитного поля. Так часто некоторые явления описываются с помощью сочетания “первичных идеальных объектов” квантовой механики и классической электродинамики. В этом случае говорят о квазиклассическом приближении. По такой схеме вводится спин квантовой частицы (в первую очередь у электрона): ей приписывается классический механический и магнитный моменты, которым затем приписываются квантовые характеристики по аналогии с орбитальным моментом (в духе “старой” квантовой механики). Так поступают в опыте Штерна и Герлаха и эффекте Зеемана, где сталкиваются с взаимодействием электрона с магнитным полем. Электрон со спином здесь не является новым ПИО по сравнению с электроном без спина, поскольку здесь спин добавляется по квазиклассической логике. Другое дело электрон со спином в релятивистской квантовой механике Дирака, статистике Ферми-Дирака или запрете Паули. Здесь речь идет об электроне со спином как новом ПИО по сравнению с электроном в нерелятивистской квантовой механике Шредингера—Борна—Бора.

“Метод затравочной классической модели”, широко используется в физике XX в. Аналогичная процедура имела место и в теории относительности. Но если там в модельном слое пространство состояний по сути не менялось, то в квантовой механике ситуация оказывается сложнее. Эту сложность фиксирует рассмотренный выше “принцип дополненности”, характеризующий существенное отличие состояний квантовой частицы по сравнению с классической.

Посредством этой характерной для физики XX в. процедуры в физику проникает “пифагореизм” (и очень близкая ему по духу “проблема необычайной эффективности математики” Е.Вигнера [28]) и впечатление о “математизации физики” XX в. Так, как уже говорилось в п.3.1, теоретическая физика XX в. широко использует принципы инвариантности и симметрии при конструировании математического образа физической системы (гамильтониана). Но такое увеличение роли математического конструирования не обязательно ведет к пифагореизму и не отменяет описанную выше роль физического моделирования. Понимание, недостаток которого ощущают В.Гейзенберг и другие в квантовой механике, по-прежнему связано с построением физических моделей. Математическое конструирование, с нашей точки зрения, надстраивается над этими построениями, состоящими из частиц и полей. При этом “математик” (точнее разделов математики) много и создатели нового раздела физики выбирают то, что им больше подойдет из достаточно широкого набора.

Непривычным моментом в предлагаемом изложении квантовой механики является *различение* физической системы и ее математического образа и, особенно, *состояния системы и отвечающего ему математического образа* — волновой функции (ВФ), другими словами, введение наряду с математическим полноправного модельного слоя (хотя утверждение, что “волновая функция не имеет непосредственного физического смысла” достаточно общепринято). Эта двухслойность теоретической части была заложена еще Г.Галилеем в его “Беседах...”. Весьма ярко это различие проявляется в характерном для физики использовании различных “математических представлений” (т.е. математических образов физической системы, ее состояний и соответствующих уравнений движения): Шредингера, Гейзенберга, взаимодействия и др. для решения одной и той же (по физической модели) задачи (это является причиной существенной “головной боли” у философов, которые сводят теоретическую часть к математическим уравнениям).

Но наиболее четко модельный слой проступает в описанной процедуре квантования “затравочной классической модели”, где к “затравочной” классической модели пристраивают *новое квантовомеханическое математическое представление* (представление Шредингера) с *новым уравнением движения, что приводит к новому типу поведения системы*. Так опосредованно, через классическую модель строится квантовая модель системы и устанавливается соответствие между квантовой системой и ее математическим образом (левая стрелка на сх. 3.1), в качестве которого выступает оператор Гамильтона  $H^{оп}$ , входящий в уравнение движения Шредингера (в математическом представлении Шредингера).

Этот прием мы рассматриваем как то, что в практике физика-теоретика соответствует обсуждаемому философами “принципу соответствия” Бора. Часто в философской литературе приводится ранняя формулировка “принципа соответствия” Бора (см. формулировку И.В.Кузнецова и ее критику С.В. Илларионовым (в [150]) и И.С. Алексеевым [1, с.165]). Там делается упор на “асимптотическом соответствии” классической и квантовой теории в области малых частот (больших квантовых чисел) [1, с. 165] в теории атомных спектров. При этом опираются на боровское “требование непосредственного перехода квантовотеоретического описания в обычное в тех случаях, когда можно пренебречь квантом действия” [20, т. 2, с. 66]. Но с 1925 г., с появления “новой” квантовой теории Гейзенберга, у Бора просматривается и другая процедура (И.С.Алексеев ее выделял как “соответствие “спектр-движение”” [1, с. 165]), близкая рассматриваемой нами процедуре квантования “затравочной” классической модели. Она проглядывает уже в продолжении приведенной “канонической” цитаты из работы 1930 г. и даже в работе Бора 1925 г. [20, т.2 с. 22-23] и выполняет ту же функцию: заполняет последние лакуны квантовой теории (процесс перехода от “ранней” к “зрелой” формулировке можно проследить по [50, с. 116-123, 196-216]. Но именно приводимая нами процедура квантования “затравочной” классической модели используется в современной физике, порою без ссылки на боровский принцип, как, например, в изложении Дирака [53, с.156].

Итак, новый квантовомеханический “первичный идеальный объект” — квантовая частица получается из классической частицы (или волны) путем введения нового математического представления, вследствие чего она приобретает неклассическое поведение (включая проникновение через тонкие стенки (потенциальный барьер), явления

сверхтекучести, сверхпроводимости и др.). При этом “волновые функции” являются математическим средством описания, а не мистической реальностью. Процедура квантования “затравочной” классической системы Бора и “вероятностной интерпретации волновой функции” Борна позволяют преодолеть провозглашавшуюся Бором “немодельность” (“абстрактность”, “символичность”, “формальность”) квантовой механики и снять упреки “классиков” (в лице А.Эйнштейна, Л. де Бройля, Д.Бома) в недостроенности здания квантовой механики. Но, поскольку утверждение о непонятности квантовой механики можно услышать от крупнейших физиков XX в., проблему “понимания” следует обсудить особо.

### 6.5. Что такое “понимание” в физике?

В.Гейзенберг в статье “Понимание” в современной физике” (1920—1922) говорит, что он “не знает что, собственно, означает слово “понимание” в естествознании”. “Но если ты овладел математической схемой теории, — возражал В.Паули, — то это означает, что ты в состоянии для каждого данного эксперимента рассчитать, что будет воспринимать или измерять покоящийся наблюдатель и что — движущийся (речь шла об эйнштейновской теории относительности — А.Л.). Ты знаешь также, что у всех нас есть основания ожидать от реального эксперимента точно таких же результатов, какие предсказывает расчет. Что тебе еще нужно?

— Для меня трудность как раз в том, — отвечал Гейзенберг, — что я сам не знаю, чего тут еще можно требовать. Но у меня такое ощущение, будто я в известном смысле обманут логикой, в соответствии с которой действует математическая схема этой теории”. “Мы хотим каким-то образом говорить о строении атома, а не только о наблюдаемых явлениях, к которым относятся, например, ... капли в камере Вильсона”, — пишет он в другом месте [36, с. 162, 112].

В.Паули и В.Гейзенберга представляют две типичных для квантовой механики позиции, соответствующие двум указанным выше потокам.

В. Паули озабочен лишь физическими результатами, ему достаточно хорошо работающего формализма (то, что в [160] названо “минимальной интерпретацией”). Аналогична позиция “копенгагенца” М. Борна: “Физик должен иметь дело не с тем, что он может мыслить (или представлять), а с тем, что он может наблюдать. С этой точки зрения состояние системы в момент времени  $t$ , когда не предельвается никаких наблюдений, не может служить предметом рассмотрения” [21, с. 173].

В. Гейзенберг озабочен построением “картины мира” [36, с. 108 и д.], прорисовкой физических моделей. Именно здесь возникает множественность “интерпретаций”, характерная для квантовой механики.

Эти мотивы он развивает и в статье “Что такое “понимание” в теоретической физике?” [37], где он производит “обсуждение самого смысла слова “понимание” с точки зрения теоретической физики”. Ссылаясь на пример теории Птолемея с ее высокой “предсказательной ценностью” Гейзенберг подчеркивал, что несмотря на это “большинство физиков согласятся, что лишь после Ньютона удалось добиться “реального понимания” динамики движения планет.

Гейзенберг и здесь не пришел к однозначному ответу. В этой статье, как и в приведенных в начале раздела выдержках из диалога с Паули, ставится проблема и обсуждаются различные варианты ее решения, включая ссылки на критерии “простоты” и “красоты”. Если рассматривать эти размышления как первичный материал, то можно найти много моментов, говорящих в пользу того, что именно с построением физической модели связано понимание в физике. В пользу этого говорят и многочисленная “информация к размышлению” — приводимые им примеры теории движения планет, турбулентного движения в жидкости, сверхпроводимости. Все эти примеры показывают, что ощущение “понятности” возникает у физиков после построения соответствующих моделей. По-видимому, в этом же смысле можно проинтерпретировать утверждение Гейзенберга, что “мы поняли некоторую группу явлений, если мы нашли корректные понятия (concepts) для описания этих явлений” или “построили упрощенные модели, которые обнаруживают характерные особенности наблюдаемых явлений”.

Исходя из такого понимания “понимания” в физике, мы совершенно не согласны с довольно популярным утверждениями Р.Фейнмана “что квантовую механику никто не понимает, хотя многие считают, что в ней все “чисто” и очень хорошо” и Ф.Дайсона, что последнее подразумевает ситуацию, “когда потребность понимать исчезает и люди начинают просто работать с аппаратом” [1, с. 168].

С нашей точки зрения, причина непонимания, о котором говорят Р.Фейнман и Ф.Дайсон, — применение неадекватных для этого случая классических понятий. Так *непонятность*, даже парадоксальность “дуализма волна-частица” возникает при попытке понять квантово-механическое явление (типа поведения электрона) *в логике классических понятий*, где понятия частицы и волны являются альтернативными.

Но с той же ситуацией мы столкнемся, если в понятиях классической ньютоновской механики попытаемся описать электромагнитную волну с ее поперечным характером колебаний, требующим чрезвычайно твердого эфира, который мы почему-то не ощущаем, или при описании поведения тел, движущихся с околосветовыми скоростями. И это естественно: если бы в старых понятиях можно было описать новые явления, то не надо было бы создавать *новые* разделы физики.

“Непонятность” — это исходное состояние, которое в ходе сложной работы преобразуется в новые “первичные идеальные объекты” и *разделы науки*. Для квантовой механики такой исходной непонятностью стал сформулированный А.Эйнштейном, Луи де Бройлем и др. “корпускулярно-волновой дуализм”, который в 1925—1926 гг. трудами Шредингера, Гейзенберга, Борна, Бора, Йордана и Дирака был преобразован в новый “первичный идеальный объект” (ПИО) — квантовую частицу.

*Что значит понять, что такое частица* в классической механике? В релятивистской механике? Так ли уж принципиально отличается совокупность вопросов, на которые надо ответить, чтобы понять что такое частица в квантовой механике?

Можно, конечно, утверждать, что понятность — это наглядность, что частица в классической механике — это

последовательное абстрагирование от пушечного ядра. Но здесь уместно вспомнить о неоптическом электромагнитном поле, которое вряд ли может считаться наглядным представлением — никто его не видит и не ощущает непосредственно органами чувств. Да и не анахронизм ли само требование наглядности для понятности? Вспомним геометрию Евклида (в формулировке Гильберта), не говоря о геометрии Лобачевского. Так ли уж наглядны химические атомы?

Есть еще отождествление понятности с привычностью (тогда понятность становится поколенческой чертой: для поколения становления электродинамики Максвелла непонятым является понятие поля (электродинамика Максвелла — это уравнения Максвелла, утверждал Герц); для поколения второй трети XX в. — непонятной должна быть квантовая механика). Но нам представляется, что отождествление понятности и привычности (“физики не понимали, не понимали и привыкли”) неверно.

Мы полагаем, что *понятность в физике* связана с *прорисовкой физической модели*, которая задается ответами на следующие три главных вопроса, задающие системно-неявный тип введения основных понятий в физике:

Во-первых, частица характеризуется *типом своих состояний*, которые в классической и релятивистской механике задаются значениями положения  $x$  и импульса  $p$  (скорости  $v$ ), а в квантовой механике — распределениями вероятностей значений для этих (и других) измеримых величин, с учетом обсуждавшегося выше свойства “дополнительности”.

Во-вторых, определенный тип движения задается соответствующим *уравнением движения* (классическим, релятивистским, квантовым), с которым физический объект и его состояния связаны через соответствующие математические образы (в классической и релятивистской механиках это функции Гамильтона или Лагранжа — для системы и пары чисел  $(x, v)$  для состояния системы; в нерелятивистской квантовой механике — оператор Гамильтона для системы и волновая функция для состояния системы).

Б-третьих, надо уяснить *процедуры измерений*, входящих в это описание величин. Здесь во всех трех механиках они существенно разные: измерения в классической

механике основаны на понятии инвариантного твердого тела, из которого изготавливают эталонный метр; в релятивистской механике — на понятии инвариантной скорости света; в основании процедур измерения в квантовой механике лежат постулаты Борна.

Таким образом, непонятность квантовой механики сильно преувеличена<sup>19</sup>.

Рассмотрим теперь основания утверждений о неполноте квантовой механики, широко и живо обсуждающиеся в “философском потоке” уже около 70 лет и опирающиеся на тесно связанные между собой “явление” “коллапса волновой функции”, проблему “квантовой теории измерений”, “парадокса” Эйнштейна-Подольского-Розена (ЭПР) (изложение этих тем производится в значительной степени по работе [74], выполненной в соавторстве с Д.Н.Клышко. Работа состоит из совместных частей и частей принадлежащих одному из авторов. Прямые ссылки на эту статью означают, что данная часть текста принадлежала Д.Н.Клышко.).

## 6.6. Миф о коллапсе ВФ. Анализ основных утверждений

Один из наиболее общепринятых путей, на котором является “явление” “редукции волновой функции” выглядит так. Пусть измеряется какая-либо величина (например, положение частицы в плоскости экрана (фотопластинки)), которой отвечает оператор  $B$ , причем прибор показал некоторый результат  $b_1$ .

Согласно ряду учебников и мнению многих физиков (эта традиция идет от фон Неймана) справедливы:

---

<sup>19</sup>

Для сравнения приведем реакцию на теорию электромагнитного поля Максвелла, когда ее пытались усвоить в старых механических понятиях эфира. “Реакция французов:” сложная и надуманная теория... Людвиг Больцман восхищен красотой уравнений, но считает, что их “нельзя понять”.... “Трудно избавиться от чувства, что эти математические формулы живут независимой жизнью и обладают собственным интеллектом, что они мудрее, чем мы сами...” ( говорил Герц. — А.Л.)”

УТВЕРЖДЕНИЕ 1: это измерение провозглашается *явлением*, которое должно описываться квантовой теорией<sup>20</sup>;

УТВЕРЖДЕНИЕ 2: это явление описывается как *мгновенное изменение волновой функции* (ВФ) системы, от  $\Psi = \sum_k c_k |b_k\rangle$  к  $|b_1\rangle$  (в общем виде, в дираковских обозначениях)

$$\Psi = \sum_k c_k |b_k\rangle \rightarrow |b_1\rangle$$

с вероятностью  $|c_1|^2$  (в соответствии с правилами Борна), этот скачок и называется “редукцией” или “коллапсом” ВФ;

УТВЕРЖДЕНИЕ 3: такой переход не описывается уравнением Шредингера, т.е. оказывается “незаконным” с точки зрения уравнений стандартной квантовой механики. Выводимая из последнего утверждения неполнота современной квантовой механики и необходимость дополнительного развития ее оснований и составляет суть того, что со времен фон Неймана имеют в виду под “проблемой” “редукции (коллапса) волновой функции”.

Чтобы проиллюстрировать царящую здесь сумятицу, рассмотрим очень характерные и показательные высказывания А.Садбери, проявляющие непонимание сути различия областей действия уравнения Шредингера и постулатов Борна.

“Мы имеем два различных закона, управляющих изменениями состояний системы, — говорит он. — Первый дается уравнением Шредингера..., которое характеризует поведение системы до тех пор, пока она не возмущена каким-либо экспериментом по измерению физической величины. Такое поведение полностью детерминировано, так как, зная начальное состояние системы, получаем однозначное предсказание будущего его состояния. Второй закон — проективный постулат<sup>21</sup> (фон Неймана — А.Л.), который управляет системой, когда она подвергается акту изме-

<sup>20</sup> Согласно ван Фраассену, “проблемы измерений” формулируется следующим образом: “Измерение само является физическим взаимодействием и, следовательно, процессом в области применимости квантовой механики” [257, p.177] (см. также [253]).

<sup>21</sup> С помощью набора “собственных” волновых функций  $\chi_k \equiv \chi_k^u$  вероятности  $P_k^u$  и “проекционные операторы”  $R(u_k)$  выражаются (в обозначениях Дирака) следующим образом:

рения. Он имеет принципиально вероятностную природу и описывает непредсказуемые изменения в системе, возникающие в ней в результате проведенного измерения... Что отличает физический процесс, являющийся экспериментом по измерению физической величины, который управляется проективным постулатом, от физического процесса, который управляется уравнением Шредингера?... " [160, с. 255].

Популярное утверждение Садбери, что "мы имеем два различных закона, управляющих изменениями состояний системы", принципиально неверно. Согласно структуре квантовой механики *изменениями состояний системы* в рамках одного эксперимента управляет только уравнение Шредингера. Постулаты Борна (проекционный постулат — одна из форм их фиксации), в отличие от уравнения движения — уравнения Шредингера, не имеет отношения к "изменениям состояний системы" или, что то же самое, к "изменениям в системе". Они выполняют совсем другую, можно сказать "ортогональную", функцию — задают *связь* между математическим образом измеримой величины, модельной ее составляющей (впрочем, у Садбери этот слой принципиально отсутствует)<sup>22</sup> и процедурами измерения. Они описывают связь между математическим и нижележащими слоями (правые вертикальные стрелки на сх. 3.1)<sup>23</sup>.

"Отметим, что существует еще позиция "наивного реалиста-эмпирика", который уверен, что когда он непосредственно гла-

$$P_k^u = |a_k|^2 \equiv |\langle \psi | \chi_k \rangle|^2 \equiv \langle \psi | \chi_k \rangle \langle \chi_k | \psi \rangle \equiv \langle \psi | R(u_k) | \psi \rangle,$$

$$R(u_k) \equiv |\chi_k \rangle \langle \chi_k|,$$

где  $\langle \psi | \chi_k \rangle$  и  $\langle \psi | u^{оп} | \psi \rangle$  — обозначение определенных математических операций

$$\langle \psi | \chi_k \rangle \equiv \int \psi(q)^* \chi_k(q) dq, \quad \langle \psi | u^{оп} | \psi \rangle \equiv \int \psi(q)^* u^{оп} \psi(q) dq,$$

где "\*" — знак комплексного сопряжения).

22 Игнорирование модельного слоя приводит к потере четкого различия между измерением и экспериментом и появлением выражений типа "эксперимент по измерению" или отождествлению измерения и эксперимента

23 Заметим, что использование Д.Н.Клышко для описания "времяпролетных" экспериментов вигнеровских проекционных операторов относятся к другому, особому случаю, в котором мы сталкиваемся с расширением квантовой механики: с помо-

зом видит образование яркой точки на фотоэмульсии (в разных испытаниях точка образуется в разных точках фронта плоской волны, но при достаточно малом потоке частиц при каждом испытании образуется не более одной точки), это и есть явление коллапса (или редукции) ВФ (“Возможность превратилась в действительность”). Однако “появилась точка” и “произошел коллапс ВФ” — не равнозначные утверждения. Первое — экспериментальный факт, второе — лишь возможная интерпретация этого факта” [74; 233], предполагающая три выделенных выше теоретических утверждения.

Со времени ее формулировки в начале 1930-х эта проблема рассматривается (в рамках “второго” потока) как очень серьезная и ради ее преодоления в квантовую механику вводят даже сознание [130; 245; 120] и множество миров в многомировой интерпретация Эверетта [222]. Попытками решения этой проблемы занимается и так называемая “квантовая теория измерений”, которую мы рассмотрим ниже.

Поэтому проанализируем эти “утверждения 1 — 3”, посмотрим насколько они обоснованы.

Уже первое утверждение вызывает сомнение. Как говорилось выше в связи с введением схемы 2.1 в рамках нашей модели квантовой механики (как и других разделов физики) раздел физики представляет собой исходно (со времен Галилея и до наших дней) гетерогенную конструкцию, состоящую из теоретической (Т) и “нетеоретических” (П, И) частей (сх.2.1). Для квантовой механики соответствующее гетерогенное описание мы находим у В.А.Фока. Анализируя структуру реального эксперимента в квантовой механике, Фок различает в нем “три стадии: приготовление объекта, поведение объекта в фиксированных внешних условиях, которое только и является предметом описания квантовомеханической теории (она отождествляется нами с “Т-блоком” сх. 2.1.), и собственно измерение” (а в соответствующем приборе — три части: “приготавливающую”, “рабочую” и “регистрающую”) [185, с. 166] (подобное членение можно найти и у Гейзенберга [36, с. 20]). Сравнение со сх. 2.1 выявляет и подчеркивает принципиально нетео-

стью дополнительных постулатов он вводит проекционные операторы в уравнения движения, в результате чего проекционные операторы начинают управлять изменением состояния системы.

несение ее утверждений к *отдельному микрообъекту* (что мы разделяем), а также (отрицаемое нами) представление об *измерении как воздействии*, ведущее к проблеме “редукции волновой функции”.

ЭПР-парадокс и порожденные им споры содержат существенную *философскую и методологическую составляющие*.

Философские аспекты касаются целостного взгляда на мир. Они менее конкретны, но именно они задают систему вопросов, признаваемых осмысленными, от них зависит не только формулировка внутренних парадоксов раздела науки, но и само их существование и критерий достроенности или недостроенности раздела науки. Очень четко это фиксирует М. Борн: “Взгляды Эйнштейна представляют собой философское убеждение, которое не может быть ни доказано, ни опровергнуто физическими аргументами. Единственное, что можно сделать в плане возражения этой точке зрения, это сформулировать другое понятие реальности ...” [21, с. 170]. И действительно, все “парадоксы” квантовой механики могут рассматриваться как претензии “реалистов” к “конструктивистам” [102]<sup>32</sup>.

Как философская позиция “копенгагенская” интерпретация объединяет направления, которые выступают против “реалистической” интерпретации квантовой механики Эйнштейна и его последователей. Такая антиреалистическая позиция легко приходит к крайне операционалистской и инструменталистской позиции, отрицающей существование физических моделей (Мод-слой на сх. 3.1) утверждающей, что “квантовая теория есть математический формализм, позволяющий ученым успешно вычислять вероятности определенных событий” [246], или что “законы квантовой механики дают только вероятностные связи между результатами последовательных наблюдений, производимыми над системой” [260, р. 6]. Например, предлагаемое копенгагенцом Борном решение звучит так: “Физик должен иметь дело не с тем, что он может мыслить (или представлять), а с тем, что он может наблюдать. С этой точки зрения состоящие системы в момент времени  $t$ , когда не проделывается ни-

---

<sup>32</sup> На “реалистический” характер Эйнштейновской отправной точки указывал Паули Борну [203, с. 91, 96.].

каких наблюдений, не может служить предметом рассмотрения” [21, с. 173]. Поэтому сформулированные Эйнштейном парадоксы демонстрируют “только лишь парадоксальную форму традиционной (эйнштейновской) точки зрения, где ненаблюдаемое промежуточное состояние считается таким же реальным, как действительно наблюдаемое конечное состояние” [21, с. 173]. Т.е. Борн (как и философ ван Фраассен)<sup>IV</sup> просто отбрасывает (запрещает) сформулированные “реалистом” Эйнштейном вопросы, относящиеся к обсуждению теоретической модели квантовых объектов.

Мы не разделяем этих крайних позиций. С нашей точки зрения, как мы уже говорили, *квантовая физика столь же модельна и столь же объективна, как и классическая физика*<sup>33</sup>, хотя эта модельность и объективность существенно отличаются от той, к которой стремились “реалисты”.

Заметим, что множественность интерпретаций — черта характерная только для квантовой механики. Аналогичная ситуация имела место некоторое время при становлении электродинамики Максвелла, но с введением понятия электромагнитного поля — нового основного ПИО электродинамики (т.е. с завершением “С-фазы” на сх. 2.1) период “интерпретаций” в электродинамике окончился.

Специфика нашей концепции интерпретации существенно связана с различием между обсуждавшейся в гл.2 фазой “создания” (С) новых “первичных идеальных объектов” и фазой “использования” (И) уже имеющихся “первичных идеальных объектов”.

*В квантовой механике завершение “С-фазы” произошло к концу 1920-х, когда были созданы все элементы для преобразования исходного парадокса “волна-частица” в новый “первичный идеальный объект” — квантовую частицу.* В этом состояла суть перехода к “новой” квантовой механике. Это осталось неосознанным из-за отсутствия адекватной системы философских и методологических понятий. В результате вместо концентрации внимания на новом качестве состояния квантовой системы, проанализи-

<sup>33</sup> Это не значит, что все проблемы решены. Существуют, например, проблемы с квантованием нелинейных полей. Но в этой новой области — нелинейной динамике, и в классической механике не все принципиальные проблемы решены.

рованном в п.6.3, обсуждение (под воздействием Бора, с одной стороны, и фон Неймана — с другой) пошло по пути приписывания нового качества измерению.

Для ван Фраассена (и многих других) любая теория дает модель явления, т.е. рассматривается как принадлежащая к И-фазе. Интерпретация у него появляется как нечто внешнее к теории, как “добавочная история” (‘additional storey’). Мы же, в основном, говорим о фазе создания новых “первичных идеальных объектов” (С-фазе), отвечаем на вопрос “какова (что такое) квантовая частица?” (равнозначного вопросу “каково ядро раздела науки квантовой механики?”), а не на вопрос “каков мир?” (‘What is the world like?’) [258, p. 242]. В процессе создания “первичного идеального объекта” места для обсуждающейся ван Фраассеном и др. “интерпретации” уже нет, поскольку при нашем “модельном подходе” модель не прибавляется к математическому выражению, а является центральным элементом всего построения.

*Место создания “интерпретации” у нас занимает создание модели квантовой частицы — “первичного идеального объекта” квантовой механики, т.е. построение полной физической модели ядра раздела науки (ЯРН).* Места для “интерпретаций” квантовой механики нет ни до, ни после того, как “первичные идеальные объекты” уже созданы. И никаких фейерабендовских “эмпирически излишних” или фраассеновских “скрытых” переменных<sup>V</sup> здесь не возникает.

## 6.9. Некоторые особенности многочастичных квантовых систем

Выше мы говорили, в основном, об одночастичных системах, т.е. обсуждали особенности квантовой частицы, по сравнению с классической. Особенность ЭПР-эксперимента состоит в том, что он имеет дело с особым классом сильно коррелированных состояний двухчастичных (или в более общем случае многочастичных) систем, которые не допускают интерпретации на языке одночастичных состояний, которую использовал Эйнштейн и его последователи при формулировке ЭПР-парадокса. Здесь осуществляется выход на новую область квантовых явлений, для которых квантовые одночастичные модели оказываются недостаточными<sup>34</sup>.

<sup>34</sup> Особенно остро этот вопрос сегодня стоит в квантовой оптике, где часто работают с разнообразными коррелированными многофотонными состояниями [72].

*Неразложимость* многочастичных систем на одночастичные не является спецификой ЭПР-эксперимента. Эта черта характерна для многих многочастичных систем. Так она воспроизводится на примере запрета Паули (говорящем, что в случае фермионов в одном состоянии может находиться только одна частица<sup>35</sup>), который действует и на больших расстояниях.

В отличие от своего классического аналога, многочастичная квантовая система обладает некоей дополнительной целостной характеристикой, что превращает ее в особый "первичный идеальный объект". Эта особая характеристика фиксируется постулатом о неразличимости (тождественности) квантовых частиц, составляющих многочастичную квантовую систему. Из него следует статистическое распределение квантовых частиц по состояниям  $n_i = 1 / (\exp \{ (E_i - \mu) / kT \} \pm 1)$  (где  $E_i$  — энергия состояния, а  $\mu$  — химический потенциал,  $k$  — постоянная Больцмана,  $T$  — абсолютная температура)<sup>36</sup> для частиц, соответственно, с полуцелым (фермионов) и целым (бозонов) спином. Распределение для фермионов (знак +) носит имя Ферми-Дирака (из которого следует "принцип запрета" Паули), а для бозонов (знак -) — Бозе-Эйнштейна.

Коррелированное состояние многочастичной системы тогда характеризуется совместной многочастичной функцией распределения вероятностей. Последней отвечает свой математический образ (например, матрица плотности)<sup>37</sup>.

<sup>35</sup> Играющее здесь первостепенную роль новое понятие и измеримая величина спин - первое существенно неклассическое, т.е. не имеющее классического аналога, понятие квантовой механики. Оно последовательно возникает в рамках релятивистской квантовой механики электрона Дирака как новое модельное свойство.

<sup>36</sup> Т.е. для достаточно высоких температур статистика та же, что и для классических частиц. оптике, где часто работают с разнообразными коррелированными многофотонными состояниями [64].

<sup>37</sup> При этом неравенства Белла, Кохена-Спекера и др. [73] для таких коррелированных многочастичных состояний являются чем-то вроде частных аналогов "принципа неопределенности"

Случай многочастичных квантовых систем, по сути, единственный последовательный случай внедрения холистского принципа в физику (если не считать остающийся уже полвека маргинальным подход [259]).

Таким нам видится расширение квантовой механики на многочастичные системы, физические особенности которой весьма четко выявляются в мысленном эксперименте А.Эйнштейна и его коллег. При этом никаких мистических мгновенных взаимодействий на расстоянии (часто скрывающихся за термином “нелокальность”) не возникает, если применять адекватные “первичные идеальные объекты”. Парадоксы возникают если новый “первичный идеальный объект” — многочастичную квантовую систему — пытаться моделировать с помощью “старых” одночастичных первичных идеальных объектов (квантовых частиц).

---

для одночастичных систем. Неравенство Белла фиксирует (в математическом слое) специфически квантовомеханическое свойство таких коррелированных состояний многочастичных систем — отсутствие совместной двухчастичной функции распределения вероятностей для некоммутирующих величин [73].

## 7.1. "Химическая" модель

Теперь обратимся к релятивистской квантовой механике или теории элементарных частиц (ЭЧ).

Первой ЭЧ стал электрон<sup>1</sup> — носитель отрицательного электричества в атомах, обладающий минимальной величиной заряда. Он был открыт английским физиком Дж. Дж. Томсоном в 1897 г. В 1919 г. англ. физик Э. Резерфорд обнаружил среди частиц, выбитых из атомных ядер, протоны — частицы с положительным зарядом той же величины, что и у электрона, и массой в 1840 раз большей, чем у электрона. В 1932 г. английским физиком Дж. Чедвиком была открыта другая частица, входящая в состав ядер атомов — нейтрон, которая не обладает электрическим зарядом и столь же массивна как и протон. К первому поколению ЭЧ следует отнести и квант электромагнитного поля — фотон, понятие которого было введено А. Эйнштейном в 1905 г.<sup>2</sup>

Далее, особенно в послевоенный период, число открытых элементарных частиц нарастало лавинообразно. До 1950-х основным источником были космические лучи. После — специальные ускорители, в которых электрическим полем разгоняют электроны или протоны до очень больших энергий, чтобы столкнуть с "мишенью" и посмотреть, что из нее вылетит. Размеры и стоимость ускорителей стремительно нарастала, как и число полученных таким образом элементарных частиц, которых сегодня уже насчитывают более 350 и это число продолжает увеличиваться. Объединяет их в семейство ЭЧ то, что они не принадлежат ядрам атомов (другое их название — субатомные или субъядерные частицы), а также однотипный способ получения и регистрации.

*Эти элементарные частицы определяются процедурами их приготовления и регистрации и свойствами, проявляющимися при их столкновениях<sup>3</sup>.*

- 1 В изложении краткой истории вопроса используется материал статьи А.А. Комара "Элементарные частицы" [184, с. 896-902].
- 2 Прямые экспериментальные доказательства существования фотона были даны американскими физиками Р. Милликенем (1912-15) и А. Комптоном (1922).
- 3 "Вообще в области элементарных частиц становится ясно, что ответ на вопрос "что такое частица?" весьма непросто. По-видимому, мы ничего не добьемся, пытаясь дать точное и общее

Основным прибором, регистрирующим ЭЧ, сегодня является “пузырьковая камера”<sup>4</sup>. Ее основу составляет перегретая жидкость, в которой пролетающие частицы оставляют следы-треки из “вскипевших” пузырьков. Поскольку частицы летят через определенным образом сконфигурированное электрическое и магнитное поле, то в зависимости от значения заряда, массы и собственного магнитного момента (спина) рисунок их следа будет отличаться. Большинство частиц — неустойчивы и быстро распадаются, оставляя не один след, а ветвящееся дерево следов. Можно сказать, что каждая частица, имеет свой характерный *трековый рисунок* (“иероглиф”). Здесь напрашивается сравнение с химией, где веществам отвечают ЭЧ, процедурам отождествления веществ в аналитической химии — анализ иероглифов-треков, химическим реакциям — взаимопревращение элементарных частиц — основной предмет теории элементарных частиц.

По мере появления все новых ЭЧ их стали *классифицировать*, объединять в группы близкие по свойствам и в семейства легко превращающихся друг в друга ЭЧ.

Так их делят *по времени жизни* на неустойчивые (резонансы) с временами существования  $10^{-22}$  —  $10^{-24}$  с. ( $10^{-24}$  с. — характерное время для ядерных взаимодействий), *квазистабильные* — с временами жизни более  $10^{-20}$  с. и *стабильные*, к которым относят электрон, протон, фотон и

определение частицы... — говорит в своем Берклиевском курсе физики Э.Вихман, предлагая следующий выход. — Практический подход к проблеме заключается в установлении иерархии все более элементарных частиц... Мы считаем, что молекулы являются связанными состояниями атомов, атомы — связанными состояниями ядра и электронов, а ядро — связанным состоянием протонов и нейтронов” [31, с. 373]. Но подобный натуралистический выход при переходе к современным кварковым моделям сильно проблематизируется. Горизонт твердой почвы в очередной раз отодвигается.

<sup>4</sup> И другие опыты по рассеянию пучка частиц падающих на “мишень”, представляющую собой атомы вещества или другие частицы. “Большая часть имеющейся информации об элементарных частицах получена из анализа опытов по рассеянию”, в которых фиксируются “всевозможные эффективные сечения и их зависимость от энергии” [31, с. 360].

нейтрино (теоретически предсказанные В. Паули в 1930 г. и экспериментально открытые в 1953 г.).

Другое деление частиц — *по типу взаимодействий*, в которых они участвуют. Наряду с хорошо известным *электромагнитным* взаимодействием, ответственным за связь атомных электронов с атомным ядром и связь атомов в молекулах, было введено *сильное* взаимодействие, ответственное за связь нуклонов (протона и нейтрона) в ядре. Наконец, в теории  $\beta$ -распада, связанного с самопроизвольным превращением друг в друга протона и нейтрона с испусканием электронов, электронных нейтрино или соответствующих античастиц (типа  $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$ ), возникает понятие “*слабого*” взаимодействия (теория  $\beta$ -распада была создана итальянским физиком Э. Ферми в 1934 г.). В зависимости от участия в тех или иных видах взаимодействий все изученные ЭЧ, за исключением фотона, разбиваются на две основные группы: адроны и лептоны. *Адроны* (они делятся на барионы и мезоны) характеризуются участием в *сильных* взаимодействиях наряду с электромагнитными и слабыми, *лептоны* участвуют только в *электромагнитном и слабом* взаимодействиях” (из них нейтрино не участвуют и в электромагнитном взаимодействии, благодаря чему они проходят не взаимодействуя сквозь толщу материи); *фотон* участвует только в *электромагнитном* взаимодействии, являясь его переносчиком; гипотетический *гравитон* — переносчик гравитационного взаимодействия (при энергиях взаимодействия ЭЧ порядка 1 Мэв отношение 4-х известных в природе констант взаимодействий — сильного, электромагнитного, слабого и гравитационного относятся как  $1 : 10^{-2} : 10^{-10} : 10^{-38}$ ; но это соотношение зависит от величины энергии и в пределе очень больших энергий эти границы, по-видимому, стираются). К лептонам относится небольшое число частиц, связанных с электроном. Это электрон, мюоны, нейтрино и их античастицы<sup>5</sup>. Подавляющее число ЭЧ — адроны. Большинство из

<sup>5</sup> Античастица и частица сталкиваясь, аннигилируют, превращаясь в фотоны высокой энергии ( $\gamma$ -кванты) в случае пары

них — очень короткоживущие с временами жизни  $10^{-22}$  —  $10^{-24}$  с (так называемые “резонансы”).

Дальнейшая классификация происходит путем введения различных классифицирующих квантовых чисел, которые называют “внутренними” или “динамическими”, чтобы подчеркнуть их независимость от пространства-времени. Так лептоны характеризуются лептонным зарядом  $L$  (для фотона и адронов  $L=0$ ). Адронам с полуцелым спином приписывают барионный заряд  $B$ . Адроны с  $B=+1$  образуют подгруппу барионов, с  $B=0$  — подгруппу мезонов (для фотона и лептонов  $B=0$ ). Далее адроны подразделяются на обычные (нестранные) ч-цы (протон, нейтрон, ? -мезоны), странные ч-цы, “очарованные” и “красивые” ч-цы. Этому делению отвечает наличие у адронов особых квантовых чисел: странности  $S$ , “очарования”  $C$  и “красоты”  $b$ . К внутренним относятся и электрический заряд  $Q$ . Для всех ЭЧ с ненулевыми значениями хотя бы одного из квантовых чисел  $Q, L, B, C, b$  существуют античастицы с теми же значениями массы, времени жизни, спина и т.д.

Таким образом, в “хилической” модели элементарные частицы выступают как элементы физической системы, а внутренние параметры как характеристики системы (аналогично массе в классической механике), а не состояния.

## 7.2. “Спектроскопическая” модель

По мере роста числа ЭЧ формировалась “спектроскопическая” модель. В последней, опирающейся на модель атомных и молекулярных спектров, ЭЧ рассматривались на модельном уровне как различные состояния некоей системы<sup>6</sup>. В рамках этой модели Внутри разных групп адронов выделяют семейства частиц, близких по массе с очень

---

электрон-позитрон, в мезоны - в случае протон-антипротон и т.д. Позитрон - первая античастица, теоретически предсказанная английским физиком П. Дираком в 1931 г. и экспериментально обнаруженная в космических лучах американским физиком К.Д. Андерсоном в 1932 г.

<sup>6</sup> “По современным представлениям, - пишет в Берклиевском курсе физики в 1967 г. Э.Вихман, - приведенные диаграммы (где каждая частица представлена короткой чертой, ордината которой равна массе покоя частицы (в Мэв), а абсцисса соответствует ее электрическому заряду) полностью аналогичны схемам уровней атомов. Каждая диаграмма относится к “мультиплету” частиц, которые можно считать различными состояниями одной частицы, “общей” для всего мультиплета” [31, с. 375].

сходными свойствами по отношению к сильному взаимодействию, но с различными значениями электрического заряда  $Q$ . Для них, опираясь на аналогию со спиновыми мультиплетами в атомных спектрах, вводят еще одно внутреннее квантовое число — изотопический спин  $I$ , такой, что величина  $2I + 1$  отвечает числу частиц в мультиплете (так мультиплету из протона и нейтрона отвечает  $I=1/2$ ).

Независимость сильного взаимодействия от электрических зарядов частиц и аналогия с атомными спектрами симметричных атомов порождает применение в теории ЭЧ еще одного мощного средства — концепции симметрии как фактора, определяющего существование различных групп и семейств ЭЧ. Это средство является ведущим в современной теории ЭЧ.

Известно, что для симметричных атомных систем характерно наличие так называемых “вырожденных” состояний, т.е. нескольких состояний, обладающих одинаковой энергией. Симметрия системы диктует группировку этих состояний в группы по отношению к их дальнейшему расщеплению в энергетический спектр при дополнительном возмущающем воздействии той или иной симметрии. Так в пространстве состояний атомной системы возникает иерархия мультиплетов различной симметрии. В математическом слое теории атомных спектров используется хорошо разработанный аппарат теории групп.

Аналогичным образом поступают в теории ЭЧ и для адронов эта стратегия оказывается весьма успешной. Здесь максимально расширяют изотопическое пространство состояний для адронов, объединяя их в некий единый мультиплет, который потом расщепляется на более мелкие мультиплеты в соответствии с теми или иными “внутренними” квантовыми числами, характеризующими иерархию мультиплетов ЭЧ. Сохранение тех или иных внутренних квантовых чисел отражает существование симметрий относительно преобразований в особых, приписываемых ЭЧ “внутренних пространствах”. Расщепление на мультиплеты сопровождается расщеплением по зарядам, массам и т.п., подобно тому, как это имеет место в атомных спектрах.

Существенной разницей между моделями спектров элементарных частиц и атомов является то, что в случае тео-

рии ЭЧ не было модели системы, аналогичной атому. Путь лежал от модели спектральных состояний к модели системы.

“Выделение изотопических мультиплетов адронов было первым шагом на этом пути. Следующим шагом стало выделение более широких, так называемых, унитарных мультиплетов, затем унитарных сверхмультиплетов. На этом пути в 1964 г. рождается модель кварков (Г. Цвейг и М. Гелл-Ман), в рамках которой удается все барионы составить из комбинаций трех кварков (u, d, s), а все мезоны из комбинаций кварка и антикварка. В дальнейшем с учетом новых экспериментальных фактов в эту модель добавили еще два кварка: “очарованного” (c) и “красивого” (b)... Все многообразие адронов возникает за счет различных сочетаний u-, d-, s-, c- и b-кварков... При первоначальной формулировке кварковой модели кварки рассматривались как гипотетические структурные элементы, открывающие возможности удобной классификации адронов”<sup>7</sup> [184, с. 899].

В основе теории атомных спектров лежала нерелятивистская квантовая механика. В основе теории спектра ЭЧ, их превращений и взаимодействий лежат *квантовые теории поля* (КТП) — основное теоретическое направление в области релятивистской квантовой механики сегодня. Все КТП вырастают из квантовой теории электромагнитного поля (квантовой электродинамики — КЭД), по аналогии с которой вводятся другие квантовые поля и “заряженные” частицы для так называемых слабого и сильного взаимодействий.

### 7.3. Модель квантовой электродинамики (КЭД) и “виртуальные частицы”

Квантовая электродинамика (КЭД) является первой и квантовой и релятивистской теорией, в рамках КЭД рождаются интригующие образы “виртуальных” частиц и порождающего их “вакуума”, КЭД служит образцом квантовых теорий поля. Квантовые (или квантованные) поля — релятивистские квантовые объекты. В отличие от нерелятивистских квантовых частиц, эта модель начинает с непрерывного поля, на которое накладывается дискретность

<sup>7</sup> В результате экспериментов, проведенных в кон. 60-х - нач. 70-х гг., выяснилось, что гипотеза кварков наиболее простым и естественным образом объясняет многие динамические закономерности взаимодействия адронов.

— в этом суть процедуры квантования поля. Эти процедуры основаны на описанном выше методе “затравочной классической модели”, который в КЭД выглядит так. “Затравочное” классическое электромагнитное поле представляется как совокупность стоячих волн (для этого его помещают (мысленно) в ящик-резонатор, размеры которого считают сколь угодно большими). Далее стоячую волну рассматривают как осциллятор (модель, напоминающая исходную планковскую), к которому применяют известное по нерелятивистской квантовой механике преобразование, превращающее “затравочный” классический осциллятор в квантовый. В результате электромагнитное поле представляется в виде совокупности новых первичных идеальных объектов — квантовых осцилляторов, которые далее представляют в виде совокупности квантов электромагнитного поля, называемых фотонами.

Следующим шагом является введенное П.Дираком квантовое электрон-позитронное поле. Дирак (как и Галилей) начал с уравнения движения — релятивистского квантового уравнения движения для свободного электрона, которое привело к необходимости ввести в слое физической модели, наряду с электроном, антиэлектрон (названный позитроном из-за своего положительного заряда).

Далее по аналогии с классической электродинамикой вводится взаимодействие между заряженными частицами (электронами и позитронами) и фотонами, приводящее, в частности, к возможности взаимопревращений электрон-позитронных пар и фотонов (очень высокой энергии и частоты, называемых  $\gamma$ -квантами). При этом “взаимодействие электромагнитного поля и заряженной частицы выглядит как испускание и поглощение частицей фотонов, а взаимодействие между заряженными частицами как результат обмена фотонами” [184, с. 265].

Так вводятся основные “*первичные идеальные объекты*” квантовой электродинамики — *фотоны, электроны, позитроны*. В результате модель физической системы состоит из заряженных частиц (электронов и позитронов) и переносчиков взаимодействия между ними (фотонов), а состояние системы описывается значениями соответствующих измеримых величин (энергиями и импульсами всех этих

частиц). Система, в которой отсутствуют какие-либо частицы, называется *вакуумом*. Эту относительно простую модель несколько осложняет то, что число всех частиц, включая заряженные частицы, может меняться (похожая ситуация возникает в термодинамике при описании газа с переменным составом).

Далее, для того, чтобы ввести уравнение движение, описанную исходную модель существенно трансформируют и в итоге в КЭД в слое “физической модели” (сх.3.1) в качестве системы (А) выступает электрон-позитрон-фотонное поле (т.е. вся возможная совокупность электронов, позитронов и фотонов (квантов электромагнитного поля)), а состояние системы определяется распределением по энергии и импульсам электронов позитронов и фотонов описываемых в математическом слое с помощью соответствующих “чисел заполнения” —  $n_{e^-}(E, p)$ ,  $n_{e^+}(E, p)$ ,  $n_{\gamma}(E, p)$ . Рассматриваемое движение-перемещение в пространстве состояний  $\{n_{e^-}(E, p), n_{e^+}(E, p), n_{\gamma}(E, p)\}$  может сопровождаться рождением и уничтожением указанных трех типов квантовых частиц, а состояние, отвечающее отсутствию частиц ( $n_{e^-} = n_{e^+} = n_{\gamma}(E, p) = 0$ ) называют “вакуумным” состоянием (т.е. вакуум из варианта системы, каковым он был в исходной модели, превращается в одно из состояний системы).

Основной процесс, рассматриваемый в релятивистской квантовой механике — процесс перехода из начального состояния в конечное. В математическом слое ему соответствует уравнение движения с так называемой матрицей рассеяния, выражающейся через описываемые ниже ряды теории возмущений.

Математическим представлением в Мат-слое служит “представление чисел заполнения” (ПЧЗ) или “вторичного квантования”, в котором “числа заполнения” служат для описания состояний системы, а гамильтониан (лагранжиан) системы, являющийся математическим образом системы, выражается через так называемые операторы “рождения” и “уничтожения”, действие которых вызывает увеличение или уменьшение на единицу соответствующих “чисел заполнения” (несводимость многочастичных квантовых состо-

яний к совокупности одночастичных, обсуждавшаяся нами в п.6.10, проявляется в КЭД в введении особых процедур “упорядочения во времени” одночастичных операторов рождения и уничтожения частиц).

Затем, вводя взаимодействие путем некоторого преобразования гамильтониана (используя как классические аналогии, так и симметричные соображения), получают “уравнение движения” для квантового электрон-позитрон-фотонного поля в виде ряда (вообще говоря бесконечного) теории возмущений<sup>8</sup> с константой взаимодействия  $\alpha = 2\pi e^2/\hbar c = 1/137$ . Каждый элемент этого ряда состоит из произведения операторов “рождения” и “уничтожения”. В популярном представлении “диаграмм Фейнмана” этот ряд изображается с помощью “диаграмм Фейнмана”, где каждому оператору ставится в соответствие соответствующий графический образ (линия-граф)<sup>9</sup>.

Так на рисунке 7.1 изображена диаграмма, содержащая 2 вершины и отвечающая члену 2-го порядка по  $\alpha^{1/2}$  для рассеяния фотона на электроне. Образным его прочтением является следующее описание: в начальном состоянии присутствуют электрон (сплошная стрелка) и фотон (прерывистая стрелка), в точке 1 они встречаются и происходит по-

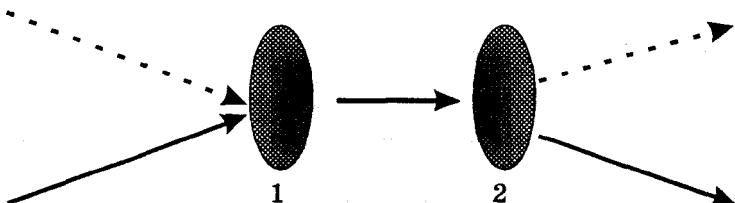


Рис. 7.1

<sup>8</sup> Суть метода теории возмущений состоит в том, что ищут решение сложного уравнения  $H^{\text{оп}} \psi = E\psi$  методом итераций, используя решения более простого уравнения  $H_{00}^{\text{оп}} \psi = E_{00}\psi$ , где предполагается, что  $H^{\text{оп}} = H_{00}^{\text{оп}} + H_1^{\text{оп}}$ , т.е. уравнение разбивается на большую, но простую и сложную, но относительно маленькую (порядка  $\alpha$ ) части.

<sup>9</sup> Электрону и позитрону отвечает один и тот же тип графа и одна и та же пара операторов “рождения” и “уничтожения”.

глощение фотона электроном; в точке 2 появляется (испускается электроном) новый, конечный фотон. Граф между точками 1 и 2 называют “виртуальным электроном”.

Реальным процессом здесь является рассеяние фотона на электроне. Названием “*виртуальные частицы*” обозначаются внутренние графы диаграмм Фейнмана, для которых оказываются бессмысленными многие характерные для частиц физические интерпретации, в частности, для них не выполняются законы сохранения энергии и импульса.

Такое название связано с тем, что в математическом Матслое, использующем “представление чисел заполнения”, начальное и конечное состояния, отвечающие реальным частицам, выражаются через такие же операторы и графы, что и графы, описывающие взаимодействие в рамках метода возмущений.

Таким образом, в рассматриваемой модели “*виртуальные частицы*” — это название математических элементов, используемых для составления рядов теории возмущений при учете взаимодействия между исходными “затравочными” частицами. Это не имеющие прообразов в модельном слое математические образы, порожденные применением метода теории возмущений. “Виртуальные частицы” — лишь удобное “мнемоническое” средство работы с рядами теории возмущений, но средство столь мощное, что позволяет во многих случаях работать даже с бесконечными рядами последовательных приближений. При этом возникает ряд специфических образов.

Так бесконечную совокупность членов теории возмущений, которым соответствуют замкнутые диаграммы Фейнмана, не имеющие свободных концов<sup>10</sup> называют “вакуумной частью” [57]. Она служит математическим образом “физического” (с учетом взаимодействия полей) вакуума, в отличие от исходного “свободного” (без учета взаимодействия, “голого”) вакуума. Другие совокупности членов теории возмущений, которым соответствуют связные незамкнутые диаграммы Фейнмана, начало и конец которых представляют собой графы одной и той же частицы (электрона или фотона в квантовой электродинамике или их аналогов в квантовой теории поля) называют “точным электрон-

<sup>10</sup> Речь идет о бесконечном ряде, который может и расходиться (новая “ультрафиолетовая катастрофа”). На основании того, что эта вакуумная величина одинакова для всех состояний, физиков эта расходимость не очень волнует.

ным (фотонным) пропагатором" (в отличие от пропагатора свободных электронов (фотонов) [93, т. IV-2, с.12]. Они служат математическими образами "физических" (с учетом взаимодействия полей) частиц, в отличие от исходных "свободных" (без учета взаимодействия, "голых") частиц. Учет этих членов, представляющих, вообще говоря, как и выше, бесконечные ряды, приводит к так называемой перенормировке массы, заряда и других параметров, связанных с данной частицей (квантовые теории поля позволяющие произвести подобную процедуру называются ренормируемыми или перенормируемыми). Физические измерения имеют дело именно с этими "перенормированными" величинами.

С помощью этого аппарата в КЭД успешно вычисляются так называемые радиационные поправки [93, т. IV-2, с. 9] - поправки к значениям некоторых физических величин, обусловленных (как бы) взаимодействием заряженной частицы с собственным электромагнитным полем, возникающие при учете более высоких, чем первое, приближений теории возмущений. Радиационные поправки рассчитывают по методу теории возмущений с представлением их в виде ряда по степеням константы электромагнитного взаимодействия  $\alpha$ ,  $n$ -й член которого можно рассматривать как результат испускания и поглощения  $n$  "виртуальных" фотонов или электрон-позитронных пар. При вычислении используется процедура перенормировки массы и заряда частицы. Наибольший интерес представляют радиационные поправки к магнитным моментам электрона и мюона, к сверхтонкому расщеплению атомных уровней энергии, к сечениям рассеяния электрона электроном или атомным ядром. Результаты расчетов вплоть до 3-го порядка по степеням блестяще согласуются с экспериментальными данными и свидетельствуют о справедливости КЭД по крайней мере на расстояниях, больших  $10^{-15}$  см. Радиационные поправки растут с ростом энергии... При вычислении радиационных поправок к электродинамическим величинам с точностью выше 3-го порядка существенный вклад вносят процессы виртуального рождения адронов и эффекты слабого взаимодействия" (Иоффе Б.Л. в [184, с. 603-604]).

Наряду с различием на "виртуальные" и "реальные" частицы в математическом слое, в КЭД появляется различие "свободных" и "физических" частиц (и вакуума) в модельном слое. "Свободными" называются "затравочные" квантовые частицы (поля)", т.е. физические квантовые частицы (поля) без учета взаимодействия. Их математическими образами являются "голые" "реальные" частицы в диаграмной технике Фейнмана. "Физическими" частицами (и "физическим" вакуумом) называются соответствующие частицы (и вакуум) с учетом взаимодействия между "затра-

вочными" ("свободными") полями. Порождаемые изображением соответствующих рядов теории возмущений математические образы "физических" частиц и вакуума — упомянутые выше "пропагаторы", представленные в виде "голых" частиц, "одетых" в "шубы" из "виртуальных частиц" и кишащего "виртуальными частицами" вакуума, при не критическом отношении необоснованно переносятся в модельный слой. На самом же деле принадлежащий модельному слою "физический вакуум" — состояние в отсутствии реальных частиц (но с учетом взаимодействия между полями) — представляет собой строго стационарное состояние; в нем невозможны никакие самопроизвольные процессы рождения частиц. Другими словами, с течением времени вакуум остается вакуумом" [93, т. IV-2, с.14].

Вообще говоря, наверное, на этой центральной для всех расчетов модели, где "физические частицы" и "физический вакуум" являются состояниями, можно было бы остановиться, но обычно, после всего этого, когда "уравнение движения" решено и связь между исходным и конечным состояниями квантового электрон-позитрон-фотонного поля получена, возвращаются к более "естественной" исходной модели — системе, составленной из квантовых релятивистских частиц с соответствующими состояниями, но частицы эти — уже "физические", а не "затравочные" ("голые"). При этом, в отличие от привычных классических моделей, квантовые релятивистские "физические" частицы, кроме того, что "неразличимы" и объединены в квантовые поля соответствующих типов, в качестве своего дополнения требуют модели "физического вакуума" (похожего на среду или поле), с которым эти частицы *взаимодействуют*<sup>11</sup>. Модельные образы КЭД (и КТП), основанные на "представлении чисел заполнения", в результате оказываются вспомогательными.

<sup>11</sup> Проявлениями взаимодействия физических частиц с физическим вакуумом являются экспериментально наблюдаемые радиационные поправки и эффект Казимира (см.: [58; 40; 237]) и недоступные опытной проверке модели "фазовых переходов в вакууме", приводимые в современных космологических "сценариях" начала Вселенной.

#### 7.4. Модель квантовой теории поля (КТП)

Квантовая теория поля (КТП), по сути, является попыткой расширить физическую модель КЭД на другие “элементарные” частицы, вводя соответствующие квантовые поля — переносчики взаимодействия (глюонов для сильного и промежуточных бозонов для слабого взаимодействия) и “заряды”.

Так в наиболее популярной сегодня квантовой теории поля для сильного взаимодействия — хромодинамике используется кварко-глюонная физическая модель, согласно которой, как уже было сказано, барионы и мезоны образованы из кварков — гипотетических частиц, обладающих спином  $1/2$ , барионным зарядом  $1/3$  и электрическими зарядами  $2/3$ ,  $1/3$  и  $-1/3$  элементарного заряда  $e$ . Роль основных частиц (электронов и позитронов в КЭД) в этой модели играют кварки, а роль носителей взаимодействия между ними (фотонов в КЭД) — глюоны (от слова “клей”). В отличие от фотонов, глюонов приходится вводить много (их различают по “цвету” — новому квантовому числу), и они обладают массой (это обеспечивает малый радиус действия сильного взаимодействия). Существенной особенностью этой теории является принципиальная ненаблюдаемость свободных кварков (частиц с дробным электрическим зарядом), из которых составляют адроны. Вводимое в математическом представлении сильное нелинейное глюонное взаимодействие обладает тем свойством, что на малых расстояниях (порядка размера ядер атомов) взаимодействие между кварками столь мало, что они ведут себя как почти свободные частицы (“асимптотическая свобода”). Но при увеличении расстояния величина взаимодействия очень быстро растет до сколь угодно больших величин<sup>12</sup> (эффект “удержания” цвета”, цветовым зарядом обладают только “внутриадронные” частицы — глюоны и кварки). Этим пытаются объяснить ненаблюдаемость их в свободном состоянии.

Таким образом, в теории ЭЧ в модельном слое место атома в теории атомных спектров занимает система квантовых полей. Для адронов — в теории сильного взаимодействия или хромодинамике — кварковых и глюонных, для

<sup>12</sup> Поэтому теория возмущений здесь эффективна только во внутриядерной области.

лептонов — в теории электро-слабого взаимодействия — лептонных и полей промежуточных бозонов. Существенной чертой модели является представление системы в виде взаимодействующих между собой свободных полей. При этом эти поля делятся на основные (электрон-позитронные, кварковые, лептонные) и бозонные поля (фотонов, глюонов, промежуточных бозонов), обмен квантами которых обуславливает взаимодействие основных полей (в КТП переносчики взаимодействия — бозоны, а “заряженные” частицы — фермионы).

Теперь обратимся к математическому представлению в КТП. Как и в КЭД состояния задаются посредством операторов рождения и уничтожения соответствующих свободных полей, действующих на основное вакуумное состояние, а уравнения движения составляются в виде рядов теории возмущений. “Для описания процессов, происходящих с ЭЧ, в КТП используется так называемый лагранжев формализм... Лагранжиан  $L$  включает в себя лагранжиан  $L_0$ , описывающий поведение свободных полей (основных элементов модели системы —  $A, L$ ), и лагранжиан взаимодействия  $L_{ва}$ , построенный из полей разных частиц и отражающий возможность взаимопревращения частиц (цель теории)... Критерии для нахождения вида  $L_{ва}$  были сформулированы в 50-70-х гг. Он должен удовлетворять той или иной симметрии, отвечающей сохранению соответствующей физической величины... Симметрия<sup>13</sup> в сочетании с важным требованием ее соблюдения при произвольной зависимости преобразований группы симметрии от точки пространства-времени (локальная калибровочная инвариантность; Янг Чжэньнин, Р. Милс (1954) [242]<sup>14</sup>), как оказалось, полностью задает вид  $L_{ва}$ . [184, с. 900].

“За последние 15 лет, — говорит А.Д.Линде, — в физике элементарных частиц произошла подлинная революция, связанная с созданием и развитием единых калибровочных теорий сла-

<sup>13</sup> Так каждому закону сохранения в КТП соответствует определенная симметрия уравнений движения относительно преобразований полей. Например уравнения квантовой хромодинамики одинаковы для кварков любого “цвета”, уравнения для лептонов (за исключением слагаемого пропорционального массе) не меняются при замене волновой функции электрона на волновую функцию электронного нейтрино или на любую их суперпозицию и т.д.

<sup>14</sup> Калибровочная симметрия — общее название класса внутренних симметрий уравнений теории поля (т.е. симметрий, связанных со свойствами элементарных частиц, а не со свойствами пространства-времени), характеризующихся параметрами, зависящими от точки пространства-времени ( $r, t$ ).

рых, сильных и электромагнитных взаимодействий. Одной из основных идей, на которой базируются эти теории, служит идея о спонтанном нарушении симметрии между разными типами взаимодействий за счет возникновения во всем пространстве постоянных классических скалярных полей "фи" (так называемых хиггсовских полей). В отсутствие таких полей нет принципиальной разницы между слабыми, сильными и электромагнитными взаимодействиями...

В рамках калибровочных теорий со спонтанным нарушением симметрии (которые представляет Линде — А.Л.) впервые было получено непротиворечивое описание слабого и сильного взаимодействий при высоких энергиях. Впервые оказалось возможным рассчитать процессы в теории слабых и сильных взаимодействий с учетом высших порядков в теории возмущений. Благодаря замечательному свойству этих теорий — асимптотической свободе — появилась принципиальная возможность описывать взаимодействия элементарных частиц друг с другом при энергиях вплоть до  $E \sim M_p \sim 10^{19}$  ГэВ в системе центра масс, т.е. до планковской энергии, начиная с которой становятся важными квантово-гравитационные эффекты" [99, с. 3].

Теперь, когда у нас есть *модель системы* (совокупность квантовых полей), вернемся к рассмотрению мультиплетов частиц — состояний системы. Поскольку основу пространства состояний составляет изотопическое пространство внутренних переменных, то центральной симметрией здесь является калибровочная симметрия. Другим важным процессом является последовательное спонтанное нарушение симметрии, приводящее к появлению массы у бозонов и к расщеплению исходного мультиплета на более мелкие мультиплеты<sup>15</sup>.

Успехи в создании полевых теорий различных взаимодействий, пик которых приходится на 1970-е гг., стимулировали усилия, направленные на создание единой квантовой теории поля, объединяющей все ЭЧ и взаимодействия (важнейшим инструментом здесь являются различные симметричные соображения и связанный с ними мощный математический аппарат теории групп). Универсальный спо-

<sup>15</sup> Непростая история формирования этих понятий, происходившая в тесном взаимодействии со становлением теории фазовых переходов и особенно сверхпроводимости подробно описана в [255].

соб введения всех взаимодействий, основанный на калибровочной симметрии, стимулирует попытки их объединения.

Так в 60-х гг. была создана единая теория слабых и электромагнитных взаимодействий (Глэшоу, Вайнберг и Салам)<sup>16</sup>. С 70-х гг. идет интенсивная работа по включению в эту теорию и сильного взаимодействия путем “великого объединения” “цветовой” и лептонной симметрий. Одним из предсказаний такой теории является предсказание несохранения барионного заряда и, как следствия, нестабильность протона (его время жизни оценивается в  $10^{30}$ — $10^{32}$  лет). Расширение принципа калибровочной симметрии до суперсимметрии, дает надежду на включение в объединенную схему и гравитационного взаимодействия (так называемая теория супергравитации)<sup>17</sup>. “Наконец, в ... последнее время основные надежды на построение единой теории всех взаимодействий стали возлагаться на теорию суперструн<sup>18</sup> (1984)” [99, с. 3].

Правда, говорить об успехе какой-либо из этих программ, кроме единой теории слабых и электромагнитных взаимодействий в рамках теории Вайнберга и Салама, пока еще рано. Более того, неуспех этих программ приводит к росту пессимистических настроений в плане их осуществимости [255].

Подведем некоторые итоги на уровне основных модельных представлений.

Теория ЭЧ очень ярко демонстрирует относительность деления на систему и состояние, поскольку ЭЧ в разных теоретических системах выступают то как система, то как состояние.

<sup>16</sup> “Подлинный прогресс в этой области начался в 1971-73 гг. после доказательства перенормируемости этих теорий” [99, с.3].

<sup>17</sup> “Развитие теорий типа Калуцы-Клейна, согласно которой наше 4-мерное пространство-время возникает в результате спонтанной компактификации пространства большей размерности (1981)” [99, с. 3].

<sup>18</sup> Наряду с попытками построения единой теории поля (в ходе которых его размерность постоянно растет) существует направление, пытающееся ввести новую модель для описания элементарных частиц — модель струны [8; 45]. Но степень успешности этого относительно молодого направления еще неясна.

Существенно новыми понятиями, широко вошедшими в культуру являются понятия “виртуальных частиц”, понятие рождения частиц из вакуума и их уничтожения и вообще понятие “вакуума”, как источника самопроизвольного рождения виртуальных частиц. Анализ показывает, что все эти понятия относятся лишь к математическому слою и порождены использованием рядов теории возмущений в слое математического представления. *Вакуум — как основное состояние системы, стабилен и никаких частиц самопроизвольно не рождает.*

К этим же чисто математическим образам относятся и *многомерные пространства*, создаваемые в рамках программ “великого” и “суперобъединения”. Что касается многочисленных “внутренних” квантовых чисел, вокруг которых создаются эти математические многомерия, то их аналогом являются атомные квантовые числа.

Так что модельный слой релятивистской квантовой механики и теории элементарных частиц не столь уж непостижим. Существенно новым здесь является модель “*физического вакуума*” как системы, в которой нет частиц, но которая *взаимодействует с частицами* (“физическими”), т.е. обладает свойствами среды (или эфира).

Линия “термодинамика — статистическая физика — синергетика” выделена нами в особую линию, поскольку изменение состояния здесь связано с изменением не времени, а внешнего воздействия (F на сх.3.1). На их примере мы хотим показать, что основная ящпа схема работает и здесь. Особое место в этой троице занимает синергетика, которая, с одной стороны, тесно связана (через противопоставление) с первыми двумя, а с другой, — требует похожей, но отличной структуры теоретической части “ядра раздела науки”, что говорит в пользу того, что синергетика — это уже новая естественная наука, а не раздел физики.

### 8.1. Термодинамика<sup>1</sup>

Термодинамика рождается из решения двух типов задач, порождающих два потока понятий, которые пересекаясь формируют ее как законченный раздел. Первый поток связан с процессами нагревания и охлаждения, а также с распространением тепла. Второй — с тепловыми машинами (двигателями).

Основные термодинамические понятия и измеримые величины были введены в ходе экспериментальных исследований теплового расширения газов, а также жидкостей и твердых тел, интенсивно проводившихся еще в XVII-XVIII вв. и продолженных в XIX в.

Они привели к открытию законов Бойля-Мариотта (1662, 1676)  $pV = \text{const}$ , Шарля (1787) изменения давления данной массы идеального газа с изменением температуры при постоянном объеме, закон Гей-Люссака (1802) для идеального газа<sup>2</sup>, ко-

<sup>1</sup> Термин введенный в 1851 г. В.Томсоном, “который был принят английскими учеными, тогда как немецкие называли новую науку вслед за Клаузиусом механической теорией тепла” [88, с.147—148].

<sup>2</sup> Идеальный газ в термодинамике это газ, подчиняющийся этим уравнениям или их обобщению - уравнению Клайперона-

торые устанавливают связь давления ( $p$ ), объема ( $V$ ) (или плотности ( $\rho$ )) вещества с температурой ( $T$ ). Такая связь  $p = f(V, T)$  называется “уравнением состояния”, и, кроме идеального газа, приближенно известна лишь для ограниченного числа веществ. В XVIII в. Блэк (1760) ввел четкое различие между количеством тепла ( $Q$ ) и температурой. Тогда же появилось понятие “теплоемкости” и была введена единица количества теплоты — калория как количество теплоты, необходимое для нагревания 1 г воды на 1°C; а также понятие удельной теплоемкости, ... удельной и скрытой теплоты плавления и испарения (введенных независимо Блэком и Иоганном Карлом Вильке)” [88, с. 120].

Все эти понятия (до сер. XIX в.) формировались в рамках гидро- и аэродинамических моделей непрерывной среды. Отсюда заимствованы такие измеримые величины как объем ( $V$ ) и давление ( $p$ ), идея о перетекающем от теплого к горячему телу теплороде<sup>3</sup>, с помощью которой формулировались и решались задачи о передаче тепла между телами, плавлении и кипении, теплопроводности, сформировались процедуры измерения температуры ( $T$ ), передачи количества тепла ( $\delta Q$ ), теплоемкости, скрытой теплоты плавления и парообразования, т.е. почти весь набор термодинамических измеримых величин.

В это же время сформировалась и система термодинамических первичных идеальных объектов представляющих собой выделенную термодинамическую систему, (напр., изображенный на рис. 8.1 пар в цилиндре под поршнем) и “окружающую среду”, между которыми имеет место механическое ( $p, V$ ) или тепловое ( $Q, T$ ) взаимодействие.

Значение величин  $p, V, T$ , задают состояние исследуемой (выделенной) термодинамической системы. Воздействия  $\{F\}$  могут состоять или в подводе или отводе тепла ( $\delta Q$ )

Менделеева. Материализацией этого идеального объекта является достаточно разреженный газ. Этот ход рассуждений повторяет логику рассуждения, проводившегося нами вокруг “пустоты” Галилея.

<sup>3</sup> Автором этой гипотезы был Галилей (1613). Теплота, по его взглядам, является веществом, способным проникать во все тела и выходить из них... Изменение температуры в теле связывали с изменением в нем количества теплорода. При увеличении количества теплорода температура тела повышается, при уменьшении количества теплорода температура понижается” [84, с. 45].

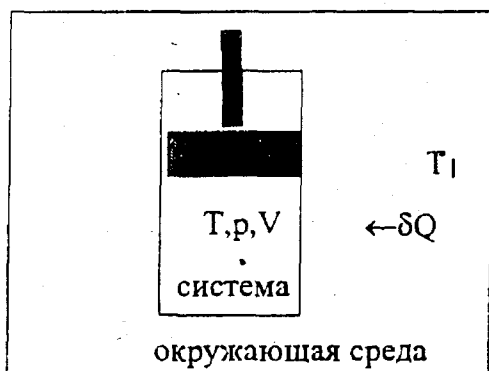


Рис. 8.1

или в непосредственном изменении известным образом одной из величин  $p, V, T$ , что превращает ее в “управляющий параметр”, поскольку величины  $p, V, T$  не независимы а связаны так называемым уравнением состояния (для идеального газа это известный закон Клайперона-Менделеева).

Структура термодинамики, как и других разделов физики, описывается структурой, изображенной на сх. 3.1. В качестве физической системы здесь выступает “выделенная термодинамическая система” (при обсуждении второго начала термодинамики она выступает как “рабочее тело” или “тепловое тело”), а упорядочение состояний системы (термин “термодинамическое состояние” и представление о термодинамическом процессе как переходе из одного “термодинамического состояния” в другое широко распространены в термодинамике (см. сноску 11)) и их взаимопревращений, фиксирующихся соответствующими уравнениями движения, производятся относительно управляющих параметров  $\{F\}$ , задающих внешнее воздействие.

Кроме того, в 1-м и 2-м законах термодинамики вводятся “функции состояния” (т.е. величины, которые зависят только от состояния термодинамической системы) — “внутренней энергии” ( $U$ ) и энтропии ( $S$ ), с помощью которых формулируются “уравнения движения” термодинамики.

*Внутренняя энергия системы  $U$  — вводится в связи с 1-м законом термодинамики. 1-й закон (начало) термодинамики сводится к закону сохранения суммарной тепловой*

и механической энергии и гласит<sup>4</sup>:  $dU = \delta Q + \delta A$ , где  $\delta Q$  — передаваемое количество теплоты,  $\delta A = PdV$  — произведенная механическая работа. Он утверждает *невозможность создания вечного двигателя* (первого рода).

Отметим, что 1-й закон термодинамики уже не укладывается в концепцию теплорода как особой субстанции. Он подразумевает, что субстанцией является не количество тепла, а энергия<sup>5</sup>.

Первый закон термодинамики связан с опытами по превращению механической работы в тепло. “Считается, что решающий эксперимент, подводящий прочный фундамент под механическую теорию теплоты, выполнил американский ученый Б. Томсон (1798), вошедший в науку под именем графа Румфорда. Его опыты со сверлом, помещенным в пушечный ствол, ... поражали воображение современников, казалось, что источник тепла в этих опытах практически неисчерпаем... Правда уже в 1878 г. в Британской энциклопедии в статье “Теплота” В. Томсон так характеризует эксперименты Румфорда: “Румфорд не дал логически стройного убедительного свидетельства против вещественной теории тепла. Он дал

<sup>4</sup> Этот закон можно рассматривать как определение (не даром его часто называют “началом”) внутренней энергии  $U$  (в том же смысле как 2-й закон Ньютона может рассматриваться как определение силы, а закон Галилея о равномерно-ускоренном падении тел — определением пустоты). При этом опыт Румфорда по переводу механической работы в тепло играет для понятия внутренней энергии ту же роль, что гладкие наклонные плоскости Галилея для его понятия пустоты — он задает необходимые процедуры материализации внутренней энергии.

<sup>5</sup> “Само понятие энергии стало значимым и содержательным только после установления принципа сохранения энергии во всей его полноте и общности в математической форме. Вот лишь несколько выражений, в которых ученые XVIII и XIX вв. употребляли слово “сила”: “мускульная сила”, “сила машины”, “сила гравитации”, “электрическая сила”, “магнитная сила”, “гальваническая сила”, “месмерическая сила”, “живая сила”, “сила природы”, ... После того как принцип сохранения энергии обрел свое совершенное значение в той форме, которую придал ему Гельмгольц, подавляющее большинство физиков оказалось вдохновленными идеей возможности механического объяснения всех явлений природы посредством центральных сил притяжения и отталкивания”. В результате “если фундаментальными концепциями Ньютона являлись понятия: пространство, время, масса и сила, то в конце XIX в. физики оперировали концепциями пространство, время, масса, энергия” [88, с. 135, 142].

лишь ту экспериментальную основу, которая позволила бы это сделать с абсолютной уверенностью” [88, с. 118—119].

“Как писали Лавуазье (1743—1794) и Лаплас (1749—1827) в “Мемуарах Парижской Академии наук”, “... у физиков нет согласия в отношении теплоты. Многие из них рассматривают ее как флюид, рассеянный по всей природе... Другие же считают ее лишь результатом невидимых движений молекул, их колебаний во всех направлениях, возможным благодаря пустым промежуткам между молекулами. Это невидимое движение и есть теплота. На основе закона сохранения живой силы<sup>6</sup> можно, следовательно, дать такое определение: теплота это есть живая сила, т.е. сумма произведения масс всех молекул на квадрат их скорости”... Выбор в пользу одной из картин о характере тепла... не был сделан в решительной форме и в XIX в. С одной стороны, вещественная теория тепла предоставляла большие возможности для применения к тепловым явлениям аппарата математического анализа<sup>7</sup>. Понимание теплопроводности в твердых телах как движение упругой непрерывной невесомой жидкости теплохода в принципе позволяло применять дифференциальное исчисление для анализа тепловых свойств. С другой стороны, механическая теория теплоты, смыкающаяся с атомистическими концепциями строения вещества, импонировала тем, что соответствовала идеалу целостного восприятия мира — представлению о том, что в природе нет ничего, кроме атомов и пустоты” [88, с. 118—119].

Но центральным для становления термодинамики как особого раздела физики и самым сложным для понимания является 2-й закон (начало) термодинамики, в связи с которым был введен еще ряд очень важных понятий: равновесное термодинамическое состояние, обратимый тепловой процесс как переход из одного равновесного термодинамического состояния в другое, энтропия.

*Равновесное термодинамическое состояние* определяется как такое состояние термодинамической системы, в котором параметры системы не меняются со временем. В равновесное термодинамическое состояние термодинамическая система приходит самопроизвольно через достаточно большой промежуток времени (называемый временем ре-

<sup>6</sup> Закон сохранения живой силы, т.е. удвоенной кинетической энергии, был введен Лейбницем в противовес декартовскому закону сохранения “мертвой силы”, т.е. импульса.

<sup>7</sup> “Аналитическая теория теплопроводности Фурье открыла путь к созданию феноменологической термодинамики трудами Карно, Клайперона, В.Томсона и Клаузиуса” [88, с. 123].

лаксации). При неизменных внешних условиях такое состояние не меняется со временем. *Обратимый процесс* в термодинамике — процесс перехода из одного состояния в другое, допускающий возможность возвращения ее в первоначальное состояние через ту же последовательность промежуточных состояний, что и в прямом процессе, но проходящих в обратном порядке (для этого он должен протекать столь медленно по сравнению с временем установления равновесия, чтобы его можно было рассматривать как непрерывный ряд равновесных состояний).

Неотрывно связана со 2-м законом термодинамики и обратимостью термодинамических процессов еще одна важная термодинамическая величина — *энтропия*<sup>8</sup>, дифференциал (приращение) которой определяется выражением  $dS = \delta Q/T$ <sup>9</sup>. Основная особенность этой величины состоит в том, что она сохраняется в обратимых процессах и возрастает в необратимых процессах (поэтому 2-й закон термодинамики часто формулируют как закон возрастания энтропии). Равновесное термодинамическое состояние выделяется среди всех других тем, что для него значение энтропии максимально.

В глобальную “картину мира” 2-й закон термодинамики внес проблему тепловой смерти вселенной (согласно 2-му закону термодинамики все системы, в том числе все части Вселенной и Вселенная в целом, стремятся к термодинамическому равновесию, в котором все выравнивается, исчезают любые неоднородности, в том числе горячее Солнце и биологическая жизнь) — проблему интенсивно и широко обсуждавшуюся во второй половине XIX в.

В формировании 2-го закона термодинамики и связанных с ним величин особую роль играют понятия *идеального теплового двигателя (машины)* и *цикла Карно*. С помощью последних, по сути, осуществляется воплощение в

<sup>8</sup> “Сама термодинамика была оформлена как физическая теория только в рамках принципа сохранения энергии и принципа энтропии” [88, с. 141].

<sup>9</sup> В этом выражении используется так называемая абсолютная или термодинамическая шкала температур Кельвина, в которой 0 К отвечает — 273,15°C.

материал квазиравновесного обратимого термодинамического процесса и связанной с ним *энтропии* — новой фундаментальной характеристики термодинамического состояния системы.

“Собственно говоря, — утверждает нобелевский лауреат Р. Фейнман, — термодинамика ведет свое начало с работ знаменитого инженера Сади Карно (1796—1832), который желал построить наилучшую и наиболее экономичную машину. Это один из немногих замечательных случаев, когда инженер заложил основы физической теории... Все результаты термодинамики содержатся в нескольких предельно простых утверждениях, называемых законами термодинамики. Во времена Карно первый закон термодинамики — закон сохранения энергии — был еще не известен (Карно придерживался модели теплорода — *А.Л.*). Однако аргументы были сформулированы Карно так точно, что они оказались правильными” [180, т. 4, с. 102].

Схема специфической “термодинамической системы” — идеальной *тепловой машины*, осуществляющей циклические процессы, в которых преобразование тепла в работу периодически повторяется, изображена на Рис. 8.2. Она состоит из “нагревателя” (тела, у которого тепло отбирается) при температуре  $T_1$  и “холодильника” (тела, которому тепло передается) при температуре  $T_2$  и помещенного между ними “рабочего тела” (скажем, пара в цилиндре с поршнем), посредством которого совершается механическая работа  $W$ . Последнее (рабочее тело) играет роль “системы”, первые — роль “окружающей среды”.

Инженер Карно (1824) в поисках оптимального теплового двигателя (т.е. при решении частной задачи) построил циклический процесс (названный в его честь “циклом

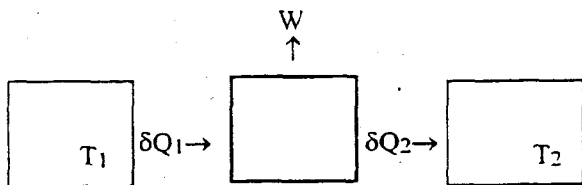


Рис. 8.2

Карно”), позволяющий извлечь из тепловой машины максимальную работу. На  $PV$ -диаграмме (Рис. 8.3) этот цикл состоит из двух изотерм ( $AB, CD$ ) и двух адиабат ( $BC, DA$ ). В ходе этого процесса “рабочее тело” (например, пар в цилиндре под поршнем) при температуре  $T_1$  приводится в соприкосновение с нагревателем и изотермически ( $AB$ ) получает от него количество теплоты  $\delta Q_1$  (при этом пар расширяется и совершает работу). Затем рабочее тело, расширяясь адиабатически (т.е. с  $\delta Q = 0$ ) по адиабате  $BC$ , охлаждается до температуры  $T_2$  и приводится в тепловой контакт с холодильником. При этой температуре, сжимаясь изотермически (изотерма  $CD$ ) тело отдает количество теплоты  $\delta Q_2$  холодильнику. Завершается цикл Карно адиабатическим процессом ( $DA$ ), возвращающим рабочее тело в исходное состояние. Совершаемая в течение одного цикла механическая работа равна площади диаграммы цикла на  $PV$ -диаграмме.

Секрет максимальной эффективности “цикла Карно” состоит в том, что на всех стадиях этого кругового процесса нигде не допускается контакт двух тел с различными температурами и, таким образом осуществляется квазиравновесный обратимый циклический процесс, проходящий только через равновесные термодинамические состояния.

2-й закон термодинамики можно представить как постулат о невозможности создания “вечного двигателя второго

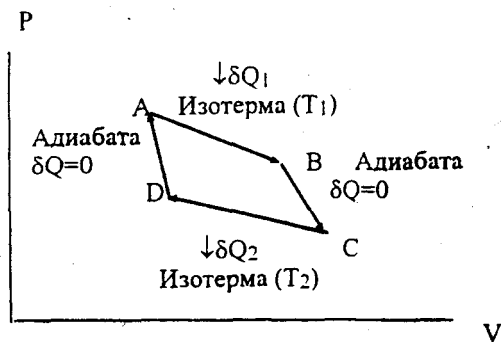


Рис. 8.3

го рода", т.е. невозможности отнять тепло у холодного тела и передать его горячему или превратить тепло в работу при постоянной температуре (например, отбирать тепло у такого практически неограниченного источника как океан).

С помощью этого постулата можно показать [180, т. 4, с. 111], что все идеальные тепловые двигатели эквивалентны с точки зрения совершаемой работы и что любой неидеальный двигатель совершает меньшую работу (при той же разнице температур), чем идеальный. Поэтому идеальный двигатель с любым рабочим телом будет вести себя так же, как идеальный двигатель, использующий в качестве рабочего тела идеальный газ. С помощью идеального газа, про который все известно, показывается, что КПД идеального двигателя определяется выражением

$$\text{КПД}_{\text{ид}} = (T_1 - T_2)/T_1, \text{ а величина } S_{ab} = \int_a^b \delta Q/T = f(V, T), \text{ названная}$$

энтропией, является функцией состояния (т.е. не зависит от того как система переходит из состояния "а" в состояние "b").

Таким образом, 2-й закон термодинамики, тесно связанный с моделью идеальной тепловой машины, вводит новую измеримую величину — энтропию  $S$  и процедуры ее измерения. Вместе с 1-м законом термодинамики<sup>10</sup> он составляет основу "уравнений движения", определяющих траектории в термодинамическом пространстве состояний<sup>11</sup>.

С помощью энтропии 1-й и 2-й законы термодинамики объединяют в уравнение для дифференциала того или иного термодинамического потенциала (для внутренней энергии  $U$ :  $dU = TdS - pdV$ ; энтальпии  $H = U + pV$ :  $dH = TdS + Vdp$ ; свободной энергии  $F = U - TS$ :  $dF = -SdT - pdV$ ; свободной энергии Гиббса  $\Phi = F + pV$ :  $d\Phi = -SdT + Vdp$ ). Выбор того или иного из этих термодинамических потенциалов и связанных с ними математических представлений определяется удобством решения задачи [191].

Правда, полученная из 1-го и 2-го законов термодинамики система уравнений еще не полна — в них неизвестных больше, чем уравнений. Поэтому необходимо еще знание вида термодина-

<sup>10</sup> 3-м началом термодинамики называют постулат Нернста (1906) приводящий к тому, что при  $T=0$  энтропия  $S=0$ . Этот постулат играет несравнимо меньшую роль, чем 1-е и 2-е начала.

<sup>11</sup> "Предположим, что тело, — говорит Гиббс о жидкости в своей "Термодинамике", — изменяет свое состояние. Тогда точки, соответствующие состояниям, через которые проходит тело, образуют кривую, которую мы можем назвать путем тела" [38, с.11].

мического потенциала. Простейшим случаем является случай его постоянства, т.е. равенства нулю дифференциала соответствующего термодинамического потенциала, каковыми являются адиабатически-изобарный ( $dU=0$ ), адиабатически-изохорный ( $dH=0$ ), изотермо-изохорный ( $dF=0$ ), изотермо-изобарический ( $d\Phi=0$ ) процессы или идеальный газ, для которого известно уравнение состояния (уравнение Клапейрона-Менделеева)<sup>12</sup>. Более сложные случаи — предмет статистической физики.

Идеальная тепловая машина позволяет также ввести абсолютную шкалу температур (шкалу Кельвина), аннулируя произвол, существовавший при выборе характерных точек (типа “таяния льда”) в существовавших шкалах Цельсия, Фаренгейта и др. [180, т.4, §5]. “Таким образом, с сер. XIX в. — со статьи Клаузиуса<sup>13</sup> 1850 г. стала складываться классическая феноменологическая<sup>14</sup> термодинамика<sup>15</sup>.”

Специфика термодинамики заключается в ее невероятной общности вследствие безразличия к типу теплового тела (вещества), которое помещают в идеальную тепловую машину. Это позволяет решать огромное количество термодинамических задач для очень сложных систем и веществ.

---

12 Эмпирические выражения получены и для ряда жидких и твердых веществ.

13 Клаузиус обосновал свой вывод, проделав тщательный анализ процесса превращения тепла в работу с помощью бесконечно малых циклов Карно. Этот подход, независимый от молекулярных предположений, и был принят в термодинамике” [88, с. 143].

14 Феноменологической” ее называют в противовес статистической физике. Думаю, что это не совсем правильно. Чистая феноменология — связь между измеримыми величинами, как в законе Ома или уравнении Клапейрона для идеального газа. Здесь же, посредством механического эквивалента теплоты и цикла Карно для идеальной тепловой машины, т.е. 1-го и 2-го законов термодинамики, дано значительно больше: по сути задана система фундаментальных идеальных объектов, определяющих термодинамику как полноценный самостоятельный раздел физики.

15 В примыкающей к равновесной термодинамике линейной неравновесной термодинамике расширяется набор переменных, вводятся новые измеримые величины — приращения температуры ( $\Delta T$ ), числа частиц ( $\Delta N$ ), и т.п., а в качестве уравнений движения выступают соотношения Онзагера, связывающие потоки и градиенты соответствующих величин (закон Ома, закон Фика и т.п.) на уровне эмпирических закономерностей [49].

Обобщение термодинамической системы (теплового тела) на случаи переменного состава и наличия внешних полей (в первую очередь электромагнитного) и необратимых процессов позволило включить термодинамику не только в механику сплошных сред<sup>16</sup> — жидких (гидродинамика), твердых (теория упругости) и газообразных (акустика и газовая динамика), но и в электродинамику сплошных сред и теорию химических процессов.

В XX в. термодинамика играет большую роль в космологических моделях эволюции Вселенной.

Однако, здесь надо соблюдать осторожность. Возвращаясь к началу параграфа, мы видим, что в идеальном тепловом двигателе — специфической термодинамической системе роль “системы” играет “рабочее тело”, а роль “окружающей среды” — нагреватель и холодильник. Все это подчеркивает “лабораторный” (т.е. локальный) характер термодинамики, как и других разделов физики. Поэтому к распространению полученных для системы в виде “рабочего тела” результатов на всю Вселенную, как это делается в современной космологии, надо относиться с большой осторожностью.

Другой момент, на который следует обратить внимание — на центральную роль модели идеального газа в формировании как термодинамики, так и статистической физики и кинетики, а также химии, о чем речь еще впереди. Причем в каждом из этих разделов науки соответствующая идеальная модель вводится по-своему.

---

<sup>16</sup> В общем случае неравновесной термодинамики мы сталкиваемся с уравнениями движения гидродинамического типа, в котором время присутствует явно. Здесь системой является та или иная среда (и/или поле), а состояния системы задаются в пространстве состояний плотности  $\rho(x, t)$ , скорости  $v(x, t)$ , давления  $p(x, t)$ , температуры  $T(x, t), \dots$ . Т.е. термодинамические величины ( $\rho, v, p, T, \dots$ ) превращаются в функции — компоненты термодинамического “поля”. Неравновесная термодинамика в своем зрелом состоянии оказывается тесно связанной (встроенной) в электродинамику и механику сплошных сред [49].

## 8.2. Статистическая физика как микроскопическая модель термодинамики

Отличие статистической физики от термодинамики состоит в том, что в первой в слое физической модели дополнительно вводится *микроскопическая модель* термодинамической системы (тела-вещества).

Исторически и логически (и это отражено в структуре всех учебников по статистической физике) статистическая физика (механика) отпочковывается от молекулярно-кинетической теории.

Комплекс понятий *молекулярно-кинетической теории* формировался параллельно термодинамике в рамках молекулярно-кинетической теории тепла.

Своими корнями она уходит к корпускулярной гипотезе античных натурфилософов, в рамках которой теплота рассматривалась как род движения. Широкое распространение и длительное господство теории теплорода привело к тому, что эта гипотеза “мало-помалу забывалась вместе с трудами, в которых она излагалась. Этому обстоятельству в значительной степени способствовало... и отсутствие теоретической и экспериментальной основы, на которой могла бы развиваться корпускулярная гипотеза” [38, с. 260]. Появление такой основы обозначает переход от натурфилософских (характерных для М.В.Ломоносова, Д.Бернулли, Б.Румфорда) к естественнонаучным построениям. “Принципом, который все поставил бы на свое место и превратил корпускулярную гипотезу в научно обоснованную теорию... стал принцип эквивалентности теплоты и работы”, — утверждает известный историк науки Я.М.Гельфер [38, с. 260].

В сер. XIX в. возникают механические модели естественнонаучного характера для газа. Это происходит на базе нового механического представления молекул в виде абсолютно твердых упругих шариков (не последнюю роль здесь сыграла аналогия с бильярдом). На базе этой механической модели вскоре были получены основные термодинамические соотношения для идеального газа: уравнение состояния, связывающее давление, объем и температуру (закон Бойля-Мариотта), представление температуры как функции средней живой силы (кинетической энергии), выражения для диффузии и теплопроводности. Несколько позже Больцманом было введено важное для молекулярно-кинетической теории понятие степеней свободы<sup>17</sup>. После учета Больцманом вращательной и колебательной степеней свободы молекул и

<sup>17</sup> Степени свободы “в механике соответствуют независимым перемещениям механической системы, число которых опреде-

обоснования теоремы о равномерном распределении энергии по различным степеням свободы были получены верные результаты и для теплопроводности.

Но несмотря на впечатляющие достижения, молекулярная модель с трудом завоевывала себе популярность<sup>18</sup>. Причина состояла в том, что в это время господствовало представление о теплоте как “невесомой материи” и действовал ньютоновский запрет на “измышление гипотез”, к которым относилась гипотеза о движении невидимых маленьких частиц. Ситуация в этом смысле резко изменилась лишь после появления в начале XX в. теории броуновского движения Эйнштейна-Смолуховского

Несмотря на такое господствующее отрицательное отношение молекулярно-кинетическое направление развивали такие известные ученые как Клаузиус, Джоуль, Максвелл. Последний сделал следующий важный шаг — ввел представление о случайном характере движения молекул в газе и, используя методы теории вероятности и получил вероятность распределения молекул по скоростям. Максвелл формулировал задачу так: “В целях создания основы для подобных исследований (детального теоретического исследования явлений переноса в газах — А.Л.) на строгих принципах механики я изложу законы движения неопределенного количества малых твердых и совершенно упругих шаров, действующих друг на друга только во время столкновения. Если окажется, что свойства подобной системы тел соответствуют свойствам газов, то этим будет создана важная физическая *аналогия*, которая может привести к более правильному познанию свойств материи” [38, с. 277].

Эту линию продолжили Л.Больцман и Дж.Гиббс. В качестве аналогии здесь выступает “ансамбль” многочастичных динамических механических систем (“микросистем”),

---

ляется числом образующих систему частиц и наложенных на нее механических связей. В статистической физике соответствуют независимым обобщенным координатам, определяющим полную энергию системы” [184, с. 723-724].

<sup>18</sup> Яркий пример - отказ в 1845 г. печатать работу Уотерсона, где впервые были получены многие эти результаты, с формулировкой, что эта работа “пустая, если не бессмысленная”, основанная на “чисто гипотетических принципах” [38, с. 262] (эта работа увидела свет лишь через пол-века).

с помощью которых вводится модель состояния статистико-механической многочастичной системы и ее математический образ. Подчеркиваю, что речь идет о максвелловском “методе аналогий” и о создании нового первичного идеального объекта — статистико-механической многочастичной системы, а не о строгом выводе из динамической механики статистической механики, ибо в приводимых ниже цепочках рассуждений Больцмана и Гиббса содержатся скачки в виде дополнительных постулатов. При этом аналогии Больцмана более конкретны, а Гиббса — более абстрактны.

*Модельные представления* кинетической теории тепла сложились в результате трудов Клаузиуса, Джоуля, Максвелла, Больцмана. Ее основными компонентами являются:

для *системы* — молекулярная модель системы, степени свободы молекул, случайность движения молекул<sup>19</sup>;

для *состояния системы* — самого сложного элемента модели, — то, что оно характеризуется суммарной энергией системы и представляется как совокупность равновероятных механических “микросостояний”<sup>20</sup>, обладающих этим значением суммарной энергии (правда, этим общим понятием практически не пользуются, характеризуя состояние системы более простыми средними величинами, состав которых меняется в зависимости от рассматриваемой задачи).

В качестве “математического представления” в статистической механике используются: “представление статсуммы”, вариантами которого являются представления “конфигурационных интегралов”, “групповых интегралов” (и их квантовомеханического аналога

<sup>19</sup> Сначала оно не воспринимается как качественно новое. Случайность в статистической механике рассматривалась ее создателями не как принципиально новый “статистический” тип связи, а как результат недостаточного знания начальных условий, недостаточной чувствительности органов чувств. Принципиальность этого шага была осознана значительно позже, после появления квантовой механики.

<sup>20</sup> Больцман называет их состояниями, но чтобы избежать путаницы и отличать исходную многочастичную “динамическую” механическую модель системы и ее состояний от конечной “статистико-механической” модели системы и ее состояний мы, вне цитат, в первом случае будем говорить “микросистема” и “микросостояние” или состояние “микросистемы”, а во втором — система и состояние.

— “пропагаторного” представления), “вириального разложения” и др. или представление “функций распределения” [191] (последнее допускает применение и для неравновесных систем). Во всех этих представлениях в соответствующее “уравнение движения” так или иначе входит функция  $\exp - E/k_B T$ , где  $k_B$  — постоянная Больцмана,  $T$  — температура (по абсолютной шкале Кельвина),  $E$  — суммарная энергия системы (для молекулярной системы это сумма энергий изолированных молекул и межмолекулярного взаимодействия, которые зависят от координат и скоростей молекул и от молекулярного строения физической модели системы).

Одна из трудностей при понимании изложения статистической физики во многих классических учебниках состоит в том, что там математическое представление выдается за физическую модель, а “метод аналогий” за строгий вывод. Поэтому проследим эту сложную процедуру чуть подробнее.

В ходе формирования статистической физики используется сочетание уже знакомых нам “метода аналогий” Максвелла и варианта метода “затравочной классической модели”. Сначала берется “затравочная” “динамическая” механическая микроскопическая модель молекулярной системы. Затем создается новое *математическое представление* состояния статистической системы посредством введения статистического ансамбля, задающего посредующую процедуру.

Больцман для этого использует модель перестановок молекул по различным микросостояниям. “Предположим, — говорит Больцман в статье “О связи между вторым началом механической теории теплоты и теорией вероятностей...” (1877), — что мы имеем  $n$  молекул. Пусть каждая из них может принимать значение живой силы (кинетической энергии — *АЛ.*)  $0, \epsilon, 2\epsilon, 3\epsilon, \dots, p\epsilon$ . Эти живые силы должны быть распределены всеми возможными способами между  $n$  молекулами, причем так, что полная сумма живых сил всех молекул всегда остается одной и той же, например равной  $\lambda\epsilon = L$ . Каждый такой способ распределения... мы будем называть комплексией... Теперь зададимся вопросом о числе  $\beta$  комплексий, в которых  $w_0$  молекул имеют живую силу  $0$ ,  $w_1$  молекул — живую силу  $\epsilon$ ,  $w_2$  молекул — живую силу  $2\epsilon$  и т.д. ...  $w_p$  молекул — живую силу  $p\epsilon$  ... Мы можем сказать:  $\beta$  показывает сколько комплексий при некотором распределении соответствует состоянию, в котором  $w_0$  молекул имеют живую силу  $0$ ,  $w_1$  молекул — живую силу  $\epsilon$ ,  $w_2$  молекул — живую силу  $2\epsilon$  и т.д.; иными словами оно определяет вероятность этого распределения состояний”. “ $\beta$

представляет собой не что иное, как число перестановок из элементов распределения состояний, в силу чего  $\beta$  будет называться перестановочностью соответствующего распределения состояний" [18, с. 193-194, 237].

Предполагая, что *все сочетания равновероятны* (!), Больцман получает, что с наибольшей вероятностью реализуется *состояние*, которому отвечает максимальное число перестановок, т.е. отвечающее максимальной величине "перестановочности". Это и есть равновесное состояние системы. Логарифм же от "перестановочности" обладает (с точностью до знака) свойством энтропии.

В 1872 г. в статье "Дальнейшие исследования теплового равновесия между молекулами газа" Больцман вновь обращается к рассмотрению свойств максвелловского распределения в газе и, проделав еще один вариант динамического доказательства этого распределения, вывел знаменитое кинетическое уравнение для функции распределения... В общем виде Больцман не сумел решить свое кинетическое уравнение. Но он получил из него замечательно важное следствие, вошедшее в историю под названием H-теоремы... Тот факт, что H-функция, зависящая от характера распределения молекул в газе, в результате столкновения молекул обнаруживает необратимый во времени характер изменения, подобный... поведению термодинамической энтропии, позволил Больцману считать, что ему удалось получить микроскопическую интерпретацию второго начала термодинамики. H-теорема отражала удивительный результат: из обратимого механического уравнения следовало, что некая функция необратимо изменяется во времени в результате столкновения молекул" [88, с. 151-152]. Результаты Больцмана подверглись жесткой критике со стороны И.Люшмидт и Э.Церемело и др. В этом споре Больцман успешно развивал свою теорию, но победным итогом стала статья П. и Т. Эренфест "О двух известных возражениях против H-теоремы Больцмана" (1907), вышедшая уже после смерти Больцмана.

Больцман работал с моделью газа. Последовательное описание "метода ансамбля" в общем случае для равновесной статистической механики (физики) принадлежит Гиббсу<sup>21</sup>.

Гиббс, вслед за Больцманом (1871), вводит центральное для своего подхода понятие — *статистический ансамбль*, представляющий состояние термодинамической системы. Гиббс (значение которого состоит в детальной раз-

<sup>21</sup> Которому, по сделанному в 1904 г. Больцманом признанию, принадлежит "честь систематизировать эту науку, изложить ее в стройном виде и дать ей характерное имя" [17, с.173].

работке математического представления статистического ансамбля) опирается на представление об “ансамбле тождественных по своей природе механических систем (микросистем — *АЛ.*), подверженных действию сил с одинаковыми законами” [39, с. 358] (ансамбль Гиббса — это, по сути, элемент математического слоя, в то время как Максвелл и Больцман работали, в первую очередь, в модельном слое).

Подчеркнем, что говоря об этом ансамбле говорят о представлении в статистической механике состояния системы, а не системы (!). “Можно представить себе, — продолжает Гиббс, — огромное число систем (микросистем — *АЛ.*) одинаковой природы, отличающихся друг от друга конфигурациями (положениями в пространстве — *АЛ.*) и скоростями (совокупность того и другого задает динамическое состояние микросистемы и точку в фазовом пространстве в математическом слое — *АЛ.*), которыми они обладают в данный момент, и отличающихся не только бесконечно мало, но может быть и так, что охватывается каждая возможная комбинация конфигураций и скоростей...” [39, с. 350]. Концепция ансамбля через еще одно посредующее звено — плотность точек в фазовом пространстве, отвечающем пространству состояний рассматриваемой микросистемы — позволяет “придать точный смысл понятию вероятности... того, что произвольная система (микросистема. — *АЛ.*) будет обнаружена в элементе фазового объема” [39, с.364]. После этого, используя то, что число элементов очень велико, что систему можно разбить на аддитивные части, используя теорему Лиувилля для траекторий систем (микросистем — *АЛ.*)<sup>22</sup> и вводя канонический (или микроканонический) ансамбль Гиббса<sup>23</sup>, получают для плотности указанной вероятности известное выражение в виде экспоненциальной зависимости от суммарной энергии системы. Затем, выписывая выражение для усредненной по этой вероятности по системам (микросистемам — *АЛ.*) энергии системы, ставят соответствующим

<sup>22</sup> При этом, правда, возникает сложная проблема обоснования возможности замены средних по времени средними по ансамблю, для решения которой Больцман выдвинул знаменитую эргодическую гипотезу, утверждающую, что физическая система, независимо от начального состояния, обязательно пройдет через все состояния, характеризующиеся одним и тем же значением полной энергии. Споры вокруг этой гипотезы имеют достаточно длительную историю (подробности см. в [38, с. 376]).

<sup>23</sup> Каноническое распределение Гиббса — это математический аналог закона распределения Больцмана. Но если последний был применим только к газам, то распределение Гиббса имело гораздо более общий характер” [38, с. 378]. В [191] приведена

средним в соответствие температуру, энтропию и другие термодинамические величины [191]. После чего открывается возможность перехода к перечисленным выше различным математическим представлениям статистической механики.

Итак, Больцман закончил формирование физической модели молекулярно-кинетической теории тепла и вытекающих из нее моделей физической кинетики<sup>24</sup> и равновесной статистической физики, а Гиббс завершил построение математического представления (причем в максимально общем виде) для равновесной статистической физики.

Сравнивая построения Гиббса и Больцмана, М.Планк говорил: “Внешняя общность введенных Гиббсом различных определений энтропии в том смысле, что природа рассматриваемой системы не обязательно должна быть конкретизирована, приобретает цену ограничения физического смысла этих определений. Все определения Гиббса вполне применимы и полезны для всех обратимых процессов, как и многие другие возможные определения еще более формальной природы. Наоборот, для необратимых процессов, дающих, по существу, понятию энтропии ее собственный

сводка различных вариантов ансамблей (канонический, микроканонический, большой канонический, изотермическо-изобарический и обобщенный), отвечающих различным типам контакта с окружающей средой. Там же сказано, что “если флуктуации малы, то результат не зависит от выбора ансамбля, выбор ансамбля определяется удобством вычислений. Широкое использование канонического ансамбля в статистической физике, связано главным образом с удобством проводимых с ним математических вычислений. Однако в последние 10—20 лет (т.е. с 40-х гг. — *А.Л.*) стала понятна выгода применения для решения некоторых задач и других ансамблей” [185, с. 87, 90]. Т.е. разные типы ансамблей отвечают разным эквивалентным математическим представлениям.

<sup>24</sup> Кинетическое уравнение Больцмана ведет к современной кинетической теории неравновесных процессов. Бесспорными успехами на этом пути является описание броуновского движения микрочастиц и других явлений переноса (диффузии и теплопроводности) в различных молекулярных средах; подробное рассмотрение некоторых частных случаев, в которых удалось ввести малый параметр и использовать метод последовательных приближений Боголюбова, Борна, Кирквуда, Грина (ББКГ); введение модели нескольких масштабов времени, характеризующие области применимости приближения кинетической теории и гидродинамического приближения.

смысл и служащих ключом к полному пониманию теплового равновесия, из всех до сего времени разработанных определений определение Больцмана оказывается самым адекватным и самым полезным” (по [49, с. 264]).

Для вывода полученных Больцманом выражений существенно, что число молекул и состояний очень велико. Система в статистической механике состоит из большого числа одинаковых (!) элементов, задающих определенный по количеству и, главное, качеству (“природе” в терминологии Гиббса) набор ее степеней свободы, зависящий от динамических свойств элементов и внешних условий (сил и границ). Обычно это — система, состоящая из большого числа молекул (элементов), характеризующихся определенным спектром степеней свободы (поступательных, вращательных, колебательных и др.) и связанными с ними энергиями  $E_k$ . Эти характеристики “молекул” берутся из соответствующих разделов “динамической” механики (в термодинамике же никаких предположений о строении вещества не делается). Введение функции энергии системы  $E$  в термодинамическое уравнение движения задает (в неявной форме) уравнение состояния для произвольной молекулярной системы, а не только для идеального газа. Правда, реально решить получаемые уравнения удастся, как правило, лишь для моделей слабонеидеального газа<sup>25</sup>. Сведение поведения конденсированной системы к поведению слабонеидеального газа квазичастиц-возбуждений (фононов, поляронов,...) — типичный ход в теории твердого тела.

Повторю, при построении статистической физики используется ряд постулатов типа “равноправности состояний системы, принадлежащих к данной энергии, которое является обобщением положения о молекулярном хаосе в идеальном

<sup>25</sup> Идеальный газ в статистической физике — это система, состоящая из множества элементов, не взаимодействующих друг с другом и потому ведущих себя почти независимо. В качестве элементов могут выступать молекулы, гармонические осцилляторы (всевозможные колебательные системы типа маятника) и др. В слабонеидеальном газе эти элементы взаимодействуют друг с другом, но слабо, по сравнению с характерными внутренними энергиями. Это взаимодействие между элементами учитывается как поправка (метод возмущений).

газе [94, т.1, с.390]. Поэтому приводимые у Гиббса и в классических учебниках по статистической физике "выводы" статистической механики из классической механики являются *не строгими выводами*, а описанием основной *опосредующей процедуры*: посредством введения статистического ансамбля создается новое "нединамическое" математическое представление, превращающее "затравочную" динамическую модель в статистическую<sup>26</sup>. Метод ансамблей, с одной стороны, и исторически (по мысли Максвелла и Больцмана) и логически (в полном виде употребляется только при генеральном выводе) близок "методу аналогий" Максвелла (п.4.3). С другой стороны, в снятом и упрощенном виде (через выражение энергии "затравочной" динамической системы) он применяется каждый раз при постановке исходной конкретной задачи (эта процедура подобна той, что совершается в квантовой механике при переходе от классического к квантовому Гамильтониану в методе "затравочной классической модели" (п.6.4)).

Статистическая физика имеет массу приложений. В частности она рассматривает случай сосуществования молекулярной системы в газообразном, жидком и твердом состоянии, называемыми в этом случае "фазами" вещества<sup>27</sup>.

На уровне молекулярной модели эти фазы различаются следующим образом. Разреженный газ это — молекулярная система, в которой межмолекулярное расстояние между молекулами  $L$  велико по сравнению с размером молекул  $d$ . Поэтому молекулы не испытывают притяжения друг к другу. Вследствие этого объем и форма газа определяются внешними условиями (границей сосуда). В конденсированных молекулярных системах  $L \approx d$ . К последним относятся кристаллические твердые тела, обладающие "дальним порядком", т.е. периодической упорядоченностью положений молекул на расстояниях  $L \gg d$ . Они сохраняют и объем, и форму, определяемые видом межмолекулярного взаимодействия. Другим типом конденсированной молекулярной системы является жидкость, в которой отсутствует дальний порядок, вследствие чего она обладает текучестью и сохраняет лишь объем, но не

<sup>26</sup> А поскольку *нет* строгого *вывода* статистической механики из классической механики, то, возможно, не столь очевидна и волнующая многих "загадка" *перехода* от обратимых уравнений механики к необратимым процессам статистической физики.

<sup>27</sup> "Фаза в термодинамике - термодинамически равновесное состояние вещества, отличающееся по физическим свойствам от других равновесных состояний (др. фаз) того же вещества" [184].

форму. Вырожденным случаем жидкости являются аморфные твердые тела, обладающие столь малой текучестью, что во многих отношениях ведут себя как кристаллические твердые тела. Влияние температуры в этой модели сказывается через увеличение скорости молекулярного движения (поступательного в газобразной и колебательного в конденсированной фазе)<sup>28</sup>. Четвертым фазовым состоянием называют плазму — газ состоящий из ионов, что возможно, например, при очень высоких температурах, характерных для Солнца и звезд. Существует подраздел статистической физики — теория фазовых переходов, где рассматриваются переходы из одной фазы в другую<sup>29</sup>.

Мы рассмотрели основные моменты процесса формирования статистической физики как нового раздела науки. Новые “первичные идеальные объекты” были в ней созданы в рамках молекулярно-кинетической теории теплоты, ветвью которой является равновесная статистическая физика. Главная же дорога через кинетическое уравнение Больцмана ведет к современной кинетической теории неравновесных процессов.

### 8.3. Синергетика как естественная наука

Переходя к синергетике, надо сразу оговорить некоторые моменты, связанные с ее многоликостью.

Во-первых, как и в случае квантовой механики, здесь образовалось два потока и потому следует различать “синергетику 1” и “синергетику 2”, синергетику естественнонаучную и синергетику философскую.

Философская “синергетика 2” описывается как “X-наука”. Под последней имеют в виду “пока еще не установленное название еще не сложившегося научного направления, занимающегося исследованием процессов самоорга-

---

<sup>28</sup> В конденсированном состоянии возможно и другое проявление тепла - увеличение концентрации “дырок” (незаполненных мест) среди ближайших соседей у молекул. Как показано в [103] этот механизм является главным для жидкого состояния.

<sup>29</sup> Кроме указанных трех фаз, переход между которыми сопровождается скачком основных термодинамических характеристик (фазовые переходы I рода), существуют и другие типы фаз (например, пара-, диа- и ферро-магнитные), переход между которыми сопровождается скачком лишь производных от основных характеристик (фазовые переходы II рода).

низации и образования, поддержания и распада структур в системах самой разной природы (физических, химических, биологических и т.д.)” (хотя это цитата из статьи Данилова и Кадомцева 1983 г., но она приводится и для выражения сегодняшней ситуации [4, с. 7]). Один из ведущих ученых в области синергетики и автор этого термина Г.Хакен, отвечая в одном интервью на вопросы философа Е.Н.Князевой, определяет ее как “некую направленность исследований”. “С тех пор как я очертил эту область, — продолжает он, — данная направленность исследований была продолжена несколько иначе и под другими названиями... Поэтому существует много названий для этой области: теория сложности, теория самоорганизации и т.д.” [189, с.53].

Но главная наша тема — “синергетика 1”, т.е. синергетика как естественная наука, причем, как и в других частях данной книги, мы ее будем рассматривать с точки зрения характерных для нее моделей. В этом плане синергетика интересна, во-первых, как альтернатива термодинамике с ее вторым началом и статистической физике с ее ориентацией на идеальный газ.

Как естественная наука она развивается во второй половине XX века (достигнув возмужалости в последней четверти) на пересечении нелинейной динамики (как раздела теории дифференциальных уравнений — раздела математики тесно связанного с теоретической механикой), нелинейной физики и химии (нелинейные системы оказываются в XX в. в центре внимания естественных и социальных наук) и др. С точки зрения нелинейной динамики, выросшей из теории нелинейных колебаний Пуанкаре, Андронова и др., во второй половине XX века произошли три важных открытия.

Во первых, был открыт особый тип фазовых траекторий (т.е. траекторий в математическом слое пространства состояний) — “*странные аттракторы*”. Движение механических систем, которые им отвечали нельзя было выразить на языке привычных для механики движений. “Странным аттрактором”, играющим роль предела, к которому стремятся фазовые траектории механических систем, т.е. математические образы состояний механических систем, отвечает сложное хаотическое движение, так называемый “*динами-*

ческий (или детерминированный) хаос". Такое название связано с тем, что, с одной стороны, по виду это движение неотлично от хаотического, но возникнуть оно может уже в довольно простых механических системах, скажем состоящих всего из трех тел, которые описываются обычными точными уравнениями механики. Необычность этого типа движения состоит в том, что хаос и точное описание системы небольшого числа тел считались несовместимы. Причина же его существования — неустойчивость систем, где этот тип движения реализуется.

Во-вторых, появился новый тип объектов — так называемые "автоволны". В отличие от классической волны, характеристики ее не меняются во времени, амплитуда волны всегда постоянна, она движется с постоянной скоростью и не диссипирует. Для автоволн нет ни суперпозиции, ни закона фаз. Пройти друг сквозь друга они не могут, при взаимодействии между собой они взаимоуничтожаются (аннигилируют). Секрет такого поведения состоит в том, что, в отличие от классических волн, связанных с обычной средой, автоволны — порождение *активных сред*, т.е. сред насыщенных энергией, которую автоволны могут черпать столько, сколько им "надо". В консервативной системе или системе с диссипацией все в конце концов успокоится и придет в стационарное состояние. И там хорошо работают и энтропия, и другие классические термодинамические понятия и законы. А вот уже в далекой от равновесия химической системе это все неважно, там энергии полно и она может гулять по фазовому пространству как ей заблагорассудится.

Наиболее естественные модели активной среды находятся в химии. Поэтому именно с ней они, в первую очередь, и ассоциируются. Если описать это явление на химическом языке, то классическая автоволна возникает так. Есть некоторый активатор — вещество, которое способно активировать свое собственное производство. Это создает внутреннюю неустойчивость и это позволяет системе за счет расхода энергии поднимать амплитуду автоволны до нужного уровня. В результате, волна, возникнув, будет распространяться без затухания с оптимальной амплитудой.

Итак, появился новый объект — автоволны и новые среды, которые назвали активными средами. Парадигмой для этой сис-

темы, является не гармонический осциллятор, который является базовым объектом для физической волны, а химический объект, у которого нет собственных колебательных свойств в локальной окрестности особой точки (у него есть глобальный предельный цикл и глобальная возможность колебаться). И образ стал другим. Вместо гармонического осциллятора — маятника (шарика на веревочке или грузика на пружинке) появился новый образ — химический, который выглядит следующим образом. В системе есть две компоненты. Одна из них называется активатор, другая — ингибитор. И эти переменные обладают чисто химическим свойством, которое называется автокатализ — эта переменная умеет ускорять свое собственное производство. Ингибитор же может это все убивать. Это образ химический, совсем не физический. Но он хорошо работает и в физических системах (например, фазовый переход в перегретой или переохлажденной жидкости), и в биологических и в каких угодно системах довольно легко найти аналоги этому процессу.

В-третьих, переход активной среды из бесструктурного состояния в состояние обладающее структурой. Это связано с возможностью возникновения еще одного типа особенностей. Если вся среда находится в изотропном состоянии, то при некоторых изменениях параметров, изотропное состояние этой среды может перестать быть устойчивым. И единственным устойчивым состоянием для такой среды становится состояние типа *столчей волны*, когда в разных точках пространства имеются разные концентрации. Такая модель впервые была описана опять же в 50-е гг. XX в. Тьюрингом и получила название "*модели Тьюринга*". Она исходила из немного других представлений (не было понятия активной среды), но не в этом суть дела. Возникновение неоднородности из однородности вещь принципиальная для науки. Поэтому эта область тоже приобрела свое название — "*самоорганизации*".

Таким образом, вторая половина XX в. ознаменовалась еще одним сдвигом — появлением моделей типа модели Тьюринга.

Ярким примером этого рода является *эффект Бенара*, который состоит в следующем. Пусть у вас есть жидкость между двумя горизонтальными плоскостями, поддерживаемыми при разных температурах так, что температура снизу  $T_1$ , больше, чем температура сверху  $T_2$  — что-то типа масла на сковородке (наличие поля тяжести существенно для эффекта). Эта разность температур (градиент

температуры) порождает вертикальный поток тепла. Если градиент температуры мал, то перенос тепла происходит на микроскопическом уровне, и никакого макроскопического движения жидкости не наблюдается. Возрастая, градиент температуры достигает критического значения, и тогда возникает установившееся макроскопическое движение, образующее четко выраженные структуры: на одних участках жидкость поднимается, охлаждается у верхней поверхности, на других — опускается" [188, с. 21-23]. В результате устанавливается упорядоченное макроскопическое конвекционное движение, дающее в проекции сверху структуру типа пчелиных сот. Т.е. в исходном состоянии есть неструктурированное воздействие (однородные температуры) и неструктурированная среда, а в ней возникает структура, определяемая свойствами системы. Это один из классических примеров самоорганизации в физике.

Очень хотелось думать, как это делал Тьюринг в 1950-х, и многие продолжают так думать до сих пор, что процесс получения курицы из яйца, можно описать как процесс самоорганизации с помощью модели Тьюринга, что этот процесс с точки зрения динамики, представляет собой серию бифуркаций Тьюринга: изотропное яйцо разбилось сначала на две, потом на все большее число частей в результате чего появляются лапки, ногти, глазки и т.д. Но пока до осуществления этой программы далеко, появляются даже сомнения в самой ее осуществимости.

Таким образом, вторая половина XX в. в нелинейной динамике была связана с появлением хаотических систем, активных сред, автоволн и автоколебаний в химических системах, пространственной самоорганизацией (соответственно типичные модели для нее стала поставлять сначала химия, а затем биология)<sup>30</sup>.

Синергетика связана, в первую очередь с последней, поэтому мы на ней и остановимся более подробно, хотя под термин самоорганизация вполне подпадают и автовол-

---

<sup>30</sup> Этот обзор по нелинейной динамике второй половины XX в., в основном, заимствован из обзорной лекции по нелинейной динамике профессора кафедры биофизики физфака МГУ Ф.И.Атауллаханова, прочитанной 12.04.2000 в МФТИ.

ны, и переход порядок — хаос можно рассматривать как частный случай изменения структуры (“в синергетике рассматриваются вопросы спонтанного возникновения структуры, т.е. самоорганизации” [189, с.60]).

Самоосознание синергетики как науки происходит в 1970-х в тесной связи с развитием теории нелинейных уравнений и возможностей их численного решения на ЭВМ, теории устойчивости и др. Синергетика формируется как сложное переплетение математики, физики, химии и др. разделов науки, развивается в виде множества параллельных, часто спорящих друг с другом частных линий.

В этом великом разнообразии, тем не менее, просматриваются основные элементы модельного слоя, которыми можно заменить весьма неопределенное “единство явлений, моделей и методов” (так синергетика характеризуется в [184]).

Ядро системы (“полная система” у Г. Хакена) в синергетике составляет так называемая “нелинейная среда”. В модельном слое это означает среду, свойства которой зависят от происходящих в ней процессов. В математическом слое это выражается в наличии нелинейных уравнений движения. “Во всех случаях ... (эта система) составлена из множества подсистем (микросистем или элементов — *А.Л.*), например, атомов, молекул, клеток” [187, с. 30]. Собственно и в статистической физике мы имеем дело с системами, “составленными из множества подсистем” (тех же атомов и молекул). Но если модели системы в статистической физике ориентируются на идеальный газ, где системообразующими являются свойства элементов, а не связей, которые считаются слабыми, то в центре модели системы в синергетике оказываются связи между элементами. Эти-то связи и задают нелинейный характер среды-системы.

Другими обязательными характеристиками синергетической системы является ее *открытость*, предполагающая постоянный приток энергии и/или вещества (или чего-то другого), и *диссипативность*, предполагающая наличие диссипации, т.е. оттока этой энергии (и т.п.) из системы.

В такой системе возникают динамические макроскопические структуры<sup>31</sup>  $M_A(i)$  — хорошо организованное (когерентное) в масштабах полной системы поведение ее микроскопических элементов-подсистем. Именно эти динамические структуры являются главным предметом рассмотрения синергетики и они определяют ее специфику. Вследствие этого “акцент переносится с изучения инвариантов системы и положений равновесия на изучение состояний неустойчивости и возникновение и перестройку структур, нелинейность, открытость, катастрофы, случайность и хаос” [187, с. 14].

Для иллюстрации рассмотрим генерацию лазера (рис.8.4). Лазер представляет собой открытую диссипативную систему: “лампа накачки” закачивает туда энергию, которая отчасти производительно уходит в тепло, отчасти выходит в виде излучения лазера. Энергия накачки  $F$  здесь играет роль управляющего параметра. Пока накачка мала, система представляет собой огромное число молекул, “живущих” сами по себе и независимо переизлучающих доставшуюся им долю энергии накачки. Но

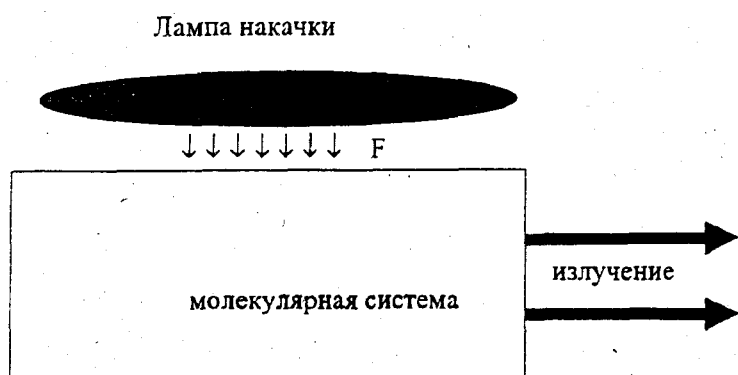


Рис. 8.4

<sup>31</sup> Иногда их называют заимствованным из теории колебаний и волн термином “моды”, а иногда - “диссипативными структурами”, подчеркивая созидательную роль диссипации в этих системах. Эти структуры возникают в неустойчивых состояниях системы. Они вырастают из неравновесных флуктуаций, стабилизирующихся за счет обмена энергией с внешней средой.

при достижении некоторого "порогового значения" ситуация кардинально меняется. Все это огромное количество молекул начинает вести себя как единый коллектив, поведение которого описывается всего лишь несколькими переменными. Это новое поведение системы, сопровождающееся качественным изменением характера выходящего из лазера излучения, и есть режим генерации высоко когерентного излучения.

Типичный для синергетики процесс можно описать так. Есть исходное состояние системы, в котором можно говорить об относительно независимом поведении ее элементов-подсистем и об их состояниях. И есть переход из этого состояния в новое *динамическое* макросостояние, где имеем дело с сильно коррелированным поведением микроэлементов-подсистем. Особенностью этого процесса является то, что исходные факторы — среда-система, внешнее воздействие (накачка) — не имеют структуры, а результат имеет *структуру*, которая диктуется свойствами системы-среды. Поэтому этот процесс называется самоорганизацией, в соответствие с чем Г.Хакен ввел для науки об этих системах название синергетика (от греч. *synergetikos* — совместный). В синергетике возникает возможность исследования моделей эволюции как последовательного усложнения динамических структур<sup>32</sup>, моделей образования порядка (структур) из хаоса и хаотического поведения простых динамических (т.е. описываемых детерминистическими, а не статистическими уравнениями движения) систем (одно из интенсивно развивающихся направлений).

Динамический характер этих структур имеет принципиальное значение. В каждом из различных разделов физики, которые мы рассматривали выше, речь шла об определенном типе движения, описание которого и конституирует соответствующее ядро раздела науки. В синергетике в центре внимания оказывается не тип движения, тесно связанный с моделью системы и ее состояний, а возникновение, исчезновение или превращение *динамических структур*, главной характеристикой которых является форма движения.

Синергетика отличается от других разделов физики тем, что она, по сути, рассматривает изменения формы, т.е. изме-

---

<sup>32</sup> Какие именно динамические структуры возникнут определяется "историей" внешнего воздействия и случаем.

нения качества (в классификации Аристотеля это другой тип движения, чем движение-перемещение). Центральными ее объектами оказываются не движение физических систем, а *формы* движений, которые можно обнаружить в разных разделах науки, на основе разных систем. В результате физические, химические, биологические и др. модели движения играют роль конкретного материала, выступают в качестве конструктивного элемента, который на сх.2.1 относится к внетеоретическому слою эмпирического материала (ЭМ). Наполнение формы материей (как у Аристотеля, где статуя представляется как наполнение формы-идеи материей-медью) требует фиксации определенного раздела науки с определенным типом движений и систем.

Таким образом, модель синергетики как раздела науки, в центре которой стоит процесс перехода от одной динамической структуры  $M_A(i)$  к другой, как бы надстраивается над различными разделами науки, поставляющими конкретные реализации открытой, диссипативной, нелинейной среды А.

Структура теоретической части синергетики (сх. 8.5) аналогична структуре “Т-блока” на сх. 3.1, если состояниям  $S_A(t)$  системы А сопоставить динамические структуры (моды)  $M_A(i, \eta_i, F)$  нелинейной среды-системы А, отличающиеся качественно формой (это фиксирует индекс  $i$ ) и количественно<sup>33</sup> (это фиксирует значение величины “параметра порядка”  $\eta_i$ ).

Аналогичная ситуация имеет место в теории колебаний. Новая характерная черта проявляющаяся у этого детища XX в., рожденного в лоне классической механики в трудах наших соотечественников Л.И.Мандельштама, Н.Д.Папалекси, А.А.Андропова, А.А.Витта, С.Э.Хайкина и др., состоит в том, что предмет его рассмотрения становятся определенные формы движения, выделяющие колебательное движение, среди других. При этом, как скоро выясняется, конкретный тип системы — носителя движения (механический, электрический, химический,...) оказывается несущественен для теории и вытесняется в “кон-

<sup>33</sup> Собственно чисто количественное изменение параметра порядка относится к динамике внутри одной моды-структуры (на пример скорости конвективного потока в ячейке Бенара), а не к основному для синергетики процессу — переходу от одной моды-структуры к другой.

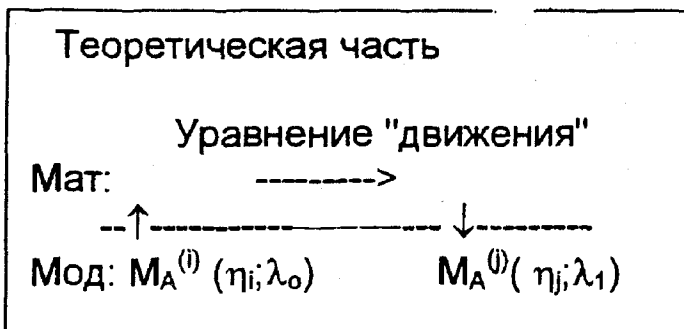


Рис. 8.5

структивные элементы". Теория колебаний рассматривает колебательную форму любого по своему материалу движения. Колебательными же являются движения или процессы, обладающие той или иной степенью повторяемости во времени. Основными измеримыми величинами становятся амплитуда и фаза колебания, а математическими образами колебаний становятся фазовые траектории, которые стремятся к фокусам, предельным циклам и другим особым математическим объектам в фазовом пространстве. Одновременно с появлением понятия формы движения появляется целевая причинность (стремление к некоторой форме), вопросы об устойчивости и переходы от одной формы колебаний к другой. Теория колебаний усложняется, включая в себя теорию нелинейных колебаний, у истоков которой стояли А.А.Андронов и его коллеги [2], опиравшиеся на математические труды А. Пуанкаре и А.М. Ляпунова.

Математические представления синергетики с соответствующими уравнениями движения<sup>34</sup> вышли из теории нелинейных колебаний и ряда разделов математики. Математическими образами динамических структур являются аттракторы — предельные для множества траекторий в фазовом пространстве множества точек, образующих "фокусы", "предельные циклы", "странные" аттракторы, ... Упорядочение мод и отвечающих им аттракторов может производиться с помощью сравнительно небольшого числа, так на-

<sup>34</sup> На языке обыкновенных дифференциальных уравнений (у Арнольда и Пуанкаре), на языке уравнений в частных производных (у И.Пригожина), с использованием инвариантно-групповых преобразований (режимы с обострением у С.Курдюмова и соавторов) и др.

зываемых, “параметров порядка” ( $\eta$ )<sup>35</sup>. Математическим образом возникновения новой динамической структуры-моды, определяющейся соответствующими уравнениями движения, в которые входят управляющие параметры, является бифуркация<sup>36</sup>. Их появление определяется изменением так называемых “управляющих параметров” ( $F$ ), в качестве которых часто выступает величина поступающей в систему энергии.

Поскольку развитие синергетики в значительной степени было связано с развитием соответствующих разделов математики (так же как развитие классической физики было тесно связано с развитием математического анализа), то авторы зачастую не выделяют модельную часть и не различают математическую и собственно синергетическую стороны<sup>37</sup> рассматриваемых ими задач. Структура синергетики, наличие в ней достаточно выраженного собственного модельного слоя указывает на то, что синергетика представляет собой особую фундаментальную естественную науку, а не математику (и не совокупность заимствований из математики, физики, теории систем и др.).

---

<sup>35</sup> Уравнение диффузии — уравнение в частных производных и имеет бесконечное число степеней свободы, но в нелинейных диссипативных системах обычно удается выделить конечное, часто очень небольшое, число переменных, к которым подстраиваются остальные. Эти переменные называют иногда “параметрами порядка”.

<sup>36</sup> В задачу теории бифуркаций, созданной великим французским математиком А. Пуанкаре и развитой великим советским математиком А.А. Андроновым, входит: а) показ существования ветвлений при критическом значении управляющего параметра; б)нахождение аналитических выражений для важных типов решений. Бифуркации, возникновение диссипативных структур и самоорганизация оказались связанными самым тесным образом.

<sup>37</sup> Так И.Пригожин, утверждая, что “цель книги состоит лишь в том, чтобы помочь читателю разобраться в физическом смысле соответствующих понятий” [145, с.184], говорит там о чистой математике, относящейся к математическому слою.

#### 8.4. "Физика неравновесных процессов" И. Пригожина

Интересное переплетение синергетики, математики, физики и философии мы находим у И. Пригожина. Логика его собственного развития и исходная постановка проблем у него тесно связаны с физикой и сам он всячески избегает термина "синергетика". Он называет создаваемую им науку "физикой неравновесных процессов", считая ее обобщением физики. Пригожин занимается "теорией диссипативных структур", которая, по характеристике Г.Хакена, "занималась изучением физических, химических или биологических систем, причем здесь целью исследования является спонтанное формирование структур за пределами термодинамического равновесия и в то же время при помощи процесса диссипации". При этом существенно, что речь идет об "области исследования, которая не может быть постигнута посредством классических понятий" [189, с. 53].

Поскольку И. Пригожин является одним из основателей синергетики и популярным автором далеко идущих философских обобщений, изложенных в ряде книг и статей, переведенных на русский язык [145—148], то проанализируем его работы, воспользовавшись введенными нами понятиями и различиями.

Создаваемую им науку он, с одной стороны, рассматривает как развитие физики, как обобщение квантовой механики и космологии, как "взаимосвязь между двумя основными областями теоретической физики — динамикой и термодинамикой", которая "затрагивает смысл времени" [145, с. 160]. С другой стороны, он утверждает, что создаваемая им "новая наука — физика неравновесных процессов" "связана с такими понятиями, как самоорганизация и диссипативные структуры" [147, с. 5]. Т.е. эта наука имеет две проекции: физическую и синергетическую (во многом аналогичную ситуацию мы находим и при становлении теории колебаний, рожденной в лоне классической механики).

В плане первой И. Пригожин претендует на создание нового раздела физики, следовательно он занимается, описанной в п.2.1 научной деятельностью по созданию новых "первичных идеальных объектов". Исходным моментом этой деятельности часто является тот или иной "конструк-

тивный парадокс”, который в итоге преобразуется в новые “первичные идеальные объекты”. Для И. Пригожина таким “конструктивным парадоксом” служит проблема “необратимости времени”: “Мотивацией нашей работы был парадокс времени,” — говорит он [147, с.10].

Обычно этот парадокс рассматривают как явление, которое пытаются объяснить с помощью механических (“динамических” на языке И. Пригожина) первичных идеальных объектов в рамках “объяснительной” деятельности (“И-фаза” на сх.2.1), например, пытаются свести необратимость к явлению, связанному, скажем, с тем или иным усреднением-огрублением (как в известном методе Боголюбова [16]). И.Пригожин же, вслед за А. Бергсоном, Г. Рейхенбахом и др., исходит из того, что необратимость это принципиально немеханическое свойство и вводит его конструктивно как новый первичный идеальный объект в ходе “описательной” деятельности, отвечающей “С-фазе” развития науки<sup>38</sup>.

Правда, поскольку в философско-методологическом плане этого различия у него нет, то он часто выражает свою постановку проблемы почти теми же словами, что и “объяснители”, попадая в ту же сложную ситуацию, что и высокопочитаемый им Л. Больцман. Свою постановку проблемы он сводит к ответу на вопрос: “Как возможно, что ”исходя из программы (программа для ЭВМ является эквивалентом уравнения движения — А.Л.), составленной на основе классической динамики, мы получаем эволюцию с нарушенной симметрией во времени?” [145, с.128], т.е. к

<sup>38</sup> Необратимость, будучи скорее “качеством”, чем “вещью”, играет у И. Пригожина роль одного из первичных идеальных объектов, хотя ее можно свести (или вывести из) к другому пригожинскому первичному идеальному объекту - “хаосу”, который “привносит стрелу времени и вероятность” и “приводит к решению всех трех парадоксов” (необратимости времени, коллапсу волновой функции в квантовой механике, рождению порядка из хаоса) [145, с. 9, 12]. При этом “хаотическую систему” И. Пригожин определяет так: “Динамическая система, классическая или квантовая, является хаотической, если ее описание не может быть сведено к исследованию отдельных траекторий или волновых функций” [147, с. 181, 212, 8-9]. Но “хаос” принадлежит скорее рассматриваемой ниже синергетической стороне пригожинской “неравновесной физики”.

ответу на старый вопрос: “Как обратимые по времени и “детерминистические” уравнения (законы) движения классической и квантовой механики (и замалчиваемой им электродинамики), олицетворяемые для И. Пригожина траекториями и волновыми функциями, переходят в необратимые по времени и “несводимо” вероятностные описания в неравновесной термодинамике<sup>39</sup>?”.

Рассмотрим что же делает И. Пригожин, строя свою “неравновесную физику”.

И. Пригожин исходит из сложившейся статистической физики (классической и квантовой). Он кладет в основание своего математического представления широко используемое в статистической физике представление функции распределения (плотности вероятности или матрицы плотности, соответственно, в классическом и квантовом случаях). Последняя определяется выражением:

$$F_{\text{набл}} = \int \rho(p, q) F(p, q) dp dq = Sp\{\rho(t) F^{\text{оп}}\},$$

где  $F_{\text{набл}}$  — измеряемая макровеличина,  $F(p, q)$  — соответствующее ей “микроразличение” ( $F^{\text{оп}}$  — отвечающий ей оператор в квантовом случае) матрица плотности  $\rho$  является математическим образом состояния системы. Ее изменение определяется уравнением движения, главным действующим лицом в котором является Гамильтониан  $H$  — математический образ системы.

Отталкиваясь от этой структуры, Пригожин создает новое математическое представление, вводя в математическом слое супероператоры и операторы с комплексными собственными значениями в “оснащенных” пространствах. С их помощью в [147] вводится процедура “хронологизации” (в более ранней работе [145] она связывалась с введением операторов микроскопической энтропии  $M$  и времени  $T$ ), которая “в общем случае приводит к принципиально

<sup>39</sup> Постановка вопроса весьма распространенная. Один из первых, опирающихся на неустойчивость системы ответов на него был дан рано умершим талантливым советским физиком Н.С.Крыловым [85]. Мы оспариваем безусловность самой постановки вопроса, поскольку статистическая физика не выводится из динамической (см. след сноску и п.8.2).

вероятностной эволюции с нарушенной симметрией во времени" [147, с. 129]. Т.е. И. Пригожин ввел в математическое представление образ необратимости — специфически термодинамического элемента физической модели. В математическом слое у И. Пригожина ему отвечает мнимая часть собственного значения оператора.

По сути, И. Пригожин применяет тот же "метод затравочной классической модели"<sup>40</sup>, который был проанализирован в квантовой механике: берется "затравочная модель" из известных разделов "динамической" физики (типичный пример — система взаимодействующих частиц) и для нее составляется гамильтониан, который вместе с функцией распределения посредством определенных процедур переводят в новое по сравнению с "затравочным" математическое представление с новым уровнем движения, приводящим к новому типу поведения. Такова типичная для послемаксвелло-лоренцевой физики схема, которой следует и И. Пригожин. Использование хорошо известной (в том или ином смысле "классической") "затравочной" модели приводит к тому, что "динамическая механика" оказывается встроенной в саму структуру "статистической механики" (как равновесной, так и неравновесной) по процедуре, а не как частный случай (аналогично тому, как классическая механика оказывается встроенной в квантовую). И. Пригожин действительно построил "мост" между динамикой и

<sup>40</sup> Первоначально эта процедура обрабатывалась на примере частного случая, для которого можно сформулировать и динамическое и статистическое описание — системы многих частиц, подчиняющихся динамическим уравнениям движения и описываемых динамическими переменными (траекториями — в классическом и волновыми функциями — в квантовом случаях). Процедура (а не строгий вывод (см. п.8.2)) этого перехода совершается через уравнение Лиувилля  $id\rho/dt = -[\rho, H]$ , которое, с одной стороны, для этих систем может быть выражено на языке обоих представлений, а, с другой стороны, из него получают уравнение движения для  $\rho(t)$ . Напомним, что и в случае квантовой механики первоначальная формулировка "принципа соответствия" Бора — предтечи "метода затравочной классической модели" — возникла в применении к атомным спектрам, допускавшим классический и квантовый подход.

термодинамикой [147], но, с нашей точки зрения, не совсем в том смысле как он говорит<sup>41</sup>.

С нашей точки зрения “мост” состоит в “методе затравочной модели”. Пигожин разработал значительно более общую, чем больцмановская, процедуру построения неравновесной статистической физики<sup>42</sup>. Но созданная им неравновесная физика не позволяет “слить в единое целое динамику, статистическую механику и термодинамику” [147, с. 178]. Более того, он четко указывает границу между динамической и статистической механиками. В классическом случае это — деление на определенные типы устойчивых и неустойчивых систем. И даже, более точно: пригожинская “неравновесная физика” рассматривает лишь, так называемые, Большие системы Пуанкаре (БСП). В квантовом случае — системы с непрерывным неограниченным спектром типа “частицы в поле”. Для систем с дискретным спектром, для которых и на которых и создавалась квантовая механика, нельзя ввести супероператор микроскопической энтропии  $M$ <sup>43</sup>

<sup>41</sup> Но надо учитывать, что у нас и у И.Пригожина, как бы сказал ван Фраассен [257], разные “отношения релевантности, определяющие уместность того или иного ответа на данный вопрос “Почему?” (приводится по [139, с.168-169]). Для нас понять раздел физики означает ответить на вопросы возникающие при заполнении указанных на сх. 3.1 функциональных мест.

<sup>42</sup> Допригожинская неравновесная статистическая физика через призму введенной Боголюбовым последовательности шкал времени возрастающей грубости распадается на кинетику (после усреднения уравнения Лиувилля за время порядка времени столкновения молекул ( $\sim 10^{-12}$  с) все измеримые величины выражаются через одночастичные функции распределения) и “гидродинамику” (усреднение за время  $\sim 10^9$  с, сопоставляемое с временем свободного пробега, превращает неравновесную термодинамику в обобщенную гидродинамику [49] или механику сплошных сред [162]). Допригожинская физическая кинетика в основном рассматривает различные модификации больцмановской модели слабонеидеального газа сталкивающихся молекул (включая квазичастицы в твердом теле, плазме и др.), где необратимость спрятана в так называемом “интеграле столкновений”, который тоже строится посредством метода “затравочной” модели.

<sup>43</sup> Ср.: “Супероператор  $M$  (отличающий статистическую механику от динамической —  $A.L.$ ) не может существовать в двух сле-

[145, с. 274 — 275] и, следовательно, их нельзя рассматривать в рамках пригожинской “неравновесной физики”, несмотря на то, что в математическом “Мат-слое” гильбертово пространство, используемое в квантовой механике, оказывается частным (вырожденным) случаем “оснащенно-го” пространства пригожинской “неравновесной физики”.

Что же касается “квантового парадокса” (так И. Пригожин называет проблему “редукции (коллапса) волновой функции”), проанализированного выше, то никакого утверждаемого им прорыва, как и принципиальной победы эйнштейновской интерпретации квантовой механики нам тут не видится. Из того что в математическом слое (сх.3.1) математический образ пространства состояний в “динамической” физике оказывается частным (вырожденным) случаем математического образа пространства состояний в “неравновесной физике” не следует, что в слое физической модели эйнштейновские ансамбли (так называемая статистическая интерпретация, к которой тяготеет И. Пригожин) получают преимущество по сравнению с копенгагенской интерпретацией. Указанный им переход в математическом слое вполне соответствует описанию модели отдельных частиц в модельном слое. Таким образом, пригожинскую “брюссельскую” интерпретацию квантовой механики можно рассматривать как разновидность “статистической” интерпретации. Вклад же И.Пригожина в решение проблемы измерения состоит в возможности рассмотрения части прибора в рамках созданного им нового раздела — неравновесной статистической физики. Отметим, что, в отличие от необратимости, “квантовый парадокс” рассматривается И.Пригожиным как явление в рамках “объяснительной” деятельности (И-фаза на сх 1.1) и, с нашей точки зрения, здесь ничего принципиально нового не возникает.

Обратимся теперь к синергетической проекции построений И. Пригожина. Здесь центральную роль в рассуждениях И. Пригожина играют резонансы пуанкаре. С одной стороны, они являются причиной того, что “большинство динамических систем неинтегрируемо, и взаимодействия (между составляющими системы. — АЛ.)

---

дующих случаях: 1)  $H$  (гамильтониан — АЛ.) имеет чисто дискретный спектр; 2)  $H$  имеет непрерывный, но ограниченный спектр.” [145, с.274].

не могут быть исключены" [147, с. 14]. Резонансы приводят к "проблеме малых знаменателей" (т.е. к появлению бесконечностей) и вытекающему из теории КАМ (Колмогорова, Арнольда и Мозера) делению траекторий на два типа: "траектории с "нормальным" поведением, знакомым нам по исследованию двухтельного движения планет, и траекториям со случайным поведением" [147, с. 14], а также к положительным показателям Ляпунова, соответствующим потере устойчивости. С другой стороны, путем введения мнимой добавки того или иного знака в резонансном знаменателе (или более общей процедуры комплексизации собственных значений) [147, с.147, 194, 197, 202] в математическом слое И.Пригожин осуществляет центральную для себя процедуру "хронологизации", задающую "стрелу времени" (нарушающую симметрию по времени и обеспечивающую необратимость) и приводящую к неустойчивости, хаотичности, времени релаксации.

Отсюда мы заключаем, что резонансы И.Пригожина отвечают модам-структурам Г.Хакена, а рассматриваемые пригожинской "физикой неравновесных процессов" системы — открытые и диссипативные системы. Т.е. пригожинская "новая наука — физика неравновесных процессов" предстает здесь как один из вариантов синергетики, в котором рассматриваются особые "хаотические" моды-структуры, задаваемые в "Мат-слое" так называемыми "странными" аттракторами (связанными с фрактальными объектами<sup>44</sup>). Странные аттракторы бывают разные, поэтому в этом хаотическом мире тоже имеют место бифуркации и происходит возникновение новых мод-структур. При этом, переструктурированная вокруг новых "первичных идеальных объектов" — резонансов — пригожинская "физика" превращается в раздел синергетики и рассматривает в качестве примеров химические, биологические и др. неравновесные процессы.

<sup>44</sup> Понятие фрактала было введено в научный обиход Бенуа Мандельбротом как "некое образование, самоподобное или самоафинное в том или ином смысле" (любая часть которого имеет одну и ту же структуру-форму. Таким свойством обладают, например, кровеносная система, фьорды и много других природных объектов. — *А.Л.*)... Бенуа Мандельброт предложил изумленному миру, по существу, новую неевклидову геометрию (неевклидову ... в смысле отказа от требования гладкости, неявно подразумеваемого в "Началах"..., создал неевклидову геометрию негладких, шероховатых, зазубренных, изъеденных ходами и отверстиями, шершавых и т.п. объектов... Фрактальная геометрия природы, по Мандельброту, — самая настоящая геометрия, удовлетворяющая определению геометрии, предложенному в "Эрлангенской программе" Ф. Клейна" [163, с.186-188].

Так нам представляется переплетение проблем и предлагаемых решений в работах И.Пригожина. Нам кажется, что приведенные нами различия помогают ориентироваться как в сложных построениях и не всегда адекватных интерпретациях И.Пригожина, так, возможно, и в более широком потоке работ по синергетике, в которых синергетика, математика и физика часто очень сложно переплетены.

В заключение надо сказать хотя бы несколько слов о "синергетике 2" — философской синергетике, поскольку И.Пригожин один из важнейших ее представителей. Мне представляется, что, с одной стороны, философия И.Пригожина (так же как и у менее склонного к этому Г.Хакена [189]) тяготеет к физикализму, который мы разбирали на примере Лапласа, фон Неймана и Шредингера. Многое в ней похоже на очередную утопическую попытку естествоведов естественнонаучными средствами описать *все*, включая человека. С другой, И.Пригожин, как в свое время Н.Бор, своим авторитетом одного из отцов синергетики (слово, которое он сам никогда не применяет) и нобелевского лауреата породил целое направление философствования, имеющее много общих черт и даже содержательных моментов с философским потоком в квантовой механике. Это направление пока не дало существенных результатов, но очень на них надеется. У нас в стране это направление представлено довольно заметно.

Кроме того в отечественном науковедении синергетику ассоциируют с вступлением естественной науки в постнеклассический период [169, с. 182, 112], который характеризуется размыванием сложившихся в XIX в. предметных границ, междисциплинарностью [4] (при этом ссылаются на то, что само рождение синергетики происходит на пересечении химии, биологии и физики (неравновесной термодинамики)) и эволюционизмом, вниманием к нелинейным процессам и холистской (т.е. исходящей из целого, в противоположность элементаристской, исходящей из элементов) установке. Синергетика действительно приносит с собой новый тип моделей, которые оказываются полезными в совершенно разных областях, в том числе в биологии и социологии.

Этой своей стороной синергетика смыкается с пафосом системного подхода, который формировался в сер. XX в.

Как антитеза элементаризму и механицизму (более широко — физикализму). В основе системного подхода<sup>45</sup> лежит концепция целостности, настаивающая на несводимости сложного к простому, целого к частям, на наличии у целостного объекта таких свойств, которые никак не могут быть присущи его частям<sup>46</sup>. Принцип целостности стал особенно популярным на рубеже XIX—XX вв., когда он породил целое направление органицизма.

Очень показательной в указанных отношениях является работа С. П. Капицы, С. П. Курдюмова, Г. Г. Малинецкого по народонаселению Земли [66]. В ней показывается, что одна глобальная характеристика — население всей Земли — проявляет поразительную устойчивость. На протяжении почти двух миллионов лет население Земли развивается по синергетическому закону, отвечающему так называемому “режиму с обострением”, в котором множество процессов с разными характерными временами в результате согласованности между собой (режим коэволюции) приводят к развитию некоторого характеризующего систему в целом параметра. Закон изменения последнего описывается выражением  $\text{Const}/(T_0 - t)$ , который стремится к бесконечности за конечное время  $T_0$ . В основании этой модели — множество небольших сообществ (порядка 50 тыс. человек), находящихся в взаимодействии друг с другом (). Если верить результатам этой работы, то получается, что глобальные социально-политические изменения на планете, возможно, определяются не столько действиями конкретных политиков и т.п. (элементаристская модель), сколько наоборот, действия конкретных политиков и т.п. отражают какие-то еще не осознанные современными науками глобальные процессы, будущее (судьбу) определяет некая нелинейная среда?!

---

<sup>45</sup> Родственного структурно-функциональному подходу в социологии, структурализму в лингвистике и этнографии 1950-60 гг., органицизму в биологии, гештальт-психологии и др.

<sup>46</sup> “Даже кибернетика... может... рассматриваться как расширение прежней версии элементаризма: к таким “атомам” мироздания как вещество и энергия, она добавила информацию” [15, с.16].

Попробуем теперь применить наш “модельный подход” к анализу основных понятий химии.

Утверждение — “ХИМИЯ — НАУКА ЭМПИРИЧЕСКАЯ!” и связанный с ним идущий от Ф.Бэкона “стандартный эмпирический взгляд” на ход развития науки: “эмпирические факты — эмпирические законы — теоретические законы”, укоренен у химиков еще сильнее, чем у физиков. В основной для себя деятельности — синтезе новых веществ — химики руководствуются, в основном, различными эмпирическими законами и собственной интуицией. Естественно при этом, что попытки ответить на вопрос “Что такое химия?” идут по пути перечисления ее предметов изучения и методов, т.е. к перечислению того, чем занимаются химики.

Естественно, что возникают трудности и с определением основных понятий. “Дать строгие определения химических понятий невозможно, но можно и нужно постараться их выстроить, соотнести и придать им ясность. Сделать это тоже трудно, потому, что, во-первых, разные химики по-разному это себе представляют, а во-вторых, потому, что химия быстро меняется (каждые 10—15 лет меняется ее парадигма),” — говорит профессор П.М.Зоркий (из устной беседы). Но в попытке решить эту проблему он идет по пути построения ЯВНЫХ определений КАЖДОГО понятия с последовательным внесением поправок-уточнений старых понятий при введении новых (своеобразный метод последовательных приближений) [60].

Мы же, как и в случае физики:

1) исходим из ведущей роли теоретических моделей (т.е. пытаемся определить химию не через предмет и эмпирический материал, а через тип используемых теоретических моделей);

2) предполагаем, что и здесь придется прибегнуть к совместному и *нелвному* типу определения целой группы первичных понятий.

Но при этом нам пришлось отдельно рассматривать химию XIX в. и химию XX в.

## 9.1. Химия Лавуазье и Дальтона

Для химии XIX в., химии Лавуазье и Дальтона такая группа понятий нам представляется следующим образом.

Первая тройка состоит из понятий химических *атомов*, химических *связей* и химических *соединений* (на место последнего хотелось бы поставить более общее понятие “ансамбля химических атомов” — АХА, но следуя устоявшейся в химии традиции мы будем, где возможно, обходиться понятием химического соединения). Химические соединения представляют собой ансамбли определенным образом связанных между собой атомов<sup>1</sup> (простейший пример — химическая молекула, более сложные случаи см. в [60]). Самым сложным среди этой тройки является понятие химической связи, которое, с одной стороны, характеризуется типами атомов, которые связывает, с другой, не только этим. Существует удобная, но грубая классификация, согласно которой связи могут различаться друг от друга качественно (ковалентные (большинство), ионные, металлические и к ним добавляют ван-дер-ваальсовы) и количественно (валентность и др.). В отличие от атомов, число сортов которых достаточно быстро устоялось (в химических соединениях присутствует не более 80 разных сортов атомов), множество химических связей чрезвычайно велико и продолжает расти.

“В начале XIX века в химии сформировались представления, согласно которым во всякой совокупности близко расположенных (контактирующих) атомов есть химически связанные атомы. Иными словами, имеются пары атомов, между которыми существуют химические связи. ... (Но) Какие атомы считать связанными, а какие — нет, и что из этого следует?... Впервые достаточно полная концепция, отвечающая на ...(этот) вопрос, появилась в 50-х — 60-х годах прошлого столетия в виде “классической теории химического строения” органических молекул; ее создателями были Ф. А. Кекуле (1857), А. С. Купер (1858), А. М. Бутлеров (1861). Для неорганических, в частности, координационных соединений аналогичный подход был развит в работах А. Вернера (1893). Эта самая старшая по возрасту и вместе с тем и до сих пор самая важная для химии модель структуры базируется

<sup>1</sup> Данное в [60] определение понятия “химического соединения”, как нам представляется, тяготеет к образу локальной группы атомов типа молекулы и ее обобщений, хотя в нем существуют и высказывания, противоречащие такому пониманию его определения.

ся на колоссальном фундаменте опытных данных, на постоянно пополняемых и корректируемых эмпирических представлениях. ... в большинстве случаев она устраивает химиков и даже тогда, когда эти представления явно отказывают, классическая теория химического строения служит хорошим "нулевым приближением", на фоне которого легче создавать более совершенные схемы... Сказанное побуждает с глубоким уважением и доверием относиться к картине химических связей, трактуемых на основе классической теории химического строения, — это главное богатство химии. Конечно же, классическая теория должна постоянно корректироваться; временами приходится оговаривать существование отдельных химических объектов и даже целых классов веществ и процессов, для которых классические представления неприменимы или недостаточны" [60, §4].

К этим трем понятиям добавим понятие "*химического вещества*". Химические вещества, с одной стороны, есть множество одинаковых фрагментов, которые мы назвали "химическим соединением", а с другой стороны, оно характеризуется определенным набором свойств (т.е. мы имеем для химического вещества что-то аналогичное "генотипу" и "фенотипу" в биологии)<sup>2</sup>.

Именно через "химические вещества" происходит в интересующий нас период связь модельного и эмпирического слоев в химии. В определение понятия "химического вещества" входит возможность его реализации в виде "эмпирического вещества". Эмпирической материализацией "химических веществ" являются эмпирические вещества в виде жидкостей, газов или твердых тел<sup>3</sup>, обладающих определенными свойствами, отличающими их друг от друга<sup>4</sup>. Их приготовление и "измерение" (т.е. отождествление эмпирического вещества с определенным "химическим веществ-

---

<sup>2</sup> Отметим, что могут быть и специфические случаи, когда понятия вещество и соединение совпадают (например, при превращениях макромолекул). Принципиальных трудностей здесь нет. Достаточно для этого случая, скажем, ввести более общее понятие "ансамбля химических атомов".

<sup>3</sup> "Имеется три различия в видах тел (bodies) или три состояния, которые будут специально привлекать внимание философствующих химиков; а именно те, которые обозначаются терминами газы (elastic fluids), жидкости и твердые тела" [220, p.112].

<sup>4</sup> "Вещество - гомогенный материал, имеющий определенный химический состав", в отличие от раствора, который имеет "неопределенный химический состав". "Свойства веществ — это их характеристические качества. Физические свойства —

вом”) — прерогатива “*аналитической химии*”, которая, согласно одному из современных определений, является “научной дисциплиной, разрабатывающей и применяющей методы, инструменты и стратегии получения информации о составе (composition) и природе (nature) вещества в пространстве и времени” [226].

“Аналитическая химия — наука об определении химического состава и, в некоторой степени, химического строения соединений. Алхимики 14-16 вв. впервые применили взвешивание и выполнили огромный объем экспериментальных работ по изучению свойств веществ, положив наалю химическому методу анализа. В 16-17 вв. появились новые химические способы обнаружения веществ, основанные на реакциях в растворе... Родоначальником научной аналитической химии считают Р.Бойля, который ввел понятие “химического анализа”.... До первой половины 19 в. аналитическая химия была основным разделом химии”, — пишет в статье “Аналитическая химия” Ю.А.Золотов [192].

Химические вещества — это гомогенные или гетерогенные (коллоиды и др.) вещества в различных фазах, отличающиеся друг от друга разнообразными химическими (способностью превращаться друг в друга) и нехимическими свойствами. Исходными являются последние, спектр которых весьма широк, от неопределенных, опирающихся на человеческие чувства вкуса и запаха (характерные для периода становления химии), до очень четко и точно количественно измеряемых физических свойств (превалирующих сегодня). Список свойств открыт и постоянно увеличивается. Эти свойства, так же как и характеристики типа “гомогенные (и гетерогенные) жидкости, газы и твердые тела”, относятся к эмпирическому слою и задаются операционально. Они, в основном, внешне заданы по отношению к теоретической части химии. Но добавка “химически чистые” связывает их со всем обсуждаемым комплексом первичных химических понятий.

Химия стремится к установлению однозначного соответствия между набором свойств химического вещества и системой химических атомов и связей, определяющих хими-

---

это такие свойства вещества, которые могут наблюдаться, не превращая данное вещество в какое-либо другое. Химические свойства вещества — это такие свойства вещества, которые характеризуют способность данного вещества участвовать в химических реакциях. Химические реакции - это превращение

ческое соединение (отражаемых многомерными диаграммами: состав — структура — свойства)<sup>5</sup>.

Определение “химического атома” вводится с помощью взаимопределяемых понятий “простого” и “составного” вещества<sup>6</sup>. Выделяется множество “простых веществ (тел — body)”, которые а) не разлагаются на другие вещества, б) на которые разлагаются все прочие вещества.

“Вещества (химические — *АЛ.*) подразделяют на элементарные (простые) вещества и соединения. Вещество, которое можно разложить на два или несколько других веществ, называют соединением. Вещество, которое нельзя разложить, называют элементарным веществом (элементом)”, — пишет в современном учебнике химии дважды нобелевский лауреат Л.Полинг [142, с.17].

“Определение “элемента” или “простого тела” дал еще Р.Бойль в 1661 г. Хотя он не назвал ни одного примера реального элемента в новом понимании, его определение было постепенно признано многими химиками XVIII в. Во второй половине XVIII в. суть этого понятия вполне адекватно изложено Макером: “Я положил, что будто бы все тела разрушены и приведены к самым простейшим их началам, дабы, узнав главные свойства сих первых начал можно было по ним исследовать различные их соединения и иметь некоторое главное познание о свойствах сложных тел которые из соединения оных происходят”. В 1787 г.

<sup>5</sup> Тем не менее однозначная связь между соединением и веществом, зависящая к тому же от тонкостей определения этих не до конца отработанных понятий, устанавливается не всегда. Так в [60] приводятся следующие примеры такой неоднозначности: “Две модификации  $ZnS$  — сфалерит и вюртцит — представляют собой одно химическое соединение (сульфид цинка), поскольку имеют одинаковый элементный состав, и координация атомов  $Zn$  и  $S$  (тетраэдр) в обоих минералах одинакова. Вместе с тем, это разные вещества, так как они имеют различную кристаллическую структуру (сфалерит относится к кубической сингонии вюртцит — к гексагональной). Лед и жидкая вода — это также разные вещества, образованные одним и тем же химическим соединением”. Эту неоднозначность, по-видимому можно устранить за счет введения в рассмотрение связей не только близлежащих атомов, как это делается в приводимом в [60] определении понятия “химическое соединение”, но и более далеких, заменяя понятие “химическое соединение” более общим понятием “ансамбля химических атомов”.

<sup>6</sup> Очень близко понятию “простого вещества” понятие “элемента”, но последнее отягощено представлением о всей совокупности атомов данного сорта, в которую может входить несколько разных простых веществ (например, графит и алмаз).

Лавуазье высказал следующее определение понятия “простое тело”. По его мнению, следует называть “простыми [телами] все тела, которые мы не можем разложить, которые мы получаем в последнем итоге путем химического анализа. Несомненно, наступит день, когда эти вещества, являющиеся для нас простыми, будут в свою очередь разложены.... Но наше воображение не должно опережать фактов” [181, т. I, с. 361-362]. Дальтон приводит ряд конкретных правил для выявления простых и составных тел [220, р. 167; 181, т. II, с. 45]:

“Следующие главные правила могут быть приняты в качестве руководства во всех наших исследованиях, относящихся к химическому синтезу:

1. Если возможно получить только одно соединение (combination) из двух веществ (bodies), можно предположить, что оно будет двойным, если отсутствуют какие-либо данные свидетельствующие о противном.

2. Если наблюдалось 2 соединения, следует предполагать, что они двойные и тройные

3. Если наблюдалось 3 соединения, то можно ожидать, что одно из них двойное, а два других — тройные”.

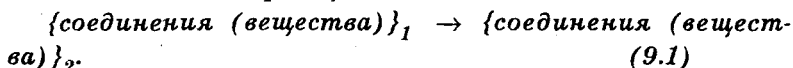
Через понятия простого и составного вещества вводятся понятия “химического атома” как минимальной порции простого вещества и химической молекулы (“составного атома” Дальтона) как минимальной порции “составного” вещества (подобно тому, как позже была введена минимальная порция электричества). Существенно, что атомы бывают разных сортов (относятся к разным элементам<sup>7</sup>). Следует иметь в виду, что атомы одного сорта могут давать разные соединения за счет разного набора связей (типичный пример: алмаз и графит). Одно и то же соединение может лежать в основе разных веществ [60].

Дальтон — отец химического атомизма — исходил из модели “физического атомизма”, он начинал с исследования газовых смесей. Он утверждал, что “элементарные частицы (ultimate particles) всех однородных тел (bodies) абсолютно подобны по весу, форме и т.д. Другими словами, любая частица воды подобна другой частице воды, любая частица водорода подобна другой частице водорода и т.д.” [220, р.113]. Кроме того, он конструирует модели составных атомов (молекул) из простых атомов, которые обозна-

<sup>7</sup> “Атом данного сорта” и “атом данного элемента” — синонимы. Но мы будем предпочитать первое выражение, дабы не вводить понятие элемента, которое имеет разные значения и оттенки.

чает не современными химическими знаками, а кружочками ("1 атом сорта А + 1 атом сорта В = 1 атом сорта С, бинарного; 1 атом сорта А + 2 атома сорта В = 1 атом сорта D, тернарного, ..." [220, р.163—164]). Так выглядит его теоретическая модель. Но он описывает и конкретные эмпирические процедуры для воплощения этой онтологической модели в эмпирический материал, показывающие как химическими средствами распознавать простые и составные "химические тела" [220, р.167].

Следующим необходимым элементом исходной системы понятий является понятие *химического превращения* одних химических соединений (и веществ) в другие — понятие *химической реакции*:

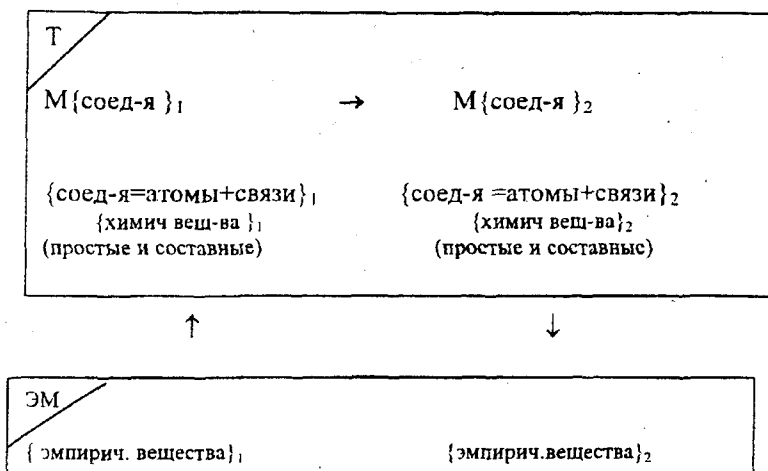


"Если определить химическую реакцию как процесс, в результате которого одно химическое соединение превращается в другое (или некоторая совокупность соединений переходит в другую совокупность), то к числу важнейших систем базисных химических индивидов целесообразно причислить многообразие химических реакций" [60, §6].

Структура (9.1) в химии играет роль подобную структуре  $\{S_A(t_1) \rightarrow S_A(t_2)\}$  в физике. Можно для химии ввести и аналог схемы 3.1 в физике. Кроме уже введенных понятий, на схеме 9.1 горизонтальной стрелкой (как и в (1)) обозначено превращение химических веществ (химическая реакция) и введен слой "математических образов соединений" —  $M\{\text{соед-я}\}$ , под которыми имеются в виду соответствующие химические символы и правила оперирования с ними (имеющие свою длительную историю).

Элементы эмпирического слоя  $\{\text{эмпирич. вещества}\}_1$  и  $\{\text{эмпирич. вещества}\}_2$  на схеме 9.1 являются аналогами "приготовительной" и "измерительной" частей эмпирической части на схеме 3.1. Приготовление правой и измерение левой "вертикалей" схемы 9.1 — дело аналитической химии.

И, наконец, для того, чтобы получить замкнутую систему взаимосвязанных и совместно определяемых неявным образом основных понятий требуется ввести еще понятие "*базового множества химических веществ и их превращений*", с помощью которого определяются все исходные



Сх. 9.1. Ядерная структура химии

атомы и связи (поскольку открыт набор связей, постольку исторически открыто и это “базовое множество”).

В результате образуется следующая замкнутая система совместно определяемых исходных химических понятий: “химические атомы” разных сортов, “химические связи”, “химических соединения”, “химические вещества”, “эмпирические вещества”, “простое” и “составное” вещества, “химическое превращение” (реакция), “базовое множество химических веществ и их превращений”<sup>8</sup>.

Затем, используя эти атомы и связи (отвечает И-фазе на сх.2.1) создается расширяющееся множество химических соединений (или АХА) и соответствующее расширяющееся множество химических веществ. Как мы уже говорили выше, это создание идет полуэмпирическим путем, но опи-

<sup>8</sup> Необходимо иметь в виду, что хотя мы пытаемся сохранить основные понятия введенные в [60], наши определения понятий “химического соединения” и “химического вещества” не совсем совпадают с соответствующими понятиями в [60]. Это связано с другим способом их введения, о чем мы сказали

сывается с помощью химических атомов и связей, играющих роль ПИО химии.

Имея исходный набор химических атомов и связей можно строить разнообразные химические соединения, можно рассматривать “четыре аспекта моделирования структуры: топология в статике, топология в динамике, геометрия в статике и геометрия в динамике”, можно изучать “не только химические реакции, но и функциональные зависимости вида  $p = p(X)$ , где  $X$  — химическое вещество, а  $p$  — какое-либо свойство. Это может быть и такое “химическое” свойство, как реакционная способность, и такое физическое свойство, как температура плавления или электропроводность...”. При этом “функциональные зависимости вида  $p = p(X)$ ” или “свойства как функция природного вещества” П.М.Зоркий вообще кладет в основу определения химии как науки, как научного предмета [60]. Такой взгляд естественен, если исходить из эмпиристской философии, для которой, по сути, существует только “фаза использования”.

Различные разделы химии отвечают разным содержательным наполнениям указанных на сх. 9.1 функциональных мест.

Во-первых, разделы химии различаются типом рассматриваемых в них соединений (или их обобщений — АХА): неорганическая и органическая химия, супрамолекулярная химия [55], кристаллохимия, .... При этом в разных разделах могут вводиться свои многоатомные исходные единицы (например,  $\text{CH}_3$ , аминокислоты, белки,...). Число типов соединений постоянно растет, для некоторых из них трудно или бессмысленно говорить о молекулах.

Во-вторых, разделы химии различаются моделью превращения (горизонтальная стрелка на сх. 9.1). Так в химической кинетике и термодинамике модель превращения усложняется — вводится понятие *скорости химического превращения (реакции)* и ее обратимости, которые зависят от соответствующих внешних условий (температуры, давления, агрегатного состояния, наличия катализаторов и т.д.). На этом пути возникает коллоидная химия и т.п. Но в основе все равно остается структура (1).

---

выше. В частности, мы, по сути, выбрасываем из определения “химического соединения” в [60] п.1 (“система содержит большое число атомов (!) ограниченного числа ”сортов””), но, как нам кажется, он не согласуется с пп.2 и 3 того же определения и в логике [60].

Теперь несколько слов о связи химии и физики (о физической химии) в XIX в.

Стандартный университетский "Курс физической химии" [91] включает такие разделы как химическую термодинамику, поверхностные явления, кинетику химических реакций, электрохимию, коллоидную химию.

Химическая термодинамика возникает в результате рассмотрения химического вещества в качестве термодинамической системы и включения химической энергии в закон сохранения энергии.

Аналогичным образом — через включение химического вещества или составляющих его соединений и атомов на основе термодинамических или атомно-молекулярных физических моделей в качестве физической системы того или иного раздела физики получаются и другие разделы физической химии.

В [235] приводится интересное сравнение между физикой и химией, дающее эмпиристско-деятельностное оправдание эмпиристскому взгляду на химию. "Чтобы описать разницу в одной фразе, — пишет Г.Копылов, — физики сформировали свой мир изнутри, из базовых онтологий, а мир химии рос как бы от внешнего к центру, в попытках включить доступное практическое знание в инженерный мир<sup>9</sup>". К этому он добавляет в качестве отличий от физики: больший удельный вес практических знаний в химии, независимость роста в ней практических знаний от базовой онтологии, необходимость доказывать статус науки. Представленная Г.Копыловым картина, возможно, адекватно описывает историю развития химии и ее восприятия химиками, но это не отменяет предложенной выше картины, описывающей произошедшую в 19 в. логическую революцию в химии.

## 9.2. Химия XX в.

В XX в. парадигма химии существенно изменилась. В основе современных химических представлений лежат представления квантовой химии, возникшей сразу вслед за формированием современной квантовой механики в конце 1920-х. Она возникает в результате *совмещения* "физических" и "химических" атомов (и молекул). В результате этого все исходные представления химии, введенные выше начинают переопределяться явным образом через физические модели. В первую очередь это касается атома. Химический атом замещается физико-химическим атомом, точ-

---

<sup>9</sup> "Инженерный мир" — центральное понятие цитируемой статьи, которое в нулевом приближении можно воспринимать как "мир техники" статьи [83].

нее многоэлектронным атомом квантовой механики, рассматриваемым в контексте структуры химического соединения или превращения. Соответственно физические модели кладутся в основание явного определения химических связей (см. [142]).

Процесс этого совмещения, воспринимаемый сегодня и физиками и химиками как очевидный и не требующий обсуждения, не так прост.

“Физическая” и “химическая” атомистика происходят из близких источников: из наложения атомистической натурфилософии на физические и химические исследования разреженных газов. Этими двумя областями и занимался на рубеже XVIII и XIX вв. отец химической атомистики Дальтон<sup>10</sup>. И, как утверждается в [181, II, с. 15]: “Во второй половине XVIII в. основные идеи корпускулярных теорий считались среди ученых естествоиспытателей само собой разумеющимися” и в начале XIX в. они стали главенствующими в химии. В физике же дело обстояло сложнее. Как было сказано выше, в связи с успехами модели теплорода в сер. XIX в., здесь произошел “откат” от этих представлений и атомно-молекулярные представления пробивали себе дорогу в статистической физике с большим трудом вплоть до начала XX в. Но к 1920-м и далее утверждение Н.А.Фигуровского опять вполне приложимо. В квантовой химии, как и во времена Дальтона, атомная (молекулярная) химия и физика пересеклись (атом квантовой механики происходит из атома молекулярной статистической физики Больцмана). В результате образовался новый “первичный идеальный объект” (ПИО) — физико-химический атом, который обладает свойствами атома в квантовой механике, но, кроме того, включен в химическое соединение (АХА) в химии. Последнее обуславливает то, что химия не сводится к физике.

Первым триумфом физической квантовой химии, стал вывод периодической таблицы Д.Менделеева из квантово-механической теории атома. Следующим достижением стала физическая электронная модель межмолекулярного взаимодействия и теория элементарных физико-химических связей, а также физическая классификация типов химической связи (ковалентная связь, ее донорно-акцепторный механизм, ее свойства; ионная связь; полярные и неполярные молекулы; металлическая связь; водородная

<sup>10</sup> Важными шагами на этом пути была формулировка трех важнейших законов: 1. Закон постоянства состава (Пруст, 1799): .

связь, многоатомная физико-химической связи и др. [60]), начавшаяся еще до квантовой механики.

Параллельно шло формирование и развитие *физической* аналитической химии (спектроскопия, рентгеноанализ и т.п.) — т.е. нового типа эталонов и измерительных процедур для определения химических соединений (АХА) и их компонентов. Можно сказать, что появилась “физико-химическая аналитическая химия” XX в., сменившая химическую аналитическую химию XIX в.

В результате, во-первых, отпала необходимость в “базовом множестве эмпирических веществ и их превращений”, поскольку теперь главные ПИО химии — химические атомы и связи — определяются явным образом с помощью физических понятий. С их помощью явным образом определяется понятие химического соединения (см. [60]).

Вопросы “что такое атом?” химиков больше не волнует. Сегодня атом в химии, по сути, является явно определенным, более того спектроскопические и рентгенографические методы, разработанные для физических атомов и молекул, стали основными для определения состава химических веществ, вытеснив чисто химические. “Что такое химическая связь?” — более животрепещущий вопрос, но со стороны создания теоретической (по сути физической) модели различных связей (число которых постоянно увеличивается. [60]) или эмпирических и полуэмпирических законов, помогающих ориентироваться в невероятном множестве химических превращений.

Но сама структура и основные понятия, изображенные на сх.9.1 по-прежнему задают контекст и специфику химии. Физика здесь не заменяет химию, а встраивается в нее. Этот тип симбиоза отличается от описанного выше случая физической химии XIX в. тем, что он касается оп-

состав чистого вещества не зависит от способа получения этого вещества. 2. Закон простых кратных отношений (Дальтон, 1804): если два элемента образуют друг с другом несколько соединений, то на одну и ту же массу одного из них приходится такие же массы другого, которые относятся между собой как небольшие целые числа. 3. Закон простых объемных отношений (Гей-Люссак, 1805): для реагирующих газов объемы газообразных продуктов относятся друг к другу как небольшие целые числа

ределения исходных понятий химии, а не добавок к изображенной на сх.9.1 структуре.

Так выглядит химия в рамках “галилеевской” модели естественной науки. Соответственно, ответ на сакраментальный вопрос: “Что такое химия?” строится на базе описанной выше модели: *химия* — это наука, базовой моделью которой является модель химической реакции как взаимопревращения химических соединений (ансамблей атомов) друг в друга.

Мы здесь обозначили свой взгляд на химию, некую основную схему, в которой указано как в химии выглядят ПИО и ЯРН. Для конкретного содержательного наполнения этой схемы необходимо проанализировать под этим углом зрения конкретные разделы химии, описанные в [60] и др.

Указанная выше структура имеет философский смысл, она помогает нехимику понять, чем занимаются химики, может быть полезна для неопита, пытающегося обозреть свой предмет. Но, в отличие от физики, в химии сегодня, по-видимому, нет серьезных проблем, связанных с осознанием своих оснований.

С биологией — третьей из основных классических естественных наук дело обстоит много сложнее, чем с физикой, химией (и синергетикой). Но обсуждение этого вопроса требует учета принципиального разделения биологии на две части.

Первую из них, которой занимается ныне абсолютное большинство биологов, сегодня можно обозначить как молекулярную биологию и генетику — бурно развившейся в 1950-70 гг. области биологии, давшей открытие структуры ДНК и механизмов наследственности и биосинтеза белков, рождение геной инженерии. Эту область можно, по-видимому, рассматривать как дальнейшее усложнение химии, где место химической реакции как взаимопревращения ансамблей атомов друг в друга — занимает редупликация макромолекул или даже надмолекулярных комплексов (“биологических машин”, включающих много макромолекул). При этом, с одной стороны, происходит дальнейшее усложнение типа ансамблей атомов — вводится так называемая “вторичная структура”, учитывающая форму биологических макромолекул в трехмерном пространстве. С другой стороны, в качестве основных исходных единиц (ПИО) здесь выступают ферментативные (каталитические) реакции (т.е. процессы) — редупликация макромолекул представляется как очень сложный комплекс ферментативных реакций. Биомолекулярная химия 1990-х — это нелинейная динамика “биохимических фабрик” клетки.

Эту часть биологии мы назовем “*механицистской*”, поскольку в перечисленных разделах биологии ответ на вопрос “что такое биология?” сводится к перечислению соответствующих механизмов, а доминирующим образом является образ “фабрики” (хотя молекулярные биологи постоянно подчеркивают, необходимость учета организменной целостности [205; 125], этот “учет” пока происходит на уровне искусства и интуиции, а не научных понятий). Здесь в качестве базовых берут те или иные, и описанный выше подход вполне применим модели физики, химии, си-

нергетики, которые мы рассмотрели выше. Несмотря на чрезвычайную сложность этой области, ее наверняка можно рассматривать с помощью “галилеевской” модели науки, как и ряд других разделов современной молекулярной биологии, таких как мембранная биофизика; холистская<sup>1</sup> биомолекулярная физика когерентных состояний электромагнитного поля [219] (использующая модели квантовой нелинейной оптики).

Значительно сложнее и непонятнее обстоит дело с другой частью биологии, которую мы назовем “органицистской” (организменной), ибо центральным образом (понятием) здесь является организм<sup>2</sup> [69]. Сюда мы относим: морфологию и физиологию организмов, теорию надорганизменных образований (популяций, биоценозов, биосферы), систематику видов, эволюцию популяций, зачатки теории форм и разнообразия (Льбищева, Мейена, Чайковского) [195], проблемы биоразнообразия и устойчивости экосистемы, проблемы сущности жизни и ее происхождения. В этой области имеется масса фундаментальных проблем, по которым имеются противоположные мнения и даже принципы подхода к ним еще неясны<sup>3</sup>.

Здесь проблема введения системы основных понятий и базовых моделей не только не решена, но и не очень осознана. Об этом говорит то, что биологи “через запятую”

- 1 Элементаризм исходит из того, что свойства системы полностью определяются свойствами ее элементов. Противопоставляемую ему холизм утверждает, что свойства элементов определяются свойствами целого, или, в более мягкой форме, что у целого (системы) есть свойства, которые не выводятся из свойств его элементов.
- 2 Отметим, что античность и Возрождение смотрели на окружающий мир сквозь призму образа организма (на все как на организм). В Новое время центральным образом становится машина (в первую очередь механическая), механизм.
- 3 На этом фоне понятно возрастание интереса многих биологов к периферийным нетрадиционным подходам к этим вопросам со стороны натурфилософии форм в виде различных вариантов морфогенетического поля по Дришуи Гурвичу, занимавшихся проблемой отношения части и целого в онтогенезе, к формальной причинности Шелдрейка [249], претендующего на решение проблемы морфогенеза и другие нерешенные проблемы биологии.

произносят ключевые для них понятия организм, популяция, орган, функция и т.д., а когда в XX в. был поднят вопрос “Существует ли теоретическая биология и что это такое?”, то биологи в качестве образца оглядывались на теоретическую физику (см: [10; 125]).

Очень ярко это проявляется в высказывании биолога Н.В. Тимофеева-Ресовского: “Теоретической биологии не было до самого последнего времени, потому что нет общих естественно-исторических биологических принципов, сравнимых с теми, которые, начиная с XVIII в., существовали в физике. Сейчас можно говорить только о двух общих принципах в биологии: ... Первый — принцип естественно-го отбора.... Второй (менее известен) — конвариантная репликация...” [174, с. 64].

Здесь эмпирическая бэконовская парадигма господствует в еще большей степени, чем в отношении физики. О какой-либо системе понятий (ЯРН), в рамках которой неявно, но строго задавались бы основные понятия (ПИО) нельзя говорить даже в “биологическом структурализме” [69]. До этого еще очень далеко.

Современную ситуацию в теоретической биологии один из ее видных представителей констатировал так: “Выход биологии из ее нынешней теоретической стагнации, маскируемой активным движением по замкнутым траекториям, возможен лишь путем критического пересмотра философских оснований и теоретических постулатов биологии” [119].

А пока в этой “органицистской” биологии очень трудно сделать то, что было сделано выше для других разделов естественной науки, т.е. указать систему взаимосвязанных основных понятий<sup>4</sup>.

В этой “органицистской” биологии не годятся типы сборки сложных систем из простых, которые были рас-

<sup>4</sup> Анализируя, высказывания биологов можно обратить внимание на некоторые связи понятий типа: организм — среда [66] (и связанные с ними процессы обмена веществом, энергией, информацией и свойство открытости системы); орган — функция как важнейшая форма целесообразной активности (онтогенез, поисковая активность). Сюда можно добавить связь “цель-механизм” между различными уровнями: 1) адаптация через динамическое разнообразие на уровне биосферы и биоце-

смотрены выше (в моделях, исходящих из моделей частиц, или непрерывной среды). Поэтому заслуживают серьезного внимания параллели, проводимые некоторыми биологами, с лингвистикой, которая, по-видимому, дает совсем другой тип сборки сложных систем, чем физика и химия. Возможно, что так же как физика является базовой наукой для “элементаристской” части естественных наук, включая основную часть современной биологии, лингвистика может оказаться базовой наукой для “неэлементаристской” (“хोलистской”) части естественных наук.

---

ноза (механизм ее реализации — динамическая адаптация популяции путем ее количественного и качественного изменения (эволюция вида); 2)цикл смерти-рождения особей как механизм осуществления динамической адаптации популяции; 3)продолжение рода (эффективное размножение) — цель динамической адаптации биологической особи-организма, которая осуществляется путем взаимодействия со средой через органы (физиология), обновление клеток и поведение).

### 11.1. Философия науки Нового времени

Если очень кратко и схематично изобразить основные позиции в философии науки Нового времени, делая упор на спор рационализма и эмпиризма и конструктивизма и реализма, то получится следующая картина

В XVII в. мы находим четыре истока науки и философии науки Нового времени, восходящие, соответственно к Фр. Бэкону (основателю эмпиризма), Г. Галилею (основателю современной естественной науки — утверждаем мы), Р. Декарту (основателю рационализма<sup>1</sup>) и оппоненту последнего — эмпирику Дж. Локку (Сх.11.1). О первых двух — “физических” — мы уже сказали (п. 2.1). Два последние истока — метафизические, т.е. чисто философские в классическом понимании.

Для *рационалиста Декарта* образцом науки была математика и, отдавая приоритет *разуму*, он называл в качестве источника знания постигаемые посредством интуиции “*врожденные идеи*”, из которых посредством *дедукции* выводились многочисленные следствия, составлявшие научное знание. *Эмпирик Локк* ориентировался на эмпирические науки и “врожденным идеям” Декарта противопоставлял метафору сознания как “чистого листа” (“*tabula rasa*”). В качестве источника знания он называл *опыт*, из которого посредством бэконовской *эмпирической индукции*<sup>2</sup> получают научное знание.

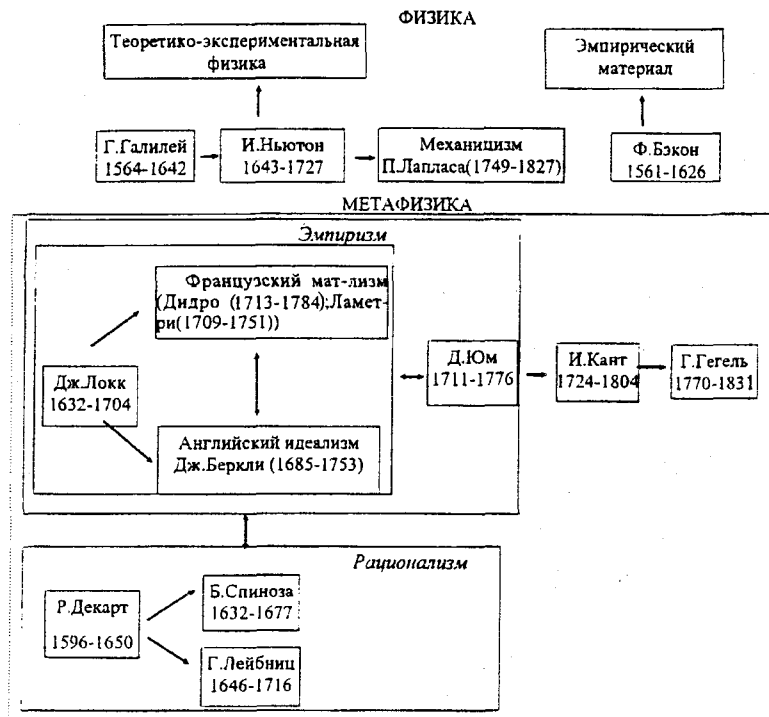
Рационалистическая метафизика доминировала в философии математики, а эмпирическая (после Локка) — абсолютно доминировала в философии естественных наук (в

<sup>1</sup> Здесь понятие “рационализм” употребляется в узком смысле. Рационализм в широком смысле (как он используется К. Поппером и И.Лакатосом) противостоит иррационализму и включает оба рассматриваемых течения.

<sup>2</sup> Дедукция — логический метод вывода от общего к частному, индукция — наоборот, от частного к общему.

XVIII в. она распалась на французскую реалистическо-материалистическую (французские материалисты Ламетри, Дидро и др.) и английскую идеалистическую (Беркли)<sup>3</sup>.

Поворотной точкой в метафизическом эмпиризме становится критика *Юмом* метода эмпирической индукции для



Сх. 11.1. Философия науки Нового времени (однонаправленная стрелка обозначает следование, а двунаправленная — противостояние)

<sup>3</sup> Только с момента вызревания этого спора, т.е. с конца XVII в. имеет смысл говорить о противостоянии материализма и идеализма как "основного вопроса философии". До этого споры шли вокруг других вопросов.

обоснования причинной связи и вообще всеобщих универсальных высказываний, каковыми являются формулированные уже в XVIII в. законы физики. В устах К. Поппера суть этой критики звучит так: “Согласно широко распространенному взгляду... для эмпирических наук характерно использование так называемых ”индуктивных методов“... Вывод обычно называется “индуктивным”, если он направлен от сингулярных высказываний (иногда называемых также “частными высказываниями”) типа отчетов о результатах наблюдений или экспериментов к универсальным высказываниям типа гипотез или теорий. (Но) с логической точки зрения далеко не очевидна оправданность наших действий по выведению универсальных высказываний из сингулярных, независимо от числа последних, поскольку любое заключение, выведенное таким образом всегда может оказаться ложным. Сколько бы примеров появления белых лебедей мы ни наблюдали, все это не оправдывает заключения: “Все лебеди белые”” [143, с. 46—47]. “Индуктивное умозаключение, — пишет крупнейший логик-позитивист XIX в. Дж. Милль, — это всегда в конце концов умозаключение от частного к частному” (по [141, с. 76])<sup>4</sup>.

Кантовский путь преодоления этой критики лежал через учение об априорных формах чувственности (пространстве и времени) и мышления (категорий), а для разрешения спора между идеалистами и реалистами он ввел понятия непознаваемой “вещи в себе” и познаваемого “яв-

<sup>4</sup> Если обратиться к “стандартному эмпирическому взгляду” (2.2.1), то универсальными высказываниями будут и “теоретические законы”, типа закона тяготения Ньютона, и “эмпирические закономерности”, типа закона Клайперона-Менделеева для идеального газа. Но между ними есть принципиальная разница. Последний закон получен из анализа эмпирических зависимостей давления и температуры разреженного газа от температуры непосредственно, без введения новых понятий. Универсальным высказыванием он становится через “галилеевское оборачивание”: если не подчиняется закону Клайперона-Менделеева, то — не идеальный газ. Собственно же “теоретические законы” содержат понятия, которые непосредственно из эмпирических данных не выводятся (сравните высказывание Эйнштейна, приводимое ниже (сноска 18).

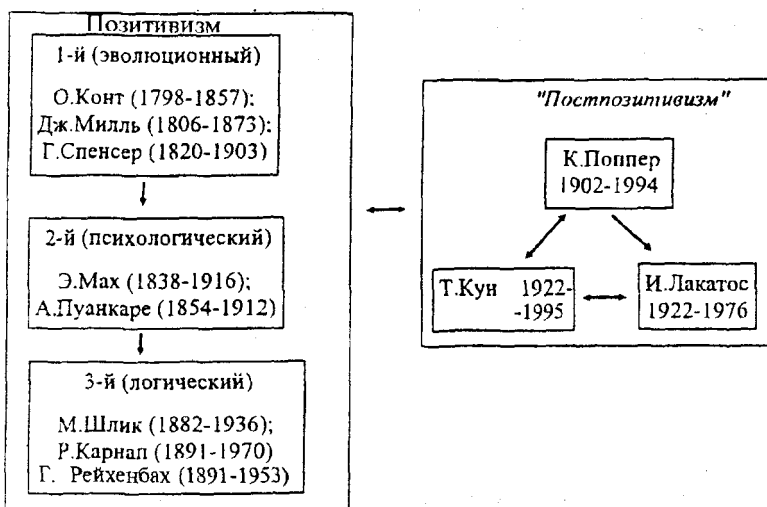
ления". На этом пути выросла знаменитая немецкая классическая философия, но в сер. XIX в. она была отвергнута научным сообществом, в мировоззрении которого все более укреплялся сциентизм<sup>5</sup>. Причиной тому были усложнение и специализация быстро развивавшейся естественной науки и ее прямолинейный беспроблемный рост на базе ньютоновской программы. Поэтому сложные рассуждения метафизиков, особенно в исполнении немецкой классической философии, которые к тому же не давали однозначных ответов, казались ученым "заумными" и ненужными. На этой почве возникает 1-й позитивизм француза О. Конта и его английских продолжателей Милля и Спенсера<sup>6</sup>.

## 11.2. Позитивизм

Позитивизм проходит ряд фаз традиционно называемых 1-м (Конт, Спенсер, Милль), 2-м (Мах, Пуанкаре и др.), 3-м (Венский кружок и др.) позитивизмом (Сх.11.2). Последний, называемый часто "неопозитивизмом" и "логическим

<sup>5</sup> Около 1845 г. происходит резкое изменение, "замечное всем в Западном мире как сдвиг в первичных интересах образованных людей", "сдвиг к сциентизму — взгляду, что научное знание есть единственное средство, могущее решить все человеческие проблемы". "Наука начала свой триумфальный марш открытий. Во многих направлениях было улучшение, настолько большое, что у среднего человека росла некритичная вера в неизбежный прогресс" (большую роль в этом сыграл дарвинизм, ставший одним из столпов сциентистской идеологии). "Лондонская выставка 1851 года символизировала самодовольство буржуазного "прогресса" и преимущества механизированной индустрии" [248 р. XIV].

<sup>6</sup> "Позитивизм рассматривался как естественное продолжение здравого смысла, за пределы которого философия собственно не способна выйти. По всей вероятности, громадный успех, который выпал на долю Спенсера, был обусловлен этим обстоятельством. Интеллигенту XIX в. льстило, что в философском трактате он обнаруживал суждения здравого смысла, до которых он и сам додумывался, но только явно их не выражал. Наконец-то были выражены сами собой разумеющиеся идеи, понимание которых теперь не требовало специальной философской культуры. ... Популярность Спенсера — это популярность "здравого ума". Восхищение Спенсером — это способ восхваления своего ума обывателем от науки (в XIX в. таковые уже появились)" [143, с. 50].



Сх. 11.2

позитивизмом”, в конце 1930-х приходит в тесное взаимодействие с американским прагматизмом — другим важным истоком основных направлений современной философии науки (это было стимулировано интенсивной эмиграцией философов-неопозитивистов из Австрии и Германии в США). Общим знаменателем всех перечисленных течений является *эмпиризм*, восходящий к Фр.Бэкону в сочетании с вниманием к критике Юма и неприятием “метафизики” (т.е. классической философии Нового времени от Декарта до Гегеля). В значительной степени это относится и к так называемому постпозитивизму, выросшему на логической (К. Поппер и др.) и исторической (Т. Кун и др.) критике неопозитивизма.

Основатель позитивизма О. Конт объявляет метафизику, после появления эмпирических наук, историческим излишеством и обращается через головы Локка и его наследников непосредственно к эмпиризму Фр. Бэкона. Но выбросить вместе с метафизикой юмовскую критику эмпиризма

уже не удастся. Попытки ответить на эту критику в рамках бэконовского эмпиризма идут несколькими путями.

Некоторые последователи Конта пытаются опереться непосредственно на сами “положительные” (естественные) науки, в первую очередь на эволюционную биологию Дарвина (Спенсер)<sup>7</sup> и психологию (Мах). Но выбранные ими естественнонаучные концепции быстро устаревали, увлекая в забвение основанные на них философские системы.

Сам Конт, учитывая критику Юма, по сути, сводит науку к *феноменологии*, утверждая, что ни наука, ни философия не могут и не должны ставить вопрос о причине явлений, а только о том, “КАК” они происходят. Наука, по Конту, познает не сущности, а лишь феномены. “Основной переворот, характеризующий состояние возмужалости нашего ума, по существу, заключается в повсеместной замене недоступного определения причин... простым исследованием законов, т.е. постоянных отношений, существующих между наблюдаемыми явлениями... Мы можем действительно знать, — говорил Конт, — только различные взаимные связи,... не будучи никогда в состоянии проникнуть в тайну их образования...” [82, с.17].

Естественным продолжением этой линии являются наука как “принцип экономии мышления” Э.Маха и конвенционализм А.Пуанкаре в рамках “второго” позитивизма.

В отличие от 1-го позитивизма, 2-й *позитивизм* опирался не на теорию эволюции, а на психологию и был теснейшим образом связан с осмыслением естественных наук, с происшедшей в физике “антиньютонианской” революцией и свя-

<sup>7</sup> Спенсер решал юмовскую проблему натуралистически на основе теории эволюции и наследования благоприобретенных признаков. Применяя к развитию науки, состоящему в накоплении знаний, свою эволюционную теорию, опиравшаяся на представления “о всеобщей эволюции, основанной на механистической интерпретации эмбриологии К.Бэра, геологической концепции Ч.Лайеля, физического закона сохранения и превращения энергии, учения Ч.Дарвина, Спенсер считал, что знания (как и биологические признаки особи) наследуются биологическим путем. Наука для Спенсера - средство приспособления человека к среде, это способ “достигать блага и избегать вреда” [143, с.51]. Наследником этой линии сегодня является эволюционная эпистемология [165].

занным с этим “гносеологическим кризисом в физике”<sup>8</sup>. Виднейшими и типичными представителями 2-го позитивизма являются Э.Мах (1838—1916) и А.Пуанкаре (1854—1912) — крупнейшие ученые и виднейшие участники этой революционной эпохи конца XIX — начала XX вв.

Суть антиньютоновского переворота ярко передает современник и поклонник Э.Маха В.Оствальд. “Каждый научно мыслящий человек, — говорит в 1872 г. В.Оствальд о господствовавшем до Маха “научном материализме”, — от математика до практикующего врача, на вопрос, как он представляет себе мир в самом себе, скажет, что вещи состоят из движущихся атомов и что эти атомы вместе с действующими между ними силами — конечные реальности всех явлений, ... что физический мир может быть понят не иначе, как путем сведения его на “механику атомов”, материя и движение являются конечными понятиями, к которым должно быть приведено все разнообразие явлений природы...” [135, с. 3, 5]. Но появление электродинамики нанесло мощный удар по механицизму, и он резко потерял в популярности в последней четверти XIX в.

Примыкающая к этому периоду эпоха формирования специальной теории относительности (СТО) характеризовалась колоссальным интересом к философии науки в научных и околонучных кругах. Так первая книга А.Пуанкаре — “Наука и гипотеза” — вышла в 1902 г. в Париже тиражом 16 тыс. экземпляров и была распродана в течение нескольких дней. Люди, прочитав ее, передавали своим друзьям и знакомым. В результате в том же году с книгой ознакомились около ста тыс. человек [154, с. 526].

Лидером борьбы с механико-ньютоновским мировоззрением в эту эпоху окончания формирования теории электромагнитного поля и зарождения теории относительности и квантовой механики стал Э.Мах

Маха, как и всех позитивистов, не удовлетворяло кантовское решение поставленных Юмом гносеологических проблем посредством “чудовищной непознаваемой “вещи в себе”” [116, с. 19], и он пытался решить их средствами современной ему психологической науки. Мах, развивая заложенные уже у Конта возможности, создает феноменологически-психологический вариант антиреализма, где в качестве критерия

<sup>8</sup> По своему характеру он отвечает общекультурному кризису “fin de siècle” (“конца века”), ярко проявившемуся в различных сферах культуры последней трети XIX в. (см. гл.1 и подробнее в [161, с. 9, 17, 264, 267—268])

отбора между конкурирующими теориями выступает *не истина* как соответствие факту (якобы существующему самому по себе), а та или иная форма *эффективности*<sup>9</sup>. В результате, как уже говорилось в гл.1, спор активизма (конструктивизма) с реализмом выдвигается на первый план.

Вслед за Беркли Мах в качестве “первой реальности” выбирает ощущения<sup>10</sup>, а не внешние тела. “Вещи (тела) суть для нас сравнительно устойчивые комплексы связанных друг с другом, зависящих друг от друга чувственных ощущений” [116, с. 137]. “Нет ничего трудного всякое физическое переживание построить из ощущений, т.е. из элементов психических. Но совершенно невозможно понять, как из элементов, которыми оперирует современная физика, т.е. из масс и движений (в их определенности, пригодной для одной только этой специальной науки) построить какое-либо психическое переживание” [116, с. 21].

Согласно Маху цель науки не истина (в силу ограниченности ее средств для отражения “богатой жизни вселенной” [117, с. 152]), а *экономия мышления* — своеобразная форма эффективности. “Самое экономное и простое выражение фактов через понятия, вот в чем оно (естествознание) признает свою цель” [117, с. 159, 156, 166].

Последнее утверждение близко родоначальнику *конвенционализма А.Пуанкаре* — другому великому ученому (математику и физику) конца XIX в. А.Пуанкаре, для которого исходной проблемой было осознание следствий для научной картины мира из появления неевклидовых геометрий, создал другую позитивистскую “домашнюю”<sup>11</sup> философию для естествоиспытателей. Он утверждал, что наука “может постичь не суть вещи в себе, как думают наивные

<sup>9</sup> “Познание и заблуждение вытекают из одних и тех же психических источников; только успех может разделить их” [116, с. 121—122]

<sup>10</sup> Точнее — “элементы”: “Все физическое (и психическое — А.Л.), находимое мною, я могу разложить на элементы, в настоящее время дальнейшим образом не разложимые: цвета, тоны, давления, теплоту, запахи, пространства, времена и т.д.” [116, с. 17].

<sup>11</sup> Э.Мах считал, что из-за усложнения науки и философии “в действительности всякий философ имеет свое домашнее естествознание, и всякий естествоиспытатель — свою домашнюю философию; но эти домашние науки бывают в большинстве случаев несколько устарелыми, отсталыми” (1909) [116, с.12].

догматики, а лишь отношения между вещами”, что “опыт предоставляет нам свободный выбор”, и поэтому “принципы механики... — это соглашения и скрытые определения” [154, с. 8, 90]. “Я, — говорит А. Пуанкаре в докладе на Международном конгрессе физиков в Париже в 1900 г. — позволю себе сравнить науку с библиотекой, которая должна непрерывно расширяться; но библиотекарь располагает для своих приобретений лишь ограниченными кредитами; он должен стараться не тратить их понапрасну. Такая обязанность делать приобретения лежит на экспериментальной физике, которая одна лишь в состоянии обогащать библиотеку. Что касается математической физики, то ее задача состоит в составлении каталога... Каталог, указывая библиотекарю на пробелы в его собраниях, позволяет ему дать его кредитам рациональное употребление... Итак, вот в чем значение математической (т.е. теоретической — А.Л.) физики. Она должна руководить обобщением, руководить так, чтобы от этого увеличивалась производительность науки” [154, с. 91-94].

К концу 1920-х революции в физике (в ее новых фундаментальных разделах) завершились и она снова вступила в относительно спокойный этап развития. Конечно остались споры, особенно вокруг квантовой механики, но все большее число ученых обходилось без них и возвращалось к описанным выше Оствальдом “материалистическим” взглядам на окружающий мир. Пути науки и философии снова начали расходиться. Революционный период в науке уходил в прошлое, в то время как философия науки продолжала жить этим революционным периодом.

Атмосферу формирования 3-го позитивизма или “неопозитивизма” определяют такие теоретические явления как: открытие новых неевклидовых геометрий (Лобачевского, Римана) и различных систем новейшей формальной логики (Лукаевич и др.) с числом значимостей истинности более, чем две (истинно/ложно); операциональность понимания одновременности в теории относительности; принцип “наблюдаемости” Гейзенберга (“ненаблюдаемый объект не существует”); “структуралистское” понимание языка Ельмслева и гипотеза Сепира и Уорфа о том, что язык является первичным явлением, а взгляды и мировоззрение людей

производны от языка; “эмпирическая социология”, согласно которой наука сводится к фиксации, а затем упорядочению фактов в рамках условно принятых систем языка.

Ведущей школой неопозитивизма стал *логический позитивизм*, родившийся в рамках *Венского кружка* — объединения группы венских физиков, математиков и социологов на базе семинара, руководимого М. Шликом. Его идеи интенсивно развивались также в Берлине, Варшаве и Тарту. Виднейшими представителями логического позитивизма были Р.Карнап и Г.Рейхенбах.

Этот 3-й позитивизм является наследником 2-го, он формируется под сильным влиянием Э.Маха, преподававшего в Вене. Но, в отличие от последнего, он *отказывается от психологизма*. Отчасти это, по-видимому, было вызвано быстрым устареванием тех психологических и биологических моделей, которые использовал 2-й позитивизм, отчасти связано с принципиальной критикой психологизма вообще со стороны неокантианцев Марбургской школы<sup>12</sup>. Вместо психологии и биологии 3-й позитивизм обратился к логике.

Предшествующую возникновению этого течения обстановку Ф.Суппе описывает так: “Логический позитивизм — немецкое движение... В период между 1850 и 1880 в немецкой науке доминировал механистический материализм... К 1870-м механистический материализм стал оспариваться, главным образом, в результате развития физиологии и психологии... (В результате чего) в немецком научном сообществе механистический материализм постепенно уступил дорогу неокантианской философии науки, развитой сначала Гельмгольцем и (более основательно) Г.Когеном (H. Cohen) ... К 1900 этот тип неокантианства стал доминирующей философией немецкого научного сообщества; это было сущностью немецкого научного общего смысла, который фактически препятствовал принятию и квантовой механики, и теории относительности. Неокантианство было не единственной философией науки, принятой как реакция против механистического материализма; другая школа, которая имела существенное,

<sup>12</sup> Неокантианцы “Марбургской школы” (Г.Коген, П.Наторп, Э.Кассирер и др.) выступили “с антипсихологической и вообще антинатуралистической программой обоснования научного знания. .... Оставаясь в рамках кантовской идеи трансцендентальной логики, неокантианцы со временем оказались не у дел: обоснование математики пошло по пути создания и развития математической логики. Тем не менее ... антипсихологическая установка осела в неопозитивизме” [165, с. 8—9].

но менее широко распространенное влияние в немецкой науке, происходила от Э.Маха; ее влияние было ограничено главным образом несколькими школами (особенно в Геттингене, Берлине, и в институтах общества им. Кайзера Вильгельма)... На рубеже века три философских позиции удерживались в немецком научном сообществе: **механистический материализм, неокантианство, и маховский неопозитивизм** (в принятой в отечественной литературе и данной главе классификации правильнее говорить “маховский позитивизм”), с неокантианством как наиболее принятым... А теоретическая физика шла своим путем.... В 1905 Эйнштейн опубликовал свою специальную теорию относительности (СТО), а вскоре “старая” квантовая механика встала на свой путь развития. Теория относительности и квантовая теория рассматривались как несовместимые со всеми тремя этими философиями науки... Первая немецкая поддержка для новых физик пришла от тех школ, которые симпатизировали махистскому позитивизму ... Попытки преодолеть кризис следовали в нескольких направлениях. Одно из них шло через модификации неокантианства..., наиболее серьезную попытку в этом направлении ...проделал Э.Кассирер (1910). Другой, чисто философски более влиятельный подход, исходил из расширенной и ослабленной версии маховского неопозитивизма. Последний подход развивался... в Берлине под влиянием Г.Рейхенбаха (его Берлинская школа) и в Вене под влиянием М.Шлика (Венский кружок). Обе группы соглашались, что Мах был прав, настаивая на проверяемости (verifiability) как критерии осмысленности для теоретических концепций, но заключали, что он ошибался в недооценке места математики... “ [254, 7-12].

В основе воззрений Венского кружка лежала доктрина *Рассела-Витгенштейна* (“философия логического атомизма” (1918)). Согласно ей все имеющие научный смысл предложения должны сводиться к “атомарным предложениям”, которые рассматриваются как “реальные атомы” знания, и все знание, в конечном счете, сводится к совокупности элементарных чувственно проверяемых утверждений (это позволяет избегать постановки псевдопроблем, куда вытесняется и предмет спора между реализмом и конструктивизмом). Отсюда следует эмпирико-чувственный способ верификации утверждений и лозунг Шлика: “Значение предложения есть метод его верификации”. Онтологический вопрос о реальности был переведен в семиотический вопрос о значении (программой в этом отношении является его статья “Значение и верификация”).

Именно язык как носитель научной информации представляется логическим позитивистам тем чисто эмпиричес-

ким явлением, которое включает все проблемы познания... Р.Карнап утверждал, что проблемы философии относятся не к природе бытия, а к семантической структуре языка науки” [141, с. 138—9], который “рассматривается как иерархия утверждений: во-первых, *базисных*, непосредственно эмпирически проверяемых, во-вторых, косвенно проверяемых посредством логических связей с первыми.” [198, с.103—104]. В этом и состоит процедура “*верификации*”. Утверждения, которые не верифицируются таким способом, выбрасываются из науки как “*метафизические*” (подробнее позиция неопозитивистов анализируется в [131; 198]). В лоне логического позитивизма создается “*общепринятый взгляд*” на научную теорию, рассмотренный в п. 2.2.

Принцип верификации — центральное положение логического позитивизма. Но сам принцип верификации опирался на язык наблюдения” (язык “*протокольных предложений*”)<sup>13</sup>. Однако в многочисленных исследованиях к середине XX в. было показано, что такого языка в научном познании просто не существует. “Тот слой знания (...тот язык), который выполняет в науке функцию описания эмпирических данных... всегда теоретически нагружен” [112, с.70]. “В постпозитивистский период, — говорит В. Ньютон-Смит, —... философы крикнули хором: все наблюдения теоретически нагружены. Иными словами, нет никакого нейтрального в отношении теорий языка наблюдения” [165, с. 171].

### 11.3. Постпозитивизм

В 1960-70-х гг. на сцену выходит постпозитивизм, который подвергает концепции логического позитивизма логи-

<sup>13</sup> Концепция последнего “проходила через ряд стадий. Первая стадия - это стадия “*протокольных предложений*” феноменалистического языка, которые мыслились как выражающие “*чистый опыт*” без какого-либо его понятийного истолкования” (типа “Я теперь гневен”). Вторая стадия - понятие “*протокольных предложений*”, выраженных в так называемом “*физикалистском языке*” (типа “Карл был гневен вчера в полдень”). Последняя, третья, стадия - “*понятие “предложений наблюдения” вещного языка*” (типа “Эта точка выше и правее той”) [198, с.105-106].

ческой (К.Поппер, Б. ван Фраассен) и исторической (И.Лакатос, Т.Кун, П.Фейерабенд и др.) критике.

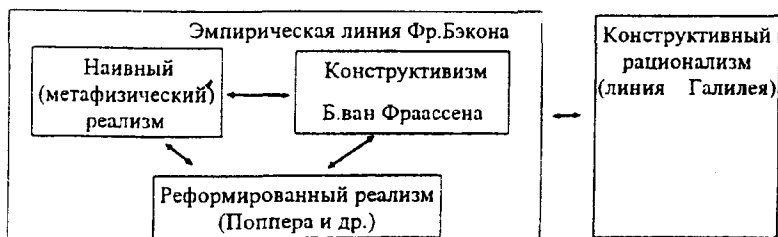
К.Поппер в качестве центральной проблемы выдвинул *“проблему демаркации”* — *“проблему нахождения критерия, который дал бы нам в руки средства для выявления различия между эмпирическими науками, с одной стороны, и математикой, логикой и “метафизическими” системами — с другой”* [143, с. 55]. При этом в центр внимания попадает проблема выбора между теориями. *“Центральной проблемой философии знания, начиная, по крайней мере, с Реформации, — говорит Поппер, — была следующая. Как возможно рассудить или оценить далеко идущие притязания конкурирующих теорий или верований?”*

К.Поппер раскритиковал метод индукции и процедуры верификации как основы для решения этих проблем и заменяет последнюю *принципом “фальсификации”*: теория научна, если она содержит рискованные, проверяемые на опыте высказывания, которые, в случае отрицательного результата, однозначно фальсифицируют теорию. Но из этой процедуры логически вытекает вывод, что рано или поздно существующие теории будут фальсифицированы, такая позиция получила название *“фаллибилизма”* (т.е. *“погрешности”* от англ. слова *“ошибка”*). По сути Поппер перешел от сравнения отдельной теории к сравнению развивающегося ряда теорий (эту линию продолжит его ученик И.Лакатос), он рассматривает науку как *“прогрессирующую от одной проблемы к другой (а не от теории к теории) — от менее глубокой к более глубокой проблеме”*. Свою позицию, противопоставляемую иррационализму и скептицизму, Поппер назвал *“критическим рационализмом”* (рационализм здесь употребляется, в первую очередь, в широком смысле, как антитеза иррационализму). Эта позиция находится в непростых отношениях с вопросом об истине (термин, которого Поппер избегал в своих ранних работах). Он (опираясь на *“семантическое определение истины”* логика А.Тарского) принял в этом вопросе позицию, согласно которой он верит, что существует истина как соответствие фактам и что последовательность научных теорий стремится к ней, но у нас нет (логических) критериев, позволяющих утверждать, что данная теория приближается к исти-

не. Поппер верит, что последовательность фальсификаций, которым подвергает природа наши теории, обтачивает их (как море обтачивает гальку) в направлении приближения к истине.

Сегодня юмистскую критику наиболее последовательно проводит Б.С. ван Фраассен. В своем *“конструктивном эмпиризме”* он утверждает *“взгляд, согласно которому научная деятельность является скорее конструированием, чем открытием: конструированием моделей, которые должны быть адекватны явлению, а не открытием истины, имеющей отношение к ненаблюдаемому”* [257, р. 5]. *“Цель науки — дать нам теории, которые являются эмпирически адекватными; и принятие теории включает, как веру, только то, что она эмпирически адекватна”* [257, р. 12]. Под *“эмпирической адекватностью”* имеется ввиду совпадение эмпирических проявлений теоретической модели явления и самого явления. Свою позицию он противопоставляет позиции *“реалистического эмпиризма”* (называемого им *“научным реализмом”*), который утверждает, что *“картина мира, которую наука дает нам, является истинной картиной мира, верной в своих деталях, и сущности, постулируемые в науке, действительно существуют: наука продвигается посредством открытий, а не изобретений.... Цель науки — дать нам истинную историю о том, как выглядит мир; и принятие научной теории включает веру в то, что это есть истина”* [257, р. 7-8].

Позиция ван Фраассена вызвала массу споров и возражений со стороны *“реалистов”* [231; 165; 128], но противостоящее ему множество реалистических течений скорее обороняется, чем наступает. Общим для них является утверждение, что то, против чего выступает ван Фраассен, — это *“наивный”* или *“метафизический”* реализм (очень близкий приведенному выше (в п. 1) реализму М.Планка). Современные реалисты эту позицию защищать не берутся и, не принимая крайнего конструктивизма ван Фраассена, предлагают различные варианты *“реформированного”* реализма, наиболее ярким представителем среди которых является, похоже, *“критический рационализм”* Поппера-Лакатоса (Сх.11.3).



Сх. 11.3

Теперь обратимся к *историцистской критике*. В основе историцистской критики *Т.Куном* и *П.Фейерабендом* логического позитивизма и, одновременно, попперовского фальсификационизма лежит тезис об отсутствии в реальной истории науки “решающего эксперимента” (каковыми их объявляют лишь много позже, в учебниках) или о “*не-соизмеримости теорий*” (в истории науки в революционные периоды часто наблюдаются случаи, когда сторонники двух конкурирующих теорий не могут логическими средствами доказать, что одна из теорий является более истинной или более общей, чем другая).

Другим выражением этих тезисов является переход от кумулятивных к некумулятивным моделям развития науки. “Суть *кумулятивизма*, — пишет науковед *Е.А.Мамчур*, — хорошо охарактеризовал *М.Бунге*. “Любая историческая последовательность научных теорий (с позиций кумулятивизма — *Е.М.*) является возрастающей в том смысле, что каждая новая теория включает... предшествующие теории. И в этом процессе ничто и никогда не теряется; по существу, указанная точка зрения предполагает непрерывный рост в виде аддитивной последовательности теорий, сходящихся к некоторому пределу, объединяющему все теории в единое целое”. Однако к 50-м годам (время, когда стало складываться постпозитивистское направление в философии науки) такое представление о росте научного знания стало уже непопулярным. Работы историков науки, исследовавших концептуальные сдвиги, совершившиеся в период научной революции XVII в., а также аналогичные исследования новейшей революции в физике

убедительно показали, что кумулятивистская схема неприложима к реальной истории науки.... Прогресс науки... сопровождается существенными потерями..." [112, с. 81]<sup>14</sup>.

Т.Кун резко выступил против "кумулятивной модели развития", т.е. "развития через накопления" [90, с. 18]. Исходя из анализа истории научных революций, связанных с именами Коперника, Ньютона, Лавуазье, Эйнштейна он выдвинул свою некумулятивную модель развития науки, в центре которой стоит тезис о несоизмеримости теорий, конкурирующих между собой в период научной революции. Основными элементами куновской модели являются взаимозависимая пара "научная парадигма" и "научное сообщество", а также деление развития науки на две фазы: "аномальную" (по сути — революционную) и "нормальную".

*Научная парадигма и научное сообщество* по Куну это — взаимосвязанные элементы, не могущие существовать друг без друга. С одной стороны, научные сообщества являются носителями парадигм, с другой — парадигма — основа самоидентификации и воспроизводства научного сообщества. "Под парадигмами я подразумеваю, — говорит Т.Кун, — признанные всеми научные достижения, которые в течение определенного времени дают научному сообществу модель постановки проблем и их решений" [90, с. 11]. Парадигма "располагает обоснованными ответами на вопросы, подобные следующим: каковы фундаментальные сущности, из которых состоит универсум? Как они взаимодействуют друг с другом и с органами чувств? Какие вопросы ученый имеет право ставить в отношении таких сущностей и какие методы могут быть использованы для их решения?" Все это вводится в сознание неопита соответствующим научным сообществом в ходе получения профессионального образования [90, с. 21—22, с. 237—259].

Эту картину дополняет шокировавшее многих сведение сути "нормальной" науки к "наведению порядка" и "решению головоломок". "Именно наведением порядка, — пишет Т.Кун, — занято большинство ученых в ходе их научной деятельности. Вот это и составляет то, что я называю здесь

---

<sup>14</sup> Перечисление основных черт кумулятивной модели и их критику можно найти в обзорной главе [196].

нормальной наукой. При ближайшем рассмотрении этой деятельности... создается впечатление, будто бы природу пытаются "втиснуть" в парадигму, как в заранее сколоченную и довольно тесную коробку. Цель нормальной науки ни в коей мере не требует предсказания новых видов явлений: явления, которые не вмещаются в эту коробку, часто, в сущности, вообще упускаются из виду. Ученые в русле нормальной науки не ставят себе цели создания новых теорий... Напротив, исследование в нормальной науке направлено на разработку тех явлений и теорий, существование которых парадигма заведомо предполагает... Эти три класса проблем — установление значительных фактов, сопоставление фактов и теории, разработка теории — исчерпывают... поле нормальной науки, как эмпирической, так и теоретической" [90, с. 45—46, 58]. Термин "парадигма" "тесно связан с понятием "нормальной науки", — писал Кун. — Вводя этот термин, я имел в виду, что некоторые общепринятые примеры фактического практического применения и необходимое оборудование, — все в совокупности дают нам модели, из которых возникают конкретные традиции научного исследования" [90, с. 28—29]. Т.е. понятия "парадигмы" и "традиции" тесно связаны.

Научная революция или "аномальная" фаза в развитии науки состоит в смене лидирующей парадигмы. В силу несоизмеримости парадигм их конкуренция происходит как конкуренция научных сообществ и победа определяется не столько внутринаучными, сколько социо-культурными или даже социально-психологическими процессами ("многие из моих обобщений касаются области социологии науки и психологии ученых", — говорит Кун [90, с. 26]). "Сами по себе наблюдения и опыт еще не могут определить специфического содержания науки, — утверждает Кун. — Формообразующим ингредиентом убеждений, которых придерживается данное научное сообщество в данное время, всегда являются личные и исторические факторы" [90, с. 21—22]. "Конкуренция между различными группами научного сообщества (т.е. между научными сообществами — *А.Л.*) является единственным историческим процессом, который эффективно приводит к отрицанию некоторой ранее принятой теории... Ответ зависит от описания основных свойств научного сообщества" [90,

с. 26]. “Вынесение приговора, которое приводит ученого к отказу от ранее принятой теории, — говорит Т.Кун, — всегда основывается на чем-то большем, нежели сопоставление теории с окружающим нас миром” [90, с. 110—111]. “Вряд ли когда-либо, — вторит ему П.Фейерабенд, — теории непосредственно сопоставлялись с “фактами” или со “свидетельствами”. Что является важным свидетельством, а что не является таковым, обычно определяет сама теория, а также другие дисциплины, которые можно назвать “вспомогательными науками” [179, с.118].

Эту критику учитывает И.Лакатос, противостоящий скептицизму Т.Куна и П.Фейерабенда и рассматривающий себя как продолжателя и защитника попперовского “критического рационализма”, утверждающего наличие рациональных оснований для выбора конкурирующих теорий.

И.Лакатос поддерживает тезис Куна и Фейерабенда об отсутствии “решающих экспериментов”. Он показывает это на примере эксперимента Майкельсона-Морли (Майкельсон был обескуражен отсутствием должного внимания к своим результатам со стороны научного сообщества и при получении Нобелевской премии за “создание прецизионных оптических приборов, а также за спектроскопические и метрологические измерения, выполненные с их помощью” даже не обмолвился об этом эксперименте) и ряде других [92, с. 125-133, 24-25]. Лакатосу близок куновский тезис о том, что “отказ от какой-либо парадигмы без замены ее другой означает отказ от науки вообще” [90, с. 107]. “Не может быть никакой фальсификации прежде, чем появится лучшая теория” — говорит Лакатос [92, с. 57]. Но Лакатоса не удовлетворяет куновское “сведение философии науки на психологию науки”. Для отстаивания содержательных принципов “критического рационализма” он развивает подход Поппера: “оценке подлежит не отдельная теория, а ряд или последовательность теорий” — говорит он. “Не отдельно взятую теорию, а лишь последовательность теорий можно назвать научной или не-научной” [92, с. 56]. Только они и подлежат оценке и для них он вводит содержательный критерий отбора в виде “прогрессивного сдвига проблем” (вместо куновского социально-психологического).

Для этого он вводит понятие “последовательности теорий T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, ...”, где каждая последующая теория получена из предыдущей путем добавления к ней вспомогательных условий..., чтобы

устранить некоторую аномалию... Такая последовательность теорий является теоретически прогрессивной (или "образует теоретически прогрессивный сдвиг проблем"), если каждая новая теория имеет какое-то добавочное эмпирическое содержание по сравнению с ее предшественницей, то есть, предсказывает некоторые новые, ранее не ожидаемые факты... Теоретически прогрессивный ряд теорий является также и эмпирически прогрессивным..., если какая-то часть этого добавочного эмпирического содержания является подкрепленным, то есть, если каждая новая теория ведет к действительному открытию новых фактов... Назовем сдвиг проблем прогрессивным, если он и теоретически и эмпирически прогрессивен, и регрессивным — если нет" [93, с. 55].

Если введение "прогрессивного сдвига проблем" в ряду теорий дает основание надеяться на решение проблемы рационального сравнения теорий, то другим нововведением Лакатос пытается привести свой (и Поппера) "критический рационализм" в соответствие с историей науки. Он согласен с критикой Куна и Фейерабенда относительно того, что "старым" теориям весьма долго удается защищаться от новых эмпирических "опровержений". Но это, с его точки зрения, не результат несоизмеримости теорий, а следствие того, что надо рассматривать более крупные образования — "исследовательские программы" (ИП), которые состоят из "твердого ядра" и "защитного пояса" (эти модели часто эффективны и для описания обычных текущих научных исследований). Программа складывается из методологических правил: часть из них — это правила, указывающие каких путей исследования нужно избегать (эта часть определяет оберегаемое "неопрровергаемое" "жесткое ядро" — А.Л.)..., другая часть — это правила, указывающие, какие пути надо избирать и как по ним идти (эта изменчивая часть составляет "защитный пояс" вспомогательных гипотез, интерпретаций и т.п., с помощью которых борются с возникающими "аномалиями" — А.Л.)" [92, с. 79].

Введение "защитного пояса" и "прогрессивного сдвига проблем" (упомянутые выше последовательности теорий Т1, Т2, ... принадлежат одной исследовательской программе, имеют общее "жесткое ядро" и отличаются на уровне "защитного пояса") позволяет Лакатосу вывести программу "критического рационализма" из под огня историцистской критики американского постпозитивизма в лице Т.Куна и П.Фейерабенда. Но выдвигаемые им критерии рациональнос-

ти и цели науки, по сути, сдвигаются от классического представления об истине как соответствии реальности в сторону эффективности в переработке эмпирического материала.

Похожие фазы можно выделить и в отечественной философии науки. В конце предыдущего — начале нынешнего века очень популярен был махизм, проповедовавший резко выраженный конструктивизм, которому противостоял реализм в духе М.Планка. Спор был прекращен с наступлением социалистического единомыслия 1930-50-х, когда в теории познания воцарился реалистический ленинский вариант марксизма, провозглашенный в его “Материализме и эмпириокритицизме” [98]. С этого момента и до сего дня столь важная для западной философии науки “проблема Юма” практически игнорировалась.

В 1950-60-х стали прорастать два конструктивистских варианта. Один, опираясь на теорию деятельности раннего марксизма. Его ярким представителем было движение Московского методологического кружка (ММК), бессменным лидером которого был Г.П.Щедровицкий. Манифестом ММК по этому направлению стал сборник “Проблемы исследования структуры науки”, изданный в Новосибирске в 1967 г. (см. [151; 157; 168] и др.). Среди видных представителей этого направления можно назвать И.С.Алексеева, В.М.Розина, В.С.Швырева, И.С.Ладенко, Б.В.Сазонова, М. А. Розова, отчасти В.С.Степина. Другая линия опиралась на богатые культурологические традиции 1920-х (М.Бахтина и др.). Здесь центром стал Институт истории естествознания и техники АН (см. [6; 14; 33; 34]). Среди видных представителей этого направления — П.П.Гайденко, В.С.Библер, А.Ахутин и др. В отличие от западного аналога, главный акцент здесь приходился на культурный, а не социальный контекст.

Но центральным в советской философии науки оставалось “диалектико-материалистическое” направление, которое, в духе “оттепели” 1960-х, в значительной степени освободилось от идеологических оков. Целью интенсивного освоения современной западной философии науки стала не огульная критика, а ее переваривание и встраивание новых элементов в диалектико-материалистическую основу, с целью ее обогащения и более эффективного решения проблем, которые выделяли в ходе развития науки (проблемы строения, функций и свойств научного знания, отношения теории и реальности, защита от обвинений в идеализме генетики, кибернетики, квантовой механики и др.). Ее оплотом был ряд секторов Института философии АН в Москве и его аналоги в Киеве и Минске (см. [183; 122; 7; 172] и др.). Подробный анализ истории отечественной философии науки дан в [113].

Отметим, что для традиции советской философии науки 1960-80 гг., где, в отличие от западной, сильный акцент делался не на формальной, а на содержательной стороне познавательного процесса

[113, с. 266] характерно непосредственное обращение к “абстрактным объектам” и “мысленным экспериментам”, не ограничиваясь характерным для западной философии науки лишь “оперированием высказываниями” [113, с. 272]. В ее рамках в теорию, наряду с математическим, вводят еще и модельный слой. Наиболее известными образцами такого модельного слоя являются “ненаблюдаемые” “типы содержания физического знания” И.С.Алексеева [1, с.49-57] и “теоретические схемы” В.С.Степина [168] (предлагаемый нами “модельный подход” во многом продолжает эту традицию, но в отличие от последней мы придерживаемся не эмпирицистского, а рационалистического взгляда). Хотя отечественная философия 1960-70-х дала много интересных результатов на перечисленных направлениях, все же сегодня лицо мировой философии науки определяют западные течения.

В итоге современную проблемную ситуацию приближенно можно представить в виде нескольких “треугольников”. Вершины одного (“историцистского”) составляют Поппер, Кун, Лакатос (сх.11.2). Вершины другого (“логицистского”) “треугольника” (Сх.11.4) составляют “наивные” реалисты, “реформированные” реалисты (типа Поппера и Лакатоса), конструктивисты (ван Фраассен).

Особые полюсы составляют философствующие ученые типа А.Эйнштейна и В.Вернадского<sup>15</sup>, которые неудовлетворены всем этим спектром и строят свои “домашние” и весьма эклектичные философии.

Ученый “с благодарностью принимает теоретико-познавательный анализ понятий, но внешние условия, которые поставлены ему фактами переживаний, не позволяют ему при построении своего мира понятий слишком сильно ограничивать себя установками одной теоретико-познавательной системы, — говорит Эйнштейн в своем “Ответе на критику”. — В таком случае он должен систематизирующему философу-гносеологу показаться своего рода беспринципным оппортунистом. Он кажется реалистом, поскольку старается представить не зависящий от актов ощущения мир; идеалистом (конструктивис-

<sup>15</sup> В.И. Вернадский называет свою позицию позицией натуралиста. “Натуралист ..., — говорит он, — неизбежно по существу реалист-эмпирик...” [27, с.216, 233]. Но этот “реалист-эмпирик” существенно отличается от ван фраассеновского “научного (эмпирического) реалиста”, ибо вырастает не из эмпирического позитивизма (представителей последнего Вернадский относит к “философам”), а из “философии жизни” (в центре его научного интереса живая материя, гео-, био- и ноо- сферы, ему

том в нашем понимании — А.Л.) — поскольку смотрит на понятия и на теории как на свободные изобретения человеческого духа (не выводимые логически из эмпирически данного); позитивистом (махистом — А.Л.) — поскольку рассматривает свои понятия и теории лишь настолько обоснованными, насколько они доставляют логическое представление связей между чувственными переживаниями. Он может показаться даже платоником или пифагорейцем, поскольку рассматривает точку зрения логической простоты необходимым и действенным инструментом своего исследования”; “колебания между ... крайностями (эмпиризма и рационализма) кажутся мне неустраняемыми” — говорит А.Эйнштейн [202, т. 4, с. 310-311]. Но это высказывания Эйнштейна-мэтра, у которого научные революции 1905 г. уже позади. На формирование Эйнштейна-революционера начала века существенное влияние оказала философия Маха, которой бы не было, если бы Маха могла удовлетворить подобная эклектика.

Подводя итоги этой безусловно неполной ретроспективы<sup>16</sup> трудно не согласиться с крупным современным западным философом науки Б. ван Фраассеном, утверждающим, что именно “эмпиризм всегда был главным философским ориентиром в изучении природы” [257, р. 3]. Действительно, как мы видели, философия естественной науки со времен Локка ориентируется на указанный Фр.Бэконом путь опоры на опыт, эмпирическую реальность. К Фр. Бэкону апеллируют и представители позитивизма (от отцов-основателей до современных).

Между тем мы видели, что вопрос об “ахиллесовой пяте” эмпиризма, которую выявил Д. Юм, периодически поднимается в рамках философии науки. В сер. XX в. его очень

---

очень близок А.Бергсон). Его утверждение о том, что “все его (натуралиста) представления всегда... окажутся в самом основании своем далеко выходящими за пределы так называемых законов природы, математических и логически рационалистических формул, в каких нам представляется окружающий нас мир”, опирается на характерные для философии жизни понятия бессознательного и интуиции.

<sup>16</sup> Более развернутое изложение этой ретроспективы можно найти в курсе лекций автора [107]

остро ставил К.Поппер, сегодня — Б. ван Фраассен. К этой проблеме добавляется историцистская критика Т.Куна. Выше было показано, что ни одна из двух выделенных ван Фраассеном крайних позиций — эмпирического реализма и конструктивизма, по-видимому, не способна сама по себе решить эти проблемы и адекватно описать структуру и процесс развития естественной науки. Поэтому, во многом соглашаясь с критической аргументацией ван Фраассена, автор не согласен с предлагаемым им решением юмовской проблемы и вводит в рассмотрение еще один — “галилеевский” — вариант философии науки, берущий начало в том же XVII в., что и бэконовский эмпиризм. Рассмотренной выше *эмпиристской “бэконовской линии”* мы противопоставляем *рационалистическую “галилеевскую линию”*.

#### 11.4. “Галилеевский” “конструктивный рационализм”

Теперь обратимся к гносеологическим вопросам, связанным с природой “первичных идеальных объектов” (ПИО). Здесь естественным дополнением нашего основанного на ПИО “модельного подхода” является развиваемое нами гносеологическое направление, которое мы, исходя из логики рассмотренных выше основных различий в современной философии науки, назвали “конструктивным рационализмом”.

Развиваемая нами линия “конструктивного рационализма” начинает свой отсчет от Г.Галилея и идет параллельно рассмотренной выше истории философии науки XVII-XX вв. В ее основе — выделение процесса создания новых первичных идеальных объектов, и включение в него инженерного типа отношения между теорией-проектом и эмпирическим материалом<sup>17</sup>. Это составляет одно из фундаментальных отличий естественной науки Нового времени от

<sup>17</sup> Заложенный в них инженерный элемент обуславливает четкие экспериментальные критерии работы теоретической модели (образно говоря, машина или едет или не едет, здание или мост либо выдерживают соответствующие нагрузки, либо разрушаются). При создании новых первичных идеальных объектов (аналог предложения новых конструктивных материалов) таких четких критериев еще нет (они еще должны доказать свою эффективность во второй фазе — фазе “использования”). Здесь часто нет ситуации “исследования объекта” или “черно-

натурфилософии, в которой нет подобной сложной “машины” по производству “первичных идеальных объектов”, служащих “кирпичиками” для строительства “картины мира” (в натурфилософии последняя строилась из умозрительных элементов).

При этом, согласно предложенной нами модели, создание новых “первичных идеальных объектов”, как мы уже говорили в п. 2.1, происходит вообще не по бэконовской схеме эмпирической индукции. Опыты, как они понимаются в эмпирической традиции, идущей от Фр. Бэкона, дают, с одной стороны, исходный эмпирический материал типа “донаучных” образов движения, газа и др. (“эмпирический хаос” в древнегреческом смысле слова, из которого рождается порядок-“космос” раздела науки). Он используется при создании “первичных идеальных объектов” в ходе “созидательной” “С-фазы”, а, с другой стороны, поставляют явления природы, которые “объясняются” в ходе “И-фазы” (сх.2.1). В рамках предлагаемой модели эмпирическая работа в духе Фр.Бэкона по собиранию и обобщению эмпирических фактов (сюда мы относим многие “поисковые эксперименты”, например, опыты Эрстеда в электродинамике) — это необходимая “почва”. Но сама зрелая наука, типа раздела физики, — это “растение”, которое растет на почве, но вырастает из семени, а не из почвы (семенем, как мы видели, является та или иная проблема)<sup>18</sup>. Вопрос о том, как возникает это “растение”, мы (как и К.Поппер) оставляем, по сути, открытым, ограничившись лишь приведением аргументов в пользу не-

---

го ящика” [7, с. 163-166], который подразумевается в эмпирической линии Бэкона. Здесь часто происходит преобразование парадокса в новый первичный идеальный объект, процесс, требующий других схем.

<sup>18</sup> Ср. с высказыванием Эйнштейна: “В настоящее время известно, что наука не может вырасти на основе одного только опыта и что при построении науки мы вынуждены прибегать к свободно создаваемым понятиям, пригодность которых можно *aposteriori* проверить опытным путем. Эти обстоятельства ускользали от предыдущих поколений, которым казалось, что теорию можно построить чисто индуктивно, не прибегая к свободному творческому созданию понятий. Чем примитивнее состояние науки, тем легче исследователю сохранять иллюзию по поводу того, что он будто бы является эмпириком...” (по [136, с. 22]).

эмпирического характера этого процесса. Мы рассматриваем лишь само “растение”, т.е. структуру зрелого раздела естественной науки, изображенной на сх.2.1 (и 3.1 для физики). Основываясь на этой структуре, отличающей ее от других культурных феноменов, мы, по сути, решаем попперовскую проблему “демаркации”.

Посредством охарактеризованной выше “созидательной” деятельности человечество создает “первичные идеальные объекты”, из которых строит картину мира, подобно тому как люди делают кирпичи и строят из них здания. Поэтому не было бы человечества, не было бы ни кирпичей, ни зданий, ни атомов, ни космологических траекторий типа “Большого взрыва”. Но коли они существуют, то на вытекающий из знаменитой реалистической по своей сути работы В.И.Ленина “Материализм и эмпириокритицизм” (1908) [98] классический антиконструктивистский вопрос: “Существовал ли атом и т.п. до появления человека?” отвечаем утвердительно.

Кажущаяся парадоксальность приведенного ответа связана с тем, что обычно смешивают два разных понимания времени: “психологически-исторического” и “физического”. Рождение “первичных идеальных объектов” и порожденных ими наук происходит в историческом времени. Но естественные науки (или, что то же самое, соответствующие “первичные идеальные объекты”) строятся принципиально внеисторически в том смысле, что функционирование этих идеальных объектов предполагается в бесконечном в обе стороны “физическом” времени. В силу этой, заложенной Галилеем, *внеисторичности естественной науки* “историческое” и “естественнонаучное” время принадлежат разным процессам.

Для исторических процессов пересечение с физическим временем возникает лишь при датировке (солнечный год и день) и особых проблем пока не порождает. Значительно интереснее пересечение физики и истории в случае космологии, геологии, биологии. Но здесь мы, возможно, сталкиваемся с точкой роста, точкой рождения новых первичных идеальных объектов и новых наук.

Таким образом предлагаемая нами конструктивистская модель науки является достаточно непротиворечивой.

Этот путь является, с одной стороны, альтернативным конструктивному и реалистическому эмпиризму, а, с другой — сходит с описанного замкнутого круга и предлагает

в определенном смысле их синтез за счет разведения “конструктивистского” по своему духу процесса создания “первичных идеальных объектов” (атома, электромагнитного поля, квантовой частицы и т.п.), часто связанного с разрешением того или иного парадокса и решением конкретных задач, с одной стороны, и практически “реалистического” процесса использования уже сформировавшихся первичных идеальных объектов для объяснения и предсказания-проектирования различных явлений природы или построения “картины мира”. При этом наша модель учитывает аргументы историчистской критики Т.Куна, И.Лакатоса и др. Рождение новых первичных идеальных объектов и соответствующего раздела науки — это разрыв, научная революция, и здесь есть место для куновской “несоизмеримости”. Но этот разрыв нельзя абсолютизировать. Как показывает приведенный в “Приложении 1” анализ, новый раздел вбирает в себя значительную часть старых разделов, скачок сочетается с преемственностью.

В силу заложенной Галилеем инженерной процедуры воплощения первичных идеальных объектов в реальном материале, полученные реализации “первичных идеальных объектов” искусственны, но реальны<sup>19</sup>. Поэтому на фазе использования первичных идеальных объектов для построения “картины мира” или модели (т.е. объяснения) явления природы к последним применимы предъявляемые “реалистами” критерии и требования, связанные с возможностью обсуждать модель явления (в том числе и критикуемый Б. ван Фраассеном аргумент “лучшего объяснения” как критерия при выборе лучшей модели [257, р. 286-287; 104]). Одно из главных возражений ван Фраассена против реалистов состоит в утверждении, что “каким оно (модель-объяснение) будет, зависит от того, какие теории мы в состоянии вообразить”. В нашем подходе есть два уровня теорий. На первом уровне — уровне создания “первичных идеальных объектов” (ПИО) — утверждение ван Фраассена сводится к утверждению, что модель строится в рамках выбранного раздела науки. Так устроена современная

<sup>19</sup> В силу инженерных процедур, заложенных в способ создания идеальных объектов, на их основе можно создавать технику.

наука. На уровне построения конкретных моделей из ПИО (“И-фаза”) тоже есть элемент конструирования и в этом смысле утверждение ван Фраассена справедливо. Но в нашем случае, кроме обязательной “эмпирической адекватности” между построенной из первичных идеальных объектов моделью и эмпирическим явлением, между ними существует еще и связь “по материалу”, поскольку “первичные идеальные объекты” построены из того же эмпирического материала, что и явления, а не из “ненаблюдаемых” или “эмпирически излишних” сущностей. В результате такая теория-модель обеспечивает выполнение и описательных, и объяснительных<sup>20</sup>, и предсказательных функций.

С помощью введенных понятий можно дать ряд четких определений и различий. Можно дать определение фундаментальных наук и разделов науки, понимая под *фундаментальными* те науки и их разделы, которые связаны с появлением новых первичных идеальных объектов (ПИО). При этом содержательное наполнение структурно-функциональной схемы теоретической части “ядра раздела науки” (“Т-блока” на сх.3.1) отличает различные фундаментальные разделы внутри данной фундаментальной науки, а различным фундаментальным наукам отвечают, по-видимому, различные структурно-функциональные схемы теоретической части (это подтверждает проведенный выше анализ структуры основных понятий химии и синергетики). Полученное выше (гл. 3) в рамках данной модели науки общее теоретическое определение физики вполне согласуется с эмпирическим составом разделов физики, как они заданы в учебниках теоретической физики и Реферативном журнале

<sup>20</sup> Два типа объяснения (в смысле статьи К. Гемпеля, П. Опенгейма “Логика объяснения” (1948), где “они назвали объяснением операцию, при которой устанавливается дедуктивная связь между двумя типами положений - экспланандусом (объясняемым) и экспланансом (объясняющим)” [138, с. 78-79]) существуют в физике на двух уровнях: 1) тип ПИО - эксплананс (объясняющий), тип траектории в пространстве состояний - экспланандус (объясняемый); 2) определенное состояние - эксплананс (объясняющий), конкретная траектория в пространстве состояний - экспланандус (объясняемый). В результате объяснение как логическое рассуждение и объясняющие физические модели и др. [138] - совпадают.

“Физика”. Это является одним из веских аргументов в пользу развиваемого нами подхода.

Таким образом, альтернативный эмпиризму (как “метафизическому” или “реалистическому”, так и “конструктивному”) “конструктивный рационализм” обладает рядом существенных достоинств при решении фундаментальных вопросов современной философии науки.

Предлагаемая нами модель естественной науки в разной степени совместима с различными философскими взглядами на процесс создания новых “первичных идеальных объектов”. Мы в этом вопросе придерживаемся конструктивистской схемы, но это не ванфраассеновский “конструктивный эмпиризм”, а “галилеевский” “конструктивный рационализм”, в котором за основу берется не эмпирический материал, а теоретическое утверждение (типа “тело падает равномерно-ускоренно”), выступающее в качестве проекта, подлежащего воплощению в реальном материале.

Таковы основные характеристики предлагаемого нами гносеологического направления, названного “конструктивным рационализмом”. Оно для нас служит естественным дополнением развиваемого нами “модельного подхода” к естественным наукам, но не является абсолютно необходимым. Главным в предлагаемом “модельном подходе” к физике являются идеи “первичного идеального объекта” (ПИО) и “ядра раздела науки” (ЯРН) и рационалистический характер фазы “создания” ПИО. Реализуется ли этот рационализм конструктивистски (посредством изобретения) или реалистически (посредством интуиции, как у Декарта<sup>21</sup>) — не так принципиально.

---

<sup>21</sup> Но не как у Пифагора, где нет локальных ПИО для каждого раздела науки, а есть первоэлементы, из которых строится вся Вселенная. Следует отметить, что среди ряда физиков-теоретиков, развивающих идеи ОТО, сегодня обретает некоторую популярность платано-пифагорейская традиция, в которой первичными являются математические структуры [89; 67; 61; ...]. Эта линия пока остается вне нашего анализа.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

---

Прочитанная Вами книга посвящена изложению и обоснованию выработанного мною, исходя из анализа различных разделов физики, специфического “модельного подхода” к естественным наукам. “Модельным” он назван чтобы подчеркнуть тот факт, что не “математика” и не “опыт”, а использование особого типа моделей, в которых “математика” и “опыт”, выступают как ее элементы, составляют суть естественных наук и что, те “кирпичики”, называемые в книге “первичными идеальными объектами”, из которых строятся модели явлений природы и “картины мира”, и есть главное, что надо понять в каждой естественной науке. Этот подход основан на введении понятия “первичного идеального объекта” (его описание дано в п. 2.1 и 3.1, а философский контекст дан в пп.2.2, 2.3 и гл.11), на различении процессов его “создания” (в ходе которого часто применяется неявный тип определения основных понятий в рамках “ядра раздела науки” — другого введенного в книге важного понятия) и его “использования”. Этот подход существенно отличается, как от западных потомков “стандартного взгляда” (см. п.2.2), делающих упор на логической структуре теорий, так и от более близких по духу отечественных моделей, от которых его отличает выбор исходной единицы анализа — “раздела науки” (а не “дисциплины” или “теории” [171, с. 12]), очень конкретная структура “ядра раздела науки” и “первичного идеального объекта” (сх.2.1 и 3.1), а также неэмпирический взгляд на развитие науки (ее развитие определяется методологией Г.Галилея (в данной в книге реконструкции), а не Ф.Бэкона). Основная часть книги посвящена применению этого нового подхода к анализу основных понятий различных разделов физики, а также синергетики и химии. Наиболее яркие новые результаты получены при применении его к квантовой механике — самому сложному разделу физики (автор претендует на наведение ясности и порядка в его основаниях и исключении многих интенсивно обсуждающихся уже 70 лет “псевдопроблем”).

Мне кажется, что в этой небольшой по объему книге сконцентрировано много нетривиальных идей и переработан и сжат очень большой материал. Поэтому рекомендую заинтересованному читателю вернуться к началу и пройти по книге снова, обращая внимание на сноски и комментарии. Надеюсь, что мне в основном удалось не обмануть ожидания читателя, решившегося погрузиться в столь серьезные вопросы и выполнить те обещания, которые были щедро розданы в начале книги.

К гл.2.

I. Галилей многогранен, в зависимости от интересующего контекста, из его диалогов можно извлечь весьма разные типы рассуждений, чему посвящена "громадная Галилеана" [14, с.214]. Мы выделяем интересующую нас грань, которой наиболее близки рефлексивные высказывания Галилея типа: "Сначала... путем чувственных опытов и наблюдений удостовериться, насколько только можно, в своих заключениях, а после этого, изыскивать средства доказать их, ибо обычно именно так и поступают в доказательных науках" [35, т.1, с. 148—149].

Других интересует другое. Так В.С. Библера ставит другие вопросы и дает другие ответы. Он пытается схватить у Галилея диалектический переход от принципиальной приблизительности баконовской эмпирической индукции к абсолютной точности геометрических формулировок Галилея. Его интересуют "начала логики Нового времени" [14, с. 211]), он анализирует творческий процесс рождения нового мышления, "челнок" идеализации — реализации" и логику эксперимента". Поэтому он акцентирует внимание на галилеевском "понимании исходных начал истинного необходимого познания" и выявляет в его основе "парадоксальное сочетание двух взаимоисключающих утверждений.

А. Изначальны: природа, чувство, опыт. Разум должен подчиняться неукоснительному диктату этих начал" (Положение "которое гласит, что нужно предпочесть чувство рассуждению, является гораздо более прочным...[35, т.1, с. 153]).

Б. Изначальны: разум, зрение очами разума, разумная память об истинном знании. Чувства и опыт должны подчиняться диктату разума, даже насилию разума (Коперниканцы "живостью своего ума... произвели такое насилие над собственными чувствами, что смогли предпочесть то, что было продиктовано им разумом, явно противоречащим показаниям чувственного опыта..." [35, т.1, с. 423].)"[14, с. 219; 3, с. 219]. — с. 19

II. Альтернатива декартовским "врожденным идеям" и кантовским "априорным формам". — с. 19

III. Аналогичные элементы можно найти и в эмпиристской модели науки В.С.Степина [168, с. 97], но там она используется по-другому (см. след. раздел). Он анализирует "основания науки", состоящие из "картины мира", "идеалов и норм науки" и "философских оснований науки", единицей анализа у него выступает "научная дисциплина" или "отрасль науки" (т.е. физика, химия, биология и т.п.) [171], а нас интересует структура основных понятий раздела науки. — с. 20

IV. В англоязычной философии науки им соответствует особый тип "примитивных символов" — "теоретические термины

подобные "электрону" или "частице", которые невозможно соотнести каким-либо простым путем (способом) с наблюдаемыми явлениями" [254, р. 56]. В русскоязычной философии науки им отвечают "идеальные" [168, с. 12—19] или "идеализированные" [97, с. 195—200] теоретические объекты. Но там они помещены в другие объемлющие структуры. Кроме того, над ними довлеет эмпиризм.

Так в [97], приводится такой классический для подобного эмпиристского анализа пример "идеализированного объекта" как "материальная точка", ... обладающая массой (как и все реальные тела) и вместе с тем лишенная размера..." (с. 196) и утверждения типа "идеализированные теоретические объекты конструируются лишь по отношению к реальным, т.е. выступают в качестве таких, у которых отсутствуют те или иные характеристики реальных объектов, или же наоборот, которым присущи свойства, невозможные у реальных объектов... атомы классической механики по отношению к реальным атомам, с которыми имеет дело современная физика..." (с. 199). Что такое "реальные атомы, с которыми имеет дело современная физика" непонятно, если не стоять на позиции "эмпирического реализма". С нашей точки зрения в рамках эмпиризма анализировать серьезные "идеализированные теоретические объекты" типа наших ПИО нельзя, поскольку здесь, как шило из мешка, будет высовываться юмовская проблема, о которой подробнее говорится в последнем разделе. Поэтому у В.А.Лекторского встречаются и по сути противоположные утверждения типа "Ясно, что идеализированные объекты не имеют реальных референтов, что это конструкции теоретического мышления (иногда их называют "внутритеоретическим" и...)" (с. 196) или говорится, что "по-видимому, идеализация не может быть сведена к "упрощению" того, что дано в опыте..., идеализация может служить выявлению существенных, объективно-реальных зависимостей" (с. 197), но оно лишь фрагмент, да еще ослабленный словом "по-видимому", среди последовательно бэконовских по духу эмпиристских утверждений.

Другой пример эмпиристского подхода к этой сложной проблеме. В [158] в параграфе "Методологическая функция теоретических понятий" читаем: "Переход к теоретическим, абстрактным понятиям (от эмпирических. — АЛ.) представляет собой диалектический скачок от эмпирической ступени исследования к рациональной... с их помощью удается отобразить эмпирически невоспринимаемые свойства и отношения реальных предметов и явлений... как отношение между (ненаблюдаемой. — АЛ.) сущностью и явлением" (с.99). Цель теории — в объяснении эмпирических обобщений и законов", а также в "предсказании" новых результатов (с. 100).

Структурирование теории идет в совсем другом направлении, чем у нас: "В любой научной теории можно выделить три основных компонента: во-первых, модель, которая с помощью абстрактных объектов описывает в идеализированной форме фундаментальные законы поведения реальных систем; во-вторых, ис-

ходные понятия, фундаментальные законы и принципы, посредством которых выражаются связи и отношения между абстрактными объектами идеализированной модели; в-третьих, вся совокупность логических следствий, которые вытекают из фундаментальных законов и принципов теории" (с. 15).

И все это опирается на "диалектико-материалистический принцип отражения", согласно которому "теория представляет собой концептуальную систему, с помощью которой отображаются определенные закономерности функционирования и развития соответствующих реальных систем." (с. 15).

Здесь, что характерно для эмпиризма, не различают фазы "создания" и "использования" в науке и работают только с последней, а говоря о модели, имеют в виду модель "чего-то". — с. 22

V. Если обратиться к вопросу о конкуренции теоретических систем в процессе развития науки, то среди альтернатив, предлагаемых К. Поппером, Т. Куном, И. Лакатосом, нам наиболее близка лакатосовская модель. Если сравнить с последней нашу модель, то лакатосовскому "жесткому ядру" его "исследовательской программы", по-видимому, следует сопоставить наше "ядро раздела науки", сердцем которой является соответствующая система первичных идеальных объектов. При этом наше "ядро раздела науки" прописано, особенно для физики, гораздо конкретнее лакатосовского "жесткого ядра". Но поскольку контексты у Лакатоса и у нас различны, то указанные аналогии не следует воспринимать слишком буквально. — с. 24

VI. Эти две фазы отвечают фазам "диссенсуса" и "консенсуса" Лаудана [165]. Фаза "консенсуса" соответствует фазе работы с имеющимися первичными идеальными объектами, т.е. попперовское "объяснение (выражение. — АЛ.) неизвестного через известное... в терминах проверяемых и фальсифицируемых" [165, с. 63—64]. Заложенный в них инженерный элемент обуславливает четкие экспериментальные критерии работы теоретической модели (образно говоря, машина или едет или не едет, здание или мост либо выдерживают соответствующие нагрузки, либо разрушаются). При создании новых первичных идеальных объектов (аналог предложения новых конструктивных материалов) таких четких критериев еще нет (они еще должны доказать свою эффективность во второй фазе). Здесь часто нет ситуации "исследования объекта" или "черного ящика" [7, с. 163—166], который подразумевается в эмпирической линии Бэкона. Здесь часто происходит преобразование парадокса в новый первичный идеальный объект, процесс, требующий других схем. — с. 25

VII. Различение между теоретическим и эмпирическим как двумя "типами исследования" и "уровнями познания" [172] на уровне интересующего нас процесса создания нового раздела науки относится к различению процесса создания этого раздела "по Галилею" и процесса накопления эмпирического материала-сырья "по Бэкону" ("Хаоса" из которого рождается "Космос" раздела науки "по Галилею").

Для нас эти два уровня познания отличаются от рассматриваемых Мандельштамом двух уровней — математических уравнений и эмпирических измерений (близких соответствующим уровням структуралистского течения философии науки, рассмотренного ниже в п. В).

Но если стоять на позиции пробэконовского эмпиризма, в котором нет различения на создание новых первичных идеальных объектов (нового раздела науки) и их использования, эти две пары — “уровни познания” в [172] и уровни математических уравнений и эмпирических измерений отождествляются. — с.26

VIII. Интересно сравнить данную модель рождения новых наук с моделью В.С.Библера [14]. Мне представляется, что отличие данной модели от модели В.С.Библера заключается в том, что он пытается схватить результат Галилея, не порывая с эмпиризмом и идеей вычленения идеальных объектов по отдельности, обходясь понятием “эксперимент”, не проводя принципиальной границы между “первичными” и “вторичными” идеальными объектами, между указанными двумя фазами развития науки, не вводя понятия “ядра раздела науки”. Кроме того, В.С.Библер ставит несколько другие вопросы (см. I). — с. 26

IX. Мы здесь следуем линии Г.П.Щедровицкого [201, с. 580 — 581]. Именно процедуры сравнения с эталоном решают столь сложную для логики П.Суппеса проблему “применения чисел к вещам”, которую он пытается решить путем “аксиоматизированной теории измерения некоторых эмпирических величин, таких как масса, расстояние или сила” [252, р. 59]. — с. 28

### К гл. 3.

I. В механике в качестве физической системы выступает частица (тело) или система частиц (тел) и сил. Ассоциации с понятиями, употребляемыми в системном подходе здесь излишни. — с. 48

II. Наша структура близка структуре В.С. Степина, у которого “теория включает: 1) уравнения (математические выражения законов); 2) теоретическую схему, для объектов которой справедливы уравнения; 3) сложные и опосредованные отображения объектов, составляющих схему, на эмпирический материал” [168, с.97]. Здесь обозначены все введенные нами слои. У В.С.Степина есть и аналоги наших ПИО и ЯРН — “теоретические объекты” и “фундаментальные теоретические схемы” [168, с. 24, 30]. Но у В.С.Степина нет введенной нами весьма конкретной единой для всех разделов физики структуры (в центре которой переход  $S_A(t_0)$  в  $S_A(t_1)$ ). В отличие от “системы основных положений”, состоящих из аксиом, допущений, общих законов и принципов теории [113, с. 265], наше “ядро раздела науки” обладает четкой и конкретной структурой составляющих его математического, модельного и эмпирического слоев. — с. 50

III. Здесь уместно еще раз отнестись к весьма популярным в западной философии науки программам аксиоматизации физики. Если обратиться к считающемуся наиболее успешным примером такой аксиоматизации — аксиоматизации системы механики материальной точки Мак-Кинси, Шугара, Суппеса (1953) [241; 1328 с. 189—190], то легко увидеть, что в ней все спроектировано в математический слой, что первые 4 аксиомы задают математические образы сил (внутренних (для системы точек) и внешних), массы, времени, и траектории (вместо состояния системы), а последующие аксиомы (с 5-й по 7-ю) — законы Ньютона (уравнение движения). Как мы уже говорили, нетрудно, используя схему 3.1 как путеводитель, выявить все постулаты-аксиомы данного раздела механики. Но, в отличие от геометрии или другого раздела математики, в физике это мало что нового дает. Более того для физики более интересны те, не указанные Мак-Кинси, Шугаром и Суппесом постулаты, которые задают связи этих математических образов с двумя другими изображенными на сх.3.1 слоями и определяют физический смысл соответствующих ПИО. — с. 51

IV. Такой взгляд на физику имеет много общего с “общей структурой фундаментальных физических теорий” Г.Я.Мякишева [127]. Последний выделяет понятие состояния физической системы как центральное и утверждает, что общая структура классической механики остается и в других разделах физики. Но у него, как и у перечисленных выше авторов, в основе лежит двухслойная модель естественной науки, в которой теоретическая часть представлена лишь математическим слоем: “Общими структурными элементами механики Ньютона (и все другие “фундаментальные физические теории”, как он указывает чуть ниже — АЛ.) можно считать три элемента: совокупность физических величин (наблюдаемых), с помощью которых описываются объекты данной теории; характеристика состояний системы; уравнения движения, описывающие эволюцию состояния” — пишет Г.Я.Мякишев [127, с. 423].

Аналогичны отличия нашей структуры и от “костяка” (структуры) физической теории И.В.Кузнецова. У него мы находим похожие на наши ПИО “идеализированные объекты” (абстрактные модели [87, с. 30]), которые “по своему назначению в высокоорганизованной теоретической системе фактически играют роль фундаментальной идеи” и служат “посредствующим мостом” при “переходе от эмпирического базиса к совокупности новых понятий”. При этом, как и у нас (если под “теориями” понимать разделы физики, у И.В.Кузнецова не выделены указанные выше два типа теорий), “теории ... прежде всего отличаются положенными в их основу идеализированными объектами” [87, с. 31, 30]. Главное отличие между нашими ПИО и “идеализированными объектами” В.И.Кузнецова состоит в примате математики в его представлении теории (по сути его модель, как указывалось выше, двухслойна, она состоит из математико-теоретического и эмпирического слоев), вследствие чего “идеализированный объект

с самого начала строится с помощью образов и средств математики” и его примерами являются -функция в квантовой механике и “абстрактное псевдоевклидово 4-мерное множество координат и мгновений времени” — в СТО, а не квантовая и релятивистская частицы (формируемые в первую очередь в модельном слое), как у нас.

То, что в приведенных выше и у И.В.Кузнецова взглядах на науку превалирует противоположная по сравнению с нашей субординация между модельным и математическим слоями, связано, по-видимому, с тем, что в рамках эмпиристской идеологии привыкли строить последовательность: эмпирические факты — эмпирические законы — теоретические законы [244]. — с. 52

V. Это изложение проведено с позиции “конструктивного рационализма”. Можно эту часть изложить с позиции “реалистического эмпиризма”, правда тогда появятся те самые многочисленные каверзные вопросы о том что такое масса и сила, которые интенсивно обсуждались в конце прошлого века, в частности, Э. Махом. — с. 57

## К гл.4

I. Если не считать влияния ньютоновской парадигмы тел, движений и сил, его закона тяготения, наиболее ярко проявившегося в рождении закона Кулона, и гидродинамических моделей флюидов. — с. 73

II. С точки зрения его “научного метода”, “методологии конструирования теории” (идею которого ван Фраассен, по его словам, нашел у Л. Лаудана) “новые теории конструируются под давлением новых явлений, или реальных, или воображаемых”. Под “новыми” он имеет в виду “те явления, для которых нет места среди моделей, предлагаемых принятыми теориями...”. Этот процесс, который он называет “откликом” (“реакцией”), имеет две стадии логически, если не хронологически различные. Первая стадия — расширение существующей теоретической рамки так, чтобы допустить возможность этих вновь рассмотренных явлений... Первое движение предназначено обеспечить эмпирическую адекватность, создать место для всех актуальных явлений... Второе движение (последующее “сужение рамки”. — АЛ.) предназначено для того, чтобы возратить эмпирическое значение, информативность, предсказательную силу” [231, р. 269]. (Эти две стадии, по-видимому, следует рассматривать как альтернативу постпозитивистским двухстадийным моделям Т.Куна, И.Лакатоса и приведенной выше нашей. При этом, в отличие от последних, ван Фраассен не различает построение конкретной теории какого-либо явления и рождение новой “парадигмы”, исследовательской программы” или “раздела науки”.)

В первом движении он выделяет “чрезвычайно общую процедуру”, называемую им “первичный метод разрешения проблем”. (“Этот метод, — говорит он, — может быть описан двумя путями: как введение скрытой структуры или “дуально” как вставка

(embedding)" [231, p. 270]. В качестве примеров "скрытых параметров" (или структур) он приводит массу и силу в ньютоновском описании движения. "Слово скрытый в "скрытых параметрах", — поясняет он, — не обязательно относится к недостатку экспериментальной доступности. Оно означает, что мы видим в решении параметры, которые не появляются в постановке проблемы" [231, p. 270].)

Суть этого метода состоит в том, что "небольшие, но хаотические явления рассматриваются как фрагменты "целого", которое много больше, но упорядоченно и просто". "Мы можем "дуально" описать решение следующим образом, — говорит он: кинематические структуры отношений встраиваются в структуры, которые значительно больше — больше в том смысле, что существуют дополнительные параметры (отношения, или величины, или сущности)" [231, p. 270]. Причем в качестве такой "полной общей формы" у него выступает "математическая модель", типа "фазового и конфигурационного пространства в классической механике и гильбертова пространства в квантовой механике" [231, p. 276]. Ван Фраассен убежден, что именно так возникли "максвелловская электродинамика, эйнштейновская геометродинамика и янг-милсовская динамика связанных кварков" [231, p. 270]. Наличие модельного слоя он как последовательный эмпирист категорически отрицает и посему, по сути, сводит физику к феноменологии.

Программа Вебера (как и современные программы геометризации в ОТО и ее наследниках, а также в теориях объединения в теории элементарных частиц) вполне вписывается в ванфраассеновскую "методологию конструирования теории". — с. 73

## К гл. 5

1. Глубокий логический анализ проблем системы измерительных процедур для СТО (они же, но как локальные, выполняют свою функцию и в ОТО [155, с. 289—291]) провел крупный философ науки Г. Рейхенбах. Он показывает, что в системе измерительных процедур теории относительности "с точки зрения логики время первично по отношению к пространству" [155, с. 189]. Так дефиниция одного из важнейших "топологических понятий пространственного порядка, а именно понятия между... может быть дана только с помощью временных понятий" [155, с. 189—190]. В свою очередь "временная метрика зависит от трех координативных дефиниций (это понятие Рейхенбах вводит, чтобы отличить процедуры измерения, связанные с относительно произвольными определениями, от теоретических высказываний, оценивающихся на истинность (ср. сх. 2.1)). Первая имеет дело с единицей времени и определяет числовую величину временного интервала. Вторая касается равномерности и относится к сравнению последовательных интервалов времени. Третья связана с одновременностью и сравнением интервалов времени, которые параллельны друг другу и протекают в различных точках про-

странства. Эти три определения делают возможным измерение времени. Без них проблема измерения времени будет логически неопределенной... Специальная теория относительности ... сыграла важную роль в осознании того, что одновременность имеет характер определения" [155, с. 155].

Вопрос о том, равны ли два удаленных друг от друга линейных отрезка, есть вопрос не познания, а определения; и это определение в конечном счете сводится к соотносению некоторого физического объекта и единицы измерения" 155, с. 133—134]. — с. 87

## К гл. 6

I. Этот результат во многом похож на результат "модальной интерпретации" ван Фраассена. Принципиальная разница состоит в обсуждаемом ниже вынесении измерения во внетеоретический слой. — с.124

II. Отметим, что по сравнению с введенным в [58] понятием "затравочного абстрактного объекта" (ЗАО) наш метод "затравочной классической модели" (ЗКМ) является чрезвычайно конкретным. Метод ЗКМ является конкретным элементом физической работы внутри раздела физики, используемым физиками при постановке физических задач. В весьма интересной работе [56] речь идет о логическом анализе процесса формирования теории. Вопрос о том, можно ли рассматривать ЗКМ как частный случай реализации выявленной в [56] логической процедуры, требует дополнительного анализа. — с.134

III. Здесь речь идет о последовательном соединении теоретической части и "реальных действий с реальными объектами" в одно целое. Т.е. наука не делится, как у неопозитивистов и материалистов-реалистов, на два параллельных слоя (языка, уровня познания и т.д.), и эмпирическому явлению сопоставляется не "теоретическая", а "научная" модель, в которой последовательно соединены три указанные части. — с. 145

IV. Философское решение этого парадокса со стороны "конструктивного эмпирика" ван Фраассена почти дословно совпадает с утверждением копенгагенца М.Борна и состоит в том, что тут никаких проблем нет вообще, ввиду "отсутствия необходимости наблюдаемой иметь какое-либо определенное значение или какое-либо значение вообще, когда не производится никакого измерения" [257, р. 175]. "Конструктивный эмпиризм" ван Фраассена требует всего лишь "эмпирической адекватности" и может удовлетвориться "минималистской" или "инструменталистской" интерпретацией квантовой механики. Что касается развиваемой нами "линии Галилея" ("конструктивного рационализма"), то он утверждает искусственность, но реальность квантовых объектов (так кирпич столь же реален, как и кусок гранита). Поэтому в его рамках можно рассуждать не только об измерении, но и о поведении квантовых объектов на уровне физической модели, когда не производится измерения. Поэтому для нас возможно не

только философское, но и физическое (на уровне физической модели) обсуждение ЭПР-парадокса. — с. 163

V. "Очевидно, — говорит ван Фраассен, — попытки интерпретации подобны... попыткам ввести скрытые переменные (с.п.). Теория с.п. (типа "черного ящика" — АЛ)... заботится об эмпирическом успехе. С другой стороны, с.п.-теория должна быть одной из тех, которая ведет точно к тем же результатам, как и квантовая механика сама по себе (имеются в виду ее эмпирические проявления — АЛ). В этом случае... введенные с.п. являются, как Фейерабенд назвал их, "эмпирически излишними", но они показывают каким может быть мир в соответствие с описанием квантовой механики. Доводя (заостряя) это утверждение до парадокса, получаем, что любая адекватная интерпретация должна быть с.п.-интерпретацией с эмпирически излишними с.п. Я имею в виду следующее. Предположим, что мы согласимся, что, в принципе, логически, может быть более, чем одна адекватная интерпретация теории. Тогда сразу следует, что интерпретация идет далее теории... Эмпирическая избыточность (интерпретации) требуется для обеспечения того, чтобы из нее не следовало новых или других (по сравнению с самой теорией) предсказаний — иначе мы имеем скорее альтернативную теорию, чем интерпретацию" [258, р. 243—244]. — с. 164

## ПРИЛОЖЕНИЕ I: О ПРЕЕМСТВЕННОСТИ РАЗДЕЛОВ ФИЗИКИ

Для того, чтобы показать степень преемственности в создании новых разделов физики сделаем следующее. Возьмем “Курс теоретической физики” Л.Д.Ландау и Е.М.Лифшица [93] (один из наиболее полных курсов теоретической физики) и рассмотрим совокупности аксиом-экспериментальных фактов, составляющих фундамент соответствующих разделов.

1) “*Механика свободного движения с упругими соударениями*” Соответствующие “аксиомы-экспериментальные факты” можно свести к следующему:

A1: задание координат и скоростей полностью определяет состояние системы;

A2: существует принцип наименьшего действия (ПНД), определяющий уравнения движения (УД);

A3: существуют так называемые “инерциальные системы отсчета” (и.с.о.), в которых пространство однородно и изотропно, время однородно;

A4: все механические законы (в том числе и ПНД) инвариантны для инерциальных систем отсчета;

A5<sup>рел</sup>: существует предельная скорость распространения взаимодействия “с” - инвариант для инерциальных систем отсчета. Это эквивалентно выбору в качестве преобразования от одной и.с.о. к другой преобразования Лоренца (преобразования Галилея задают нерелятивистский вариант этой “аксиомы”).

2) Ньютоновская “*механика сил*” получается отсюда всего-навсего введением одной новой “аксиомы”.

A6<sup>Ньют</sup>: взаимодействие между материальными точками может быть описано в уравнении движения добавлением определенной функции только координат (без скоростей), т.е. можно ввести “потенциальную энергию”.

3) *Теория электромагнитного поля* (электродинамика) получается из базовой модели (1) добавлением всего двух “аксиом”:

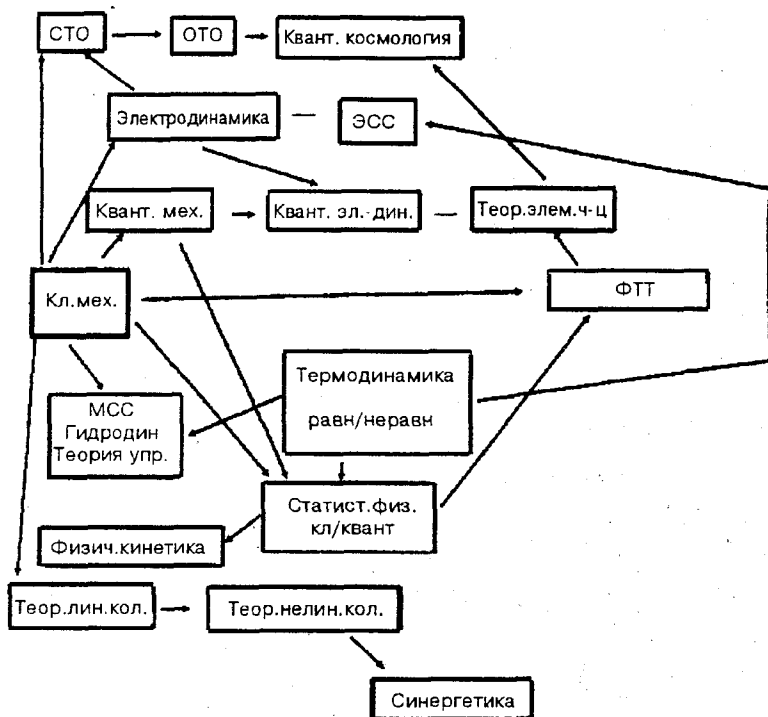
A6<sup>э.м</sup>: свойства частицы в отношении ее взаимодействия с электромагнитным полем определяется всего одним параметром - зарядом частицы, свойства же поля характеризуются так называемым 4 - потенциалом  $A$ , компоненты которого являются функциями координат и времени;

A7<sup>э.м</sup>: электромагнитное поле подчиняется так называемому принципу суперпозиции.

4) *Квантовая механика* (нерелятивистская), благодаря описанной процедуре квантования “затравочной классической модели, тоже является надстройкой над ньютоновской механикой.

5) Квантовая электродинамика - надстройкой над классической электродинамикой.

Та же картина имеет место и при рассмотрении других разделов физики. Все они тесно связаны, и новый раздел возникает как надстройка над совокупностью старых разделов.



Сх. П1. Связь (преемственность) разделов физики (СТО и ОТО - специальная и общая теории относительности, ЭСС - электродинамика сплошных сред, ФТТ - физика твердого тела, МСС - механика сплошных сред)

- аксиоматизация (27, 33-37)  
аналогий метод Максвелла (67, 76-80, 196, 202)  
антропный принцип (109)  
Больцман М. (7, 12, 24, 40-44, 194-203)  
Бор Н. (113-15, 120, 126-28, 136-137)  
Борн М. (122, 138)  
Бройль де Л. (119, 124)  
Бэкон Ф. (17-18)  
вакуум (пустота) (19, 173, 175-177, 182)  
Вебер М. (72-73)  
Вернадский (260)  
виртуальные частицы (175)  
время (52-54)  
Галилей Г. (18-20, 270, 273)  
Гейзенберг (114, 126, 137-41)  
гравитационные волны (98)  
гравитационный коллапс (95, 97)  
дальнодействия и близкодействия концепции (71-72, 73-74, 92)  
Декарт Р. (71, 240)  
дополнительности принцип Бора (126-28, 130-32)  
запрета принцип Паули (164)  
“затраченной классической модели” метод (77-78, 92, 97,  
133-36, 202)  
измерения процедуры и эталоны (И) (20-21, 28, 87-91,  
98-100, 108-109, 122-23, 144-48, 152-56)  
инерциальная система отсчета (52, 58-59)  
интерпретация квантовой механики (163)  
Исследовательская программа (258)  
кварки (171, 178)  
Конт О. (243-45)  
копенгагенская интерпретация квантовой механики (128)  
корпускулярно-волновой дуализм (119-120)  
Кун Т. (254-57)  
Лакатос И. (257-59)  
Локк Дж. (240)  
Лоренц (80-81, 85-86, 102-103)  
Максвелл Дж. (7, 11, 22-23, 39, 67, 74-88, 195)  
масса (56-58, 93)  
математический слой (Mat) и уравнения движения (22-23,  
44, 50)  
математическое представление (48)  
Мах Э. (14-15, 246)  
многомировая интерпретация Эверетта (144, 151, 156)

- модельный слой (физическая модель) - Мод-слой (20, 43, 44, 46-50)
- Нейман Франц (70-73)
- Нейман фон Джон (Иоган) (141-51, 155, 163)
- неклассическая наука (7, 11-15)
- неопределенностей соотношение (принцип Гейзенберга (128-129)
- неразличимости (тождественности) квантовых частиц принцип (164)
- несоизмеримости теорий тезис (254)
- неявный тип определения (6, 22-23)
- Ньютон И. (46, 54-60, 71)
- относительности принцип (84-85)
- парадокс "кошки Шредингера" (146-147)
- парадокс близнецов (88-89)
- редукции (коллапса) волновой функции парадокс (141-42)
- Паули (134, 137-38)
- первичные идеальные объекты - ПИО (22-23)
- Планк М. (14-15)
- Поппер К. (124, 252)
- "постнеклассическая" наука (16)
- правила вероятностной интерпретации волновой функции Борна (122)
- приготовление (П) (20, 134, 150, 154)
- пространство-время 4-мерное (90-92, 93, 96-100, 103)
- Пуанкаре А. (84-86, 102-103)
- раздел науки (4, 6, 21)
- рационализм и эмпиризм (240)
- реализм и конструктивизм (13-15, 253, 267)
- Рейхенбах Г. (90, 111)
- решающий эксперимент (254)
- состояния в физике (46-48)
- состояния физической системы (SA(t) ) (46-48)
- теоретическая часть раздела науки (20-21, 46-48)
- фазы развития науки: "создания" (С) и "использования" (И) (23-25)
- Фарадей М. (70, 73-74, 78)
- Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна распределения (164)
- физическая система (А) (46-48):
- Фраассен ван Б. (125, 142, 160, 163, 253, 260, 262, 266, 275-278)
- Эйлер Л. (60-63, 81)
- Эйнштейн А. (85-87, 90, 93, 95, 109, 114, 118, 123, 128-29, 157-58, 161-62, 164, 260-261)
- Эксперимент (20)
- Эмпирического материала слой (Э) (20-21):
- ядро раздела науки (21, 23, 47)

## Литература

---

1. Алексеев И.С. Деятельностная концепция познания и реальности. Избранные труды по методологии физики. М.: РУССО, 1995.
2. Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. М.: Физматгиз, 1959.
3. Антология мировой философии в 4 тт. М.: Мысль, 1969-1972.
4. Арпинов В.И. Синергетика как феномен постнеклассической науки. М.: Наука, 1999.
5. Ахромеева Т.С., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г. Парадоксы мира нестационарных структур. М.: Знание, 1985. (Новое в жизни, науке, технике: Математика. Кибернетика, 5/1985).
6. Ахутин А. В. История принципов физического эксперимента (от античности до XVII в.). М.: Наука, 1976.
7. Баженов Л.Б. Строеение и функции естественно-научной теории. М.: Наука, 1978.
8. Барабашев Б.Н. Нестеренко В.В. Модель релятивистской струны в физике адронов. М.: Наука, 1987.
9. Барвинский А.О., Каменщик А.Ю., Пономарев В.Н. Фундаментальные проблемы интерпретации квантовой механики. Современный подход. М.: МГПИ, 1988.
10. Бауэр Э. Теоретическая биология. М., 1935.
11. Бергсон А. Длительность и одновременность. Пб.:Academia, 1923.
12. Берке У. Пространство-время, геометрия, космология. М.: Мир, 1985
13. Берков А.В., Кобзарев И.Ю. I. Теория тяготения Эйнштейна. Общие принципы и экспериментальные следствия. М.: МИФИ, 1989. II. Приложение теории тяготения Эйнштейна к астрофизике и космологии. М.: МИФИ, 1990.
14. Библер В.С. Кант <197> Галилей <197> Кант (разум Нового времени в парадоксах самообоснования). М.: Мысль, 1991; он же. Галилей и логика мышления Нового времени. В кн.: Механика и цивилизация XVII-XIX вв. М.: Наука, 1979.
15. Блауберг И.В., Юдин Э.Г. Становление и сущность системного подхода. М.: Наука, 1973.
16. Боголюбов Н.Н. Проблемы динамической теории в статистической физике. М.-Л.: Гостехиздат, 1946.
17. Больцман Л. Статьи и речи. М.: Наука, 1970.
18. Больцман Л. Избранные труды. М.: Наука, 1984.
19. Бом Д. Квантовая теория. М.: Наука, 1965.
20. Бор Н. Избранные научные труды. М.: Наука, 1971.
21. Борн М. Размышления и воспоминания физика. М.: Наука, 1977.

22. Брагинский В.Б. Гравитационно-волновая астрономия: новые методы измерений. // Успехи физич наук, 2000, т. 170, N 7, с. 743-752.
23. Бургин М.С., Кузнецов В.И. Системный анализ научной теории на основе концепции именованных множеств. В сб.: Системные исследования: Методологические проблемы: Ежегодник, 1985. М.: Наука, 1987.
24. Бэкон Ф. Сочинения в 2-х тт. Т.2. М.: Наука, 1972.
25. Вайнберг С. Первые три минуты. Современный взгляд на происхождение Вселенной. М.: Энергоиздат, 1981.
26. Ван-дер-Варден Б.Л. Пробуждающаяся наука. М.: Наука, 1959
27. Вернадский В.И. Философские мысли натуралиста. М.: Наука, 1988.
28. Вигнер Е. Этюды о симметрии. М.: Мир, 1971.
29. Визгин В.П. Эрлангенская программа в физике. М.: Наука, 1975.
30. Визгин В.П. Единые теории поля в 1-й трети XX в. М.: Наука, 1985.
31. Вихман Э. Квантовая физика. (Берклиевский курс физики. Т.4) М., 1977.
32. Вопросы причинности в квантовой механике. М.: Иностранная литература, 1955.
33. Гайденок П.П. Эволюция понятия науки. М.: Наука, 1980.
34. Гайденок П.П. Эволюция понятия науки (XUP - XUIII вв.). Формирование научных программ Нового времени. М.: Наука, 1987.
35. Галилео Галилей. Избранные труды. Т.II. М.: Наука, 1964.
36. Гейзенберг В. Физика и философия. Часть и целое. М.: Наука, 1989.
37. Гейзенберг В. что такое "понимание" в теоретической физике. Природа № 4 (1971)
38. Гельфер Я.М. История и методология термодинамики и статистической физики. М.: Высш. шк., 1981.
39. Гиббс Д.В. Основные принципы статистической механики... М.-Л.: Гостехиздат, 1946.
40. Гинзбург В.Л. УФН, т.116, с.5 (1975).
41. Гольденблат И.И. Парадоксы времени в релятивистской механике. М.: Наука, 1972.
42. Гравитация и относительность. М.: Мир, 1965.
43. Гриб А.А. Неравенства Белла и экспериментальная проверка квантовых корреляций на макроскопических расстояниях. //УФН, 1984, т.142, N 4, с. 619-34.
44. Григорьян А.Т., Зубов В.П. Очерки развития основных понятий механики. М.: Наука, 1962.

45. Грин М., Шварц Дж., Виттен Э. Теория суперструн. В 2 тт. М.: Мир, 1990; УФН, 1998, т.168, N1.
46. Де Бройль Луи . Останется ли квантовая механика индетерминистической? // Вопросы причинности в квантовой механике. М. : Иностр лит-ра, 1955, с. 11-33.
47. Де Бройль Л. По тропам науки. М.: Иностр. Лит., 1962.
48. Де Бройль Луи. Революция в физике (Новая физика и кванты). М.: Атомиздат, 1965.
49. Де Гроот С., Мазур П. Неравновесная термодинамика. М.: Мир, 1963.
50. Джеммер М. Эволюция понятий квантовой механики. М.: Наука, 1985.
51. Джеммер М. Понятие массы в классической и современной физике. М.: Прогресс, 1967.
52. Дикке Р. Об экспериментальном базисе общей теории относительности. В [42 , с. 49 -72]
53. Дирак П. Принципы квантовой механики. М.: Наука, 1979.
54. Дирак П. Воспоминания о необычайной эпохе. М.: Наука, 1990.
55. Жан-Мара Лен Супрамолекулярная химия. Концепции и перспективы. Новосибирск: Наука, 1998.
56. Жаров С.Н. В кн.: Естествознание: системность и динамика. М., 1990.
57. Займан Дж. Современная квантовая теория. М.: Мир, 1971.
58. Зельдович Я.Б. Теория вакуума, быть может, решает загадку космологии // УФН, т. 133, N3, с. 479-503 (1981)
59. Зиновьев А. Очерки комплексной логики. М.: Эдиториал УРСС, 2000
60. Зоркий П.М. Критический взгляд на основные понятия химии. Журнал Российского химического общества им. Д.И.Менделеева, 1996, том 40, No 3, стр.5-25 (см. также в Internet < <http://www.chem.msu.su:8081/rus/chemhist/>).
61. Идлис Г.М., Кузнецов В.И., Гутина В.Н. Естествознание. М.: Агар, 1996.
62. Илларионов С.В. Дискуссия Эйнштейна и Бора. - В кн.: Эйнштейн и философские проблемы физики XX в. М.: Наука, 1979.
63. История механики с древнейших времен до конца XVIII в. М.: Наука, 1971.
64. История механики с конца XVIII до середины XX в. М.: Наука, 1972.
65. Кадомцев Б.Б. "Динамика и информация". М.: Успехи физич. наук, 1997.
66. Капица С.П., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г. Синергетика и прогнозы будущего. М.: Наука, 1997; Капица С.П. Феноме-

нологическая теория роста населения Земли. //Успехи физич. наук, 1996, т. 166, N 1, с. 63-80,

67. Кассандров В.В. Алгебраическая структура пространства-времени и алгебродинамика. М.: Наука, 1992.

68. Карнап Р. Философские основания физики. М.: Прогресс, 1971.

69. Карпинская Р.С. Природа биологии и философия биологии. В кн.: Природа биологического познания. М.: Наука, 1991. С. 5-20. Ее же. Теория и эксперимент в биологии М., 1984.

70. Кирсанов В.С. Научная революция XVII века. М.: Наука, 1987.

71. Клиффорд В. О пространственной теории материи. // Сборник "Альберт Эйнштейн и теория гравитации". М.: Мир, 1978.

72. Клышко Д.Н. Квантовая оптика: квантовые, классические и метафизические аспекты. // УФН, 1994, т. 164, N 11, с.1187-1214.

73. Клышко Д.Н. Основные понятия квантовой физики с операциональной точки зрения. // УФН, 1998, т. 168, N 9, с.975-1015.

74. Клышко Д.Н., Липкин А.И. О "коллапсе волновой функции", "квантовой теории измерений" и "непонимаемости" квантовой механики // Электронный журнал "Исследовано в России", 53, стр 736-785, 2000 г. <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2000/053.pdf>

75. Клышко Д.Н. К теории и интерпретации эффекта "квантовой телепортации". ЖЭТФ, 1998, т. 114, вып.4 (10), с. 1171-87. Klyshko D.N. On the realization and interpretation of "quantum teleportation". // Physics letters. A 247 (1998), p. 261-266.

76. Клышко Д.Н., Евдокимов Н.В., Комолов В.П., Ярочкин В.А. Неравенства Белла и корреляции ЭПР-Бома: действующая классическая радиочастотная модель. // УФН, 1996, т. 166, N 1, с. 91-107.

77. Князева Е.Н., Курдюмов С.П. Законы эволюции и самоорганизации сложных систем. М.: Наука, 1994.

78. Кожевников А.Б. Романовская Т.Б. Квантовая терия. В кн.: Физика XIX-XX вв. в общенаучном и социокультурном контекстах. Физика XX века. и ее связь с другими разделами естествознания. М.: Янус-К, 1997, сс.56-85.

79. Козырев Н.А. Время как физическое явление. В кн.: Моделирование и прогнозирование в биоэкологии. Рига: ЛГУ, 1982. С. 50-72

80. Койре А. Очерки истории философской мысли. М.: Прогресс, 1985.

81. Конструкции времени в естествознании: на пути к пониманию феномена времени. Часть 1. Междисциплинарное исследование. М.: МГУ, 1996.

82. Конт О. Дух позитивной философии. СПб.: Вестник знания, 1910.
83. Копылов Г. О мифе научной истины. Кентавр. Методологический и игротехнический альманах. N 19 (май 1998). С. 44 <197> 52.
84. Кричевский И.Р. Понятия и основы термодинамики. М.Госхимиздат, 1962.
85. Крылов Н.С. Работы по обоснованию статистической механики. М.-Л: АН СССР, 1950.
86. Кудрявцев П.С. История физики. Т.1. М.: Учпедгиз, 1948.
87. Кузнецов И.В. Избранные труды по методологии физики. М.: Наука, 1975
88. Кузнецова О.В. Учение о теплоте в XIX веке: атомистика, термодинамика и статистическая механика. В кн.: Физика XIX-XX вв. в общенаучном и социокультурном контекстах. Физика XIX века. М.: "Наука", 1995, с. 117-193.
89. Кулаков Ю.И., Владимиров Ю.С., Карнаухов А.В. Введение в теорию физических структур и бинарную геометрофизику. М.: Архимед, 1992.
90. Кун Т. Структура научных революций. М.: Прогресс, 1977.
91. Курс физической химии" (под ред. Я.И.Герасимова) М., 1969.
92. Лакатос И. Фальсификация и методология научно-исследовательских программ. М.: Медиум, 1995.
93. Ландау Л.Д., Лифшиц И.М. Теоретическая физика в 10 тт. М.: Наука, 1965-1987.
94. Левич В.Г. Курс теоретической физики (в 2 тт.). М.: Наука, 1969.
95. Легgett А. Дж. Шредингеровская кошка и ее лабораторные сородичи. УФН, 1986, т.148, в.4, с.671-688.
96. Лежнева О.А. История домаксвелловской электродинамики. В кн.: Физика XIX-XX вв. в общенаучном и социокультурном контекстах. Физика XIX века. М.: "Наука", 1995, сс.194-220.
97. Лекторский В.А. Субъект, объект, познание. М.: Наука, 1980.
98. Ленин В.И. "Материализм и эмпириокритицизм". ПСС, изд.5-е, т.18. М.: Гос. изд-во полит. лит-ры, 1961
99. Линде А.Д. Физика элементарных частиц и инфляционная космология М.: Наука, 1990.
100. Липкин А.И. Акустические свойства магнитных жидкостей с агрегатами. // Магнитная гидродинамика. 1985, 3, с. 25-30.
101. Липкин А.И. (1992) Дырочный механизм температурной зависимости объема и скорости звука в жидкости.// Акустический журнал. Т.38, вып. 2, с. 317-23.

102. Липкин А.И. "Парадоксы" квантовой механики глазами "реалиста-эмпирика", "конструктивиста-эмпирика" и "конструктивиста-рационалиста" //Философия науки. 1996, N2, с. 199-217.

103. Липкин А. О месте физических моделей в современных физических концепциях пространства и времени. // Кентавр. Методологический и игротехнический альманах. N 19 (май 1998).

104. Липкин А. И., Печенкин А.А. "Конструктивный эмпиризм Б.С. ван Фраассена" //WEB-страница на HOME-page ИФ РАН: [www.iph.gas.ru/~mifs/Fraassen](http://www.iph.gas.ru/~mifs/Fraassen).

105. Липкин А.И. История философии науки: конструктивизм vs. Реализм. (пособие к курсу лекций для аспирантов МФТИ): <http://www.mipt.ru/Philosophy/Course/>

106. Липкин И.А. Учет релятивистских поправок при радиоизмерениях радиальной скорости и дальности (Методическая записка). М.: НИИП, 1983.

107. Логунов А.А. Теория классического гравитационного поля //УФН, 165 (2) 187-203 (1995).

108. Локк Джон. Сочинения в трех томах. М.: "Мысль", 1985.

109. Лоренц Г.А. Теория электронов и ее применение к явлениям света и теплового излучения. М.: Гостехиздат, 1953.

110. Максвелл Дж. К. Избранные сочинения по теории электромагнитного поля. М.: Гос. издат-во технич. лит-ры, 1952.

111. Максвелл Дж. К. Статьи и речи М.: Наука, 1968.

112. Мамчур Е.А. Проблемы социально-культурной детерминации научного знания. М.: Наука, 1987.

113. Мамчур Е.А., Овчинников Н.Ф., Огурцов А.П. Отечественная философия науки: предварительные итоги. М.: Наука, 1997.

114. Мандельштам Л.И. Лекции по оптике, теории относительности и квантовой механике. М.: Наука, 1972.

115. Мацке Р., Уиллер Дж. Гравитация как геометрия (I) геометрия пространства-времени и геометродинамический стандартный метр. В [41, с. 107 - 140].

116. Мах Э.. Познание и заблуждение Очерки по психологии исследования. М.: Изд. С.Скирмунта, 1909.

117. Мах Э.. Популярно-научные очерки. СПб.: Образование, 1909.

118. Мейен С.В. Понятие времени и типология объектов (на примере геологии и биологии). В кн.: Диалектика в науках о природе и человеке. Т.1, М. .: Наука, 1966.

119. Мейен С.В. Логико-методологические и теоретические стереотипы в биологии. В кн.: Природа биологического познания. М.: Наука, 1991. С. 21-23.

120. Менский Б М Квантовая механика: новые эксперименты, новые приложения и новые формулировки старых вопросов. УФН, 170 631 (2000)

121. Менцин Ю.Л. Теория электромагнитного поля: от Фарадея к Максвеллу. В кн.: Физика XIX-XX вв. в общенаучном и социокультурном контекстах. Физика XIX века. М.: "Наука", 1995, сс.251-279.

122. Методы научного познания и физика. М.: Наука, 1975.

123. Мизнер Ч., Уилер Дж. Классическая физика как геометрия. // Уилер Дж. "Гравитация, нейтрино и Вселенная" М., 1962.

124. Минковский Г. Пространство и время. - В кн.: Принцип относительности. Сб. работ по специальной теории относительности. М.: Атомиздат, 1973.

125. Молекулярная биология. Проблемы и перспективы. М.: Наука, 1964.

126. Московский синергетический форум, 27-31 января 1996. М.: ИФРАН, 1996.

127. Мякишев Г.Я. В кн.: Физическая теория. М.: Наука, 1980. С. 420-438.

128. На пути к теоретической биологии. Т.1. Прологомены. М., 1970

129. "Научный реализм" и проблемы эволюции научного знания. М.: Наука, 1984.

130. Нейман фон И. Математические основы квантовой механики. М.: Наука, 1964.

131. Никифоров А.Л. Философия науки: история и методология. М.: Дом интеллект. книги, 1998.

132. Ньютон И. Математические начала натуральной философии. М.: Наука, 1989.

133. Окунь Л.Б. Понятие массы (Масса, энергия, относительность). УФН, 1989, т.158, N 3, с.511.

134. Орир Дж. Популярная физика. М.: Мир, 1964.

135. Оствальд В. Несостоятельность научного материализма и его устранение.... СПб.: К.Л.Риккерт, 1896.

136. Пайс А. Научная деятельность и жизнь Альберта Эйнштейна. М.: Наука, 1989.

137. Панченко А.И. Логико-гносеологические проблемы квантовой физики. М.: Наука, 1981.

138. Печенкин А.А. Аксиоматическое обоснование в развитии физики // Вопросы истории естествознания и техники. 1984, N1, 25-33.

139. Печенкин А.А. Объяснение как проблема методологии естествознания. М.: Наука, 1989.

140. Планк М. Единство физической картины мира. Сб. ст. М.: Наука, 1966.

141. Позитивизм и наука. М.: Наука, 1975.

142. Полинг Л., Полинг П. Химия. М.: Мир, 1978.

143. Поппер К. Логика и рост научного знания. М.: Прогресс, 1983.
144. Поппер К. Квантовая теория и раскол в физике. Из "Постскриптума" к "Логике научного открытия" (пер. С англ., комм., и послесл. А.А.Печенкина) М.: Логос, 1998.
145. Пригожин И. От существующего к возникающему М.: Наука, 1985.
146. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. М.: Прогресс, 1986.
147. Пригожин И., Стенгерс И. Время, хаос, квант. М.: Прогресс, 1994.
148. Пригожин И. Переоткрытие времени. //ВФ. 1989, N8, с. 3-19.
149. Принцип относительности. Г.А.Лоренц, А.Пуанкаре, А.Эйнштейн, Г.Минковский. Сб. работ классиков релятивизма. Л.: ОНТИ, 1935.
150. Принцип соответствия. Исторически-методологический анализ. М.: Наука, 1979.
151. Проблемы исследования структуры науки. Новосибирск: НГУ, 1967.
152. Проблемы методологии постнеклассической науки. М.: ИФРАН, 1992.
153. Проблемы современной физики. Гравитационный парадокс. Замедление времени. Принцип Маха. (сб. Статей, составленный и прокомментированный О.А.Быковским) Алма-Ата: Гылым. 1995.
154. Пуанкаре А. О науке. М.: Наука, 1983.
155. Рейхенбах Г. Философия пространства и времени. М., 1985
156. Рейхенбах Г. Направление времени. М.: Иностр., лит., 1962.
157. Розин В.М. Специфика и формирование естественных, технических и гуманитарных наук. Красноярск: Красноярский ун-т, 1988.
158. Рузавин Г.И. Научная теория. Логико-методологический анализ. М.: Мысль, 1978.
159. Румер Ю.Б., Фет А.И. Теория унитарной симметрии. М., 1970.
160. Садбери А. Квантовая механика и физика элементарных частиц. М.: Мир, 1989..
161. Сарабьянов Д.В. Стиль модерн. Истоки, история, проблемы. М.: Искусство, 1989.
162. Седов Л.И. Механика сплошной среды. Тт. 1-2, М.: Наука, 1973.
163. Синергетическая парадигма. М.: Прогресс-Традиция, 2000.
164. Современная западная философия. Словарь. М.: Политич. лит-ра, 1991.

165. Современная философия науки. Хрестоматия. (составление, перевод, вступ. Статья и комм. А.А.Печенкина) М.: Наука, 1994.
166. Спасский Б.И., Московский А.В. О нелокальности в квантовой физике. УФН, 1984, т.142, N 4, с.599-632.
167. Спенсер Г. Основные начала. СПб.: Л.Ф.Пантелеев, 1899.
168. Степин В.С. Становление научной теории. Минск: БГУ, 1976.
169. Степин В.С. Философская антропология и философия науки. М.: Высш. шк., 1992.
170. Степин В.С. Становление идеалов и норм постнеклассической науки. // Проблемы методологии постнеклассической науки. М.: Наука, 1992.
171. Степин В.С. Теоретическое знание. М.: Прогресс-Традиция, 2000.
172. Теоретическое и эмпирическое в современном научном познании. М.: Наука, 1984.
173. Терентьев М.В. История эфира. М.: Фазис, 1999.
174. Тимофеев-Ресовский Н.В. Генетика, эволюция и теоретическая биология // Природа, 1980, № 9
175. Уизем Дж. Линейные и нелинейные волны. М.: Мир, 1977.
176. Уилл К. Теория и эксперимент в гравитационной физике. М.: Энергоиздат, 1985 (сокращенный вариант в кн.: Общая теория относительности. М.: Мир, 1983).
177. Фаддеев Л.Д., Якубовский О.А. Лекции по квантовой механике для студентов-математиков. Л., 1980.
178. Фарадей М. Экспериментальные исследования по электричеству. Тт. 1-3, М.: АН СССР, 1947 - 1959.
179. Фейерабенд П. Избранные труды по методологии науки. М.: Прогресс, 1986.
180. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Тт. 1-9. М.: Мир, 1965.
181. Фигуровский Н.А. Очерк общей истории химии. Т. I: От древнейших времен до начала XIX в.; Т. II: Развитие классической химии в XIX столетии. М., 1979.
182. Физика взрыва (под ред. Станюковича К.П.). М.: Наука, 1975. Гл.2.
183. Физическая теория: (Философско-методологический анализ). М.: Наука, 1980.
184. Физический энциклопедический словарь. М.: Сов.энциклопедия, 1983.
185. Фок В.А. Критика взглядов Бора на квантовую механику. // Философские вопросы современной физики. М.: Госполитиздат, 1958.
186. Франкфорт У.И., Френк А.М. У истоков квантовой теории. М.: Наука, 1975.
187. Хакен Г. Синергетика. М.: Мир, 1980.

188. Хакен Г. Синергетика. Иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах. М.: Мир, 1985.

189. Хакен Г. "Синергетике — 30 лет". Интервью с проф. Г.Хакеном // Вопросы философии, № 3, с.53 (2000).

190. Хакинг Ян. Представление и вмешательство. М.: Логос, 1998.

191. Хилл Т. Статистическая механика. М.: Иностран. лит., 1960.

192. Химическая энциклопедия. Т.1. М.: Сов энци., 1988.

193. Холтон Дж. Тематический анализ науки. М.: Прогресс, 1981.

194. Храмов Ю.А. Физики. Биографический справочник. М.: Наука, 1983.

195. Чайковский Ю.В. Элементы эволюционной диатропики. М.: Наука, 1990.

196. Черепашук А.М. Массы черных дыр в двойных системах. // УФН, 1996, т.166, N 8; Известия ВУЗов. Радиофизика, 1998, т.41, N2, с.129-143.

197. Черняк В.С. История. Логика. Наука. М.: Наука, 1986.

198. Швырев В.С. Теоретическое и эмпирическое в научном познании. М.: Наука, 1977. Он же. Научное познание как деятельность. М.: Политиздат, 1984.

199. Шифф Л. Квантовая механика. М.: Мир, 1959.

200. Шредингер Э. Новые пути в физике. Статьи и речи. М.: Наука, 1971.

201. Щедровицкий Г.П. Избранные труды. М.: Школа Культурной Политики, 1995; ДАН РСФСР, 1958, N 1, с. 63-66.

202. Эйнштейн А. Собрание научных трудов. М., Наука, 1987.

203. Эйнштейновский сборник, М.: Наука, 1974.

204. Эйнштейн А., Инфельд Л. Эволюция физики. М.: Наука, 1965.

205. Энгельгардт В.А. Интегрализм <197> путь от простого к сложному в познании явления жизни. М.: Наука, 1970.

206. Arminjon M. Accelerated Expansion as Predicted by an Ether Theory of Gravitation // Preprint gr-qc/9911057 v3: 07 June 2000.

207. Aspect A., Dalibard J., Roger G. Experimental Test of Bell's Inequalities Using Time-Varying Analyzers // Phys.Rev.Lett, 1982, v. 49, p.1804.

208. Ballentine L.E. Resource letter IQM-2: Foundations of Quantum Mechanics since the Bell Inequalities.// Amer. J. of Physics, 1987, v.55, No.9, p.785-92; The Statistical Interpretation of Quantum Mechanics. // Rev. Mod. Phys.,1970, v.42, p.358-381.

209. Ballentine L E Int. J. Theor. Phys. 27, 211 (1988)

210. Barrow J.D., Tipler F.J. The Antropic Cosmological Principle. Oxf., Clarendon press; N.Y.: Oxf. univ.press, 1986.

211. Beller M. The Sokal Hoax: At Whom Are We Laughing? // *Physics Today*, 1998, v. 51, September, p. 29-34.
212. Bennett C H, Brassard G, Crepeau C, Jozsa R, Peres A, and Wootters W K, *Phys. Rev. Lett.* 70, 1895 (1993).
213. Boschi D, Branca S, De Martini F, Hardy L, and Popescu S, *Phys. Rev. Lett.* 80 1121 (1998).
214. Bouwmeester D, Pan J.-W., Mattle K., Elbl M., Weinfurter H, Zeilinger A. Experimental quantum teleportation. // *Nature* 390, 575 (1997).
215. Braginsky V.B., Khalili F.Ya. *Quantum Measurement*. Cambridge Univ.Press, 1992.
216. Braunstein S L and Mann A, Measurement of the Bell operator and quantum teleportation. *Phys. Rev. A* 51, R1727 (1995); 53 630(E) (1996); Braunstein S L and Kimble H J Teleportation of Continuous Quantum Variables. *Phys. Rev. Lett.* 80, 869 (1998).
217. Cirac J I and Parkins A S, Schemes for atomic-state teleportation. *Phys. Rev. A* 50, R4441 (1994).
218. Compton A H, Simon A.W. Directed Quanta of Scattered X-rays. *Phys.Rev.*, 26 289 (1925)
219. *Current Development of Biophysics Hangzhou: Hangzhou Univ. Press (1996)*
220. Dalton J. *New System of Chemical Philosophy*. N.Y.? 1963.
221. Davidovich L, Zagury N, Brune M, Raimond J M, and Haroche S., *Phys. Rev. A* 50, R895 (1994).
222. DeWitt B.S. Quantum mechanics and reality. // *Physics Today*, 1970, v.23, N 9, p. 30-35; 1971, v.24, N 4, p.36.
223. Dunn T J, Walmsley I A, Mukamel S, *Phys. Rev. Lett.* 74 884 (1995).
224. Einstein A. In: *Albert Einstein: Philosopher-Scientist (Evanston, 1949)*
225. *Fundamental Problems in quantum theory: A Conference Held in Honor of Prof. John A. Wheeler // Annals of the New York Ac. Of Sci., vol. 755. N.Y.1995.*
226. *Grosserbauer Fresenius Journal of Analytical Chem. 1997, v. 357, N 2, p. 133*
227. Harre R. *Varieties of Realism*. Oxf. 1986.
228. Heitler W. The Departure of Classical Thought in modern Physics. In: *Albert Einstein: Philosopher-Scientist. Evanston, 1949. P.194.*
229. Home D, Whitaker M A B Interpretations of Quantum Measurement without the Collapse Postulate. *Phys. Lett. A* 128, 1 (1988)
230. Hutten E.H. The Role of Models in Physics // *British J. for the Phil of Sci*, 1953-54, 4, 285-301.
231. *Images of Science: Essays on realism and empiricism with a reply from Bas C. van Fraassen. (Churchland and Hooker (ed-s) Chicago,1985.*

232. Jammer M., Concepts of force. A study in foundations of dynamics. Cambridge (Mass.): Harvard univ. press., 1957.
233. Klyshko D.N. Reduction of the wave function: an operational approach. // Physics letters. A 243 (1997), p. 179-186.
234. Koch H.W. An Age of Change // Physics today, 1970, v.23 N 1, p.27.
235. Kopylov G. The Engineering World of Chemistry: an Outline of the Research Program. - In: Ars mutandi: issues on philosophy and history of chemistry. Nikos Psarros and Kostas Gavroglu (ed.) - Leipzig, 1999, pp. 51-64.
236. Kurtsiefer Ch, Pfau T, Mlynek J, Measurement of the Wigner function of an ensemble of helium atoms. Nature 386/13 150 (1997).
237. Lamoreaux S. Demonstration of the Casimir Force in the 0.6 to 6  $\mu$  Range. Phys Rev Lett, 78, p. 5 (1997)
238. Marchal C. Relativity, cosmos and experiments // XXIII International Workshop on the Fundamental Problems of High Energy Physics and Field Theory 21-23 June 2000, Prorvino, Russia.(Abstract)
239. Margenau H. Philosophical Problems Concerning the Meaning of Measurement in Physics. In: Measurement.Definitions and Theories. N.Y., L., 1959, pp.163-176.
240. Margenau H. Measurement in Quantum Mechanics. Ann. Phys. (N.Y.) 23, 469 (1963)
241. McKinsey J.C.C., Sugar K.C., Suppes P. Axiomatic foundation of classical particle mechanics. // J. Of Rational Mechanics and Analysis. 1953, v.2, p. 253-72.
242. Mills R., Gauge fields. // Amer. J.Phys., 1989, v. 57, N 6.
243. Namiki M, Pascazio S, in Fundamental Problems in Quantum Theory (Eds. D M Greenberger, A Zeilinger) (Ann. N.Y. Acad. Sci. 755, 1995)], p. 335; Phys. Rev. A 44, 39 (1993)
244. Nagel E. 1961 The structure of Science N.Y., 1961 (pp. 90-117)
245. Penrose, R. Shadows of the Mind, (London, Oxford Press, 1994)
246. Peres A. What is a state vector?// Amer. J. of Physics, 1984, v.52, p.644-50.
247. Quantum mechanics without reduction (Eds. M Sini, J Levy-Leblond ) (Bristol: Hilger, 1990).
248. Realism , naturalism and symbolism: Modes of thought and expression in Europe, 1848-1914. N.Y.,1968.
249. Sheldrake A.R. A New Science of Life. The Hypothesis of Formative Causation. L., 1985.
250. Stapp H.P. The Copengagen Interpretation. // Amer. J. of Physics, 1972, v.40, p.1098-1116.
251. Stegmuller W. The Strucruralist View of Theories. Berlin, N.Y. , 1979.

252. Suppes P. What is a Scientific theory? // Philosophy of Science Today. N.Y.: Basic books.1967. P.55-67.

253. Suppes P. Studies in the Methodology and Foundations of Sciences (Selected papers from 1951 to 1969).

254. Suppes P. The Search for Philosophic Understanding of Scientific Theories. In: The Structure of Scientific Theories (Edited with a Critical Introduction by Frederick Suppe)Urbana, Chicago, London, 1974

255. Tian Yu Cao. Conceptual Development of 20th Century Field Theories (Cambr.,1997).

256. Van Fraassen Bas C. An Introduction to the Philosophy of Time and Space. N.Y., 1970.

257. Van Fraassen Bas C. The Scientific Image . Oxf, 1980.

258. Van Fraassen Bas C. Quantum mechanics. An Empiricist View. Oxf., 1991, 1995.

259. Wheeler J.A., Feynmann R.P. Interaction with the Absorber as Mechanism of Radiation. Reviews of Modern Physics, 1945, v. 17 [2-3], p.157.

260. Wheeler J.A. Include the Observer in the Wave Function? In: Quantum mechanics a half century later. Dordrecht, 1977, p. 1-18.

261. Weinfurter H, Experimental Bell-State Analysis. Europhys. Lett. 25, 559 (1994).

262. Wigner E.P. The Problem of Measurement. Amer. J. of Physics, 1963, v.31, p.6.

Lipkine A.I. (<http://www.beep.ru/~lipkin/indexengl.htm>)  
"Modern science (the Model View)". Moscow, Vusovskaia  
Kniga, 2001.

In this book a new integral view of science is represented. The main part of the book is devoted to physics, which is the leader and sample for other sciences. The physics is defined there not through its subject and laws, but through types of models which it uses. There are the model of motion as a transition in time from one state of physical system to another and two base models: a Newton model of particles in vacuum and forces, and Descartes and Euler model of continuous fluid (the models of field and wave are derived from it).

This model view of physics permits to give the fundamental ideas of all main branches of physics profoundly but almost without formula and complicated mathematics. Thus this book isn't very easy but is sufficient popular for humanitarians.

This view is based on author's concepts of 'primary ideal objects' (PIO), on which physical models are based, and 'nucleus of a branch of science' (NBS), which defines the PIO (PIO and NBP play in physics roles similar to the ones of points, lines and system of axioms in geometry). The PIOs are defined implicitly and conjointly (in common) with other base concepts in NBR. There is a new ensemble of known things. The attempt is made to do the work the same way D.Hilbert's has done on the foundations of geometry in the end of the 19th c.. We show that the development of physics itself is directed by Euclidean geometry as an example of theory and engineer relation to empirical material, rather than on Bacon empirical method. Our "model view" principally differs from different variants of empiricism through which modern philosophers and scientists look on natural science usually.

The first step to it was made by G. Galilei. Then in classical mechanics was created the main structure of nuclear of branch of physics (NBS) which is kept till now. The secret of our approach consists in finding this common structure for all branches of physics on the model level. The branch of science (not a theory or science dicipline) is our unit of analisis.

The NBS has theoretical and empirical parts. The main elements of the theoretical part, which has mathematical and model strata, are the physical system (consisted of PIO) and its states. Empirical part has preparatory and measurement parts. The main elements of the latter are standards and procedures of comparison with them.

Branches of physics (classical and quantum mechanics, electrodynamics, ...) differ by substance filling of these mutually connected concepts: physical system, its states, their mathematical images, equation of motion, standards and procedures of measurement and preparing. Sciences (physics, synergetic, chemistry) differ by the main structure of theoretical part.

We differ two consecutive phases in development of science. The first phase (the most interesting for us) is the phase of creation (C) of the new "primary ideal objects" and, accordingly, new branch of science. The second (all empiricists and others work only with this one) is the phase of use (U) of the created "primary ideal objects" for modeling - explanation of various natural phenomena and building a picture of Universe.

This sufficiently complicated system of concepts is introduced on simple material of classical physics. After it the modern physics looks sufficiently simple even for nonphysicists.

A special attention is given to quantum mechanics and its "paradoxes". Our integral view on physics allows to illuminate many obscure questions of quantum mechanics. Instead of "interpretations" of quantum mechanics this approach introduces the physical model of quantum particle - the main PIO of quantum mechanics. It is made by setting in a certain order the postulates of Schroedinger, Born, Bohr, by separation of procedures of preparing and measuring of states of physical system from the theoretical part, by a redefinition of the state of quantum system based strictly on Bohr's postulates. We single out the method of "starting classical system" (close to Bohr's method of quantization) which is widely used in physics of XX century. We show that the quantum mechanics with which physicists work has a clear system of postulates and no "paradoxes". The latter are the result of inadequate philosophical position of philosophizing physicists.

There are some nontrivial suggestions about Theory of Relativity, Synergetic and I. Prigogin's statements, Chemistry and even Biology in the book. In the end we introduce our "Galilee" "constructive rationalism" and show its place in philosophy of science.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	3
1. Наука в контексте истории культуры . . . . .	10
2. "Галилеевская" модель естественной науки и "модельный подход" . . . . .	17
2.1. От геометрии Евклида к естественной науке Галилея. "Модельный подход" (основные понятия) . . .	17
2.2. О месте "модельного подхода" в философии науки . . .	32
2.3. О месте моделей в физике (спор с Л.И.Мандельштамом) . . . . .	38
3. Структура раздела физики. Классическая механика Ньютона . . . . .	46
3.1. Описание движения и структура "ядра раздела науки" в физике . . . . .	46
3.2. Механика Ньютона. Модель частицы в пустоте и силы . . . . .	54
4. Формирование континуальной модели: среда, волны, поле . . . . .	60
4.1. Гидродинамика: модель непрерывной среды . . . . .	60
4.2. Волны . . . . .	64
4.3. Электродинамика - модель поля . . . . .	67
5. Создание теории относительности (ТО) . . . . .	83
5.1. Специальная теория относительности(СТО) . . . . .	83
5.2. Общая теория относительности (ОТО) и другие релятивистские теории гравитации . . . . .	94
5.3. Современная космология — пример использования существующих ПИО . . . . .	104
5.4. Сценарий "Большого взрыва" . . . . .	105
5.5. Программы "геометризации" . . . . .	110
6. Микромир - квантовая частица . . . . .	113
6.1. Парадокс "волна-частица" . . . . .	116
6.2. Постулаты Шредингера и Борна . . . . .	121
6.3. "Дополнительность" и "принципы" "дополнительности" и "неопределенности" . . . . .	126
6.4. Метод "затравочной классической модели" в квантовой механике (постулаты Бора) . . . . .	132

6.5. Что такое "понимание" в физике? . . . . .	137
6.6. Миф о коллапсе волновой функции. Анализ основных утверждений . . . . .	141
6.7. Мифы о квантовом измерении . . . . .	152
6.8. ЭПР-парадокс и "копенгагенские" интерпретации квантовой механики . . . . .	156
6.9. Некоторые особенности многочастичных квантовых систем . . . . .	163
7. Микромир — элементарные частицы . . . . .	166
7.1. "Химическая" модель . . . . .	166
7.2. "Спектроскопическая" модель . . . . .	169
7.3. Модель квантовой электродинамики (КЭД) и "виртуальные частицы" . . . . .	171
7.4. Модель квантовой теории поля (КТП) . . . . .	178
8. Термодинамика — статистическая физика - синергетика . . . . .	183
8.1. Термодинамика . . . . .	183
8.2. Статистическая физика как микроскопическая модель термодинамики . . . . .	194
8.3. Синергетика как естественная наука . . . . .	203
8.4. "Физика неравновесных процессов" И. Пригожина . . . . .	214
9. Основные понятия химии . . . . .	223
9.1. Химия Лавуазье и Дальтона . . . . .	224
9.2. Химия XX в . . . . .	232
10. Несколько слов о биологии . . . . .	236
11. "Конструктивный рационализм" в контексте истории философии науки . . . . .	240
11.1. Философия науки Нового времени . . . . .	240
11.2. Позитивизм . . . . .	243
11.3. Постпозитивизм . . . . .	251
11.4. "Галилеевский" "конструктивный рационализм" . . . . .	262
Заключение . . . . .	268
Философские комментарии . . . . .	270
Приложение I: О преимуществах разделов физики. . . . .	279
Краткий предметный указатель . . . . .	281
Литература . . . . .	283
Abstract. . . . .	296

**ЛИПКИН Аркадий Исакович**

**ОСНОВАНИЯ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ.  
Модельный взгляд на физику, синергетику, химию**

Под редакцией автора  
Компьютерная верстка *О.Г. Лаврова*

---

Лицензия на издательскую деятельность ЛП № 071370 от 30.12.1996 г.  
Сдано в набор 10.12.2000. Подписано в печать 19.04.2001.  
Печать офсетная. Формат 60 × 84 1/16.  
Печ.л. 18,75. Тираж 1000.

---

Издательство «Вузовская книга»  
125871, Москва, Волоколамское шоссе, д. 4  
Тел./факс 158-02-35  
E-mail: vbook@mail.ru

Отпечатано ООО "Связь-Принт" в типографии "Радио и связь",  
103473 Москва, 2-й Щемилёвский пер., 4/5