

На правах рукописи.

ДИШКАНТ Г. П.

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ЛОГИКЕ
ФИЗИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ

(09.627 — философские вопросы естествознания)

Диссертация написана на русском языке

А в т о р е ф е р а т
диссертации, представленной на соискание ученой степени
доктора философских наук

МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ РСФСР
МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
им. В.И.ЛЕНИНА

На правах рукописи

ДЫШКАНТ Г.П.

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ЛОГИКЕ ФИЗИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ

Диссертация написана на русском языке

/09.627. Философские вопросы естествознания/

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени доктора философских наук

Работа выполнена в Днепропетровском ордена Трудового Красного Знамени государственном университете имени 300-летия воссоединения Украины с Россией.

Официальные оппоненты:

доктор философских наук, профессор А.И.УЕЛОВ,
доктор философских наук, профессор Э.М.ЧУДИНОВ,
доктор физико-математических наук Н.П.КЛЕШИНКОВ.

Ведущее научно-исследовательское учреждение -
Институт философии АН СССР, Сектор философских вопросов
физики.

Автореферат разослан

1972 года.

Защита диссертации состоится
года на заседании Совета по присуждению ученых степеней
по философским наукам Московского ордена Трудового Крас-
ного Знамени государственного педагогического института
имени В.И.Ленина по адресу: М.Пироговская ул., 29,
аудитория №

Отзывы направлять по адресу: Москва, Г-435, М.Пи-
роговская, 1, МПШ им. В.И.Ленина, научная часть.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
Института.

УЧЕНЫМ СЕКРЕТАРЬ СОВЕТА

Наше время характеризуется небывалым ростом науки. Конкретные науки накопили огромное количество фактов и законов, приемов и методов исследования.

Человечество находится в таком положении, когда не так уж важно еще увеличить количественно запас решенных наукой конкретных вопросов. Пожалуй, значительно важнее сейчас установить общие законы, законы научного познания, помогающие решить любую конкретно-научную проблему. Наука, устанавливающая эти общие законы, есть раздел философии, называемый логикой научного познания.

Специфика современного состояния наук состоит в том, что преимущественное развитие получают точные, математические методы. Процесс математизации охватывает сейчас даже гуманитарные науки, где раньше безраздельно господствовал описательный метод. Это делает особенно актуальным анализ именно точного знания.

В целях углубления анализа целесообразно ограничить область исследования.

Темой диссертации является логическое исследование физических теорий. При этом ставилась задача — получить предварительные практически значимые результаты как конкретное предомление общих законов и категорий диалектического материализма в рассматриваемой области, а также дать научный анализ методологии исследований в этой области.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и двух приложений, в которых собраны математические вопросы.

Во введении обосновывается выбор предмета исследования. Для изучения необходимо выбрать зрелый объект (анатомия человека дает ключ к анатомии обезьяны) и, для начала, простейший. Физическая теория как раз представляет собой простейшую часть и притом одну из наиболее зрелых частей современной точной науки.

Разработка логики физической теории, будучи философской проблемой, важна также и для конкретных наук, в частности, для кибернетики и для физики. Без логического анализа научных теорий невозможно создание сколько-нибудь совершенных информационных машин, хранящих и перерабатывающих научную информацию. Логический анализ физических теорий может облегчить также решение некоторых задач физики - таких как создание интерпретации квантовой механики, обоснование статистической физики, исключение бесконечностей из теории квантовых полей и т.д.

Выделяются две главные теоретические предпосылки исследований, проведенных в диссертации. Во-первых, теория познания и диалектическая логика, освобожденные от метафизического способа изложения и рассматриваемые как одна из сторон диалектического материализма. Во-вторых, метаматематика, выступающая как пример логического исследования, хотя и весьма специфический пример.

Главным идейным противником выступает современный логический позитивизм. Ввиду того, что позитивизму почти ничего не удалось открыть практически важного при анализе физических теорий, диссертант в каждом случае обращался непо-

средственно к изучению тех конкретных теорий, на результатах которых позитивизм паразитирует. Учет искажающих истин, но часто глубоких мыслей позитивистов может быть осуществлен лишь на следующем этапе исследования.

Методом изучения физической теории на данном этапе не может являться метод восхождения от абстрактного к конкретному, ибо этот метод требует предварительного выделения основной "клеточки" изучаемого объекта. В настоящее время нет такого объекта, относительно которого было бы строго доказано, что он является "клеточкой" физической теории. С другой стороны, методом изучения не может быть и голый эмпирически-индуктивный метод, ибо логика физической теории создается не на пустом месте.

На данном этапе предварительного изучения физических теорий оказалось целесообразным применение сложного двустороннего движения познания по треугольнику, вершинами которого являются эмпирически-конкретное (существующие физические теории) с одной стороны, абстрактно-всеобщее (категории и законы диалектики) - с другой стороны и результаты конкретных смежных наук (в первую очередь - метаматематики) - с третьей.

х х

х

Первая глава диссертации посвящена применению диалектики для выяснения структуры физической теории. Сначала физическая теория анализируется в свете закона единства и борьбы противоположностей, взятого в его гносеологи-

ческом аспекте¹⁾. Согласно этому закону, познание исходит из внутренне противоречивых объектов природы. Однако оно устроено так, что не может сразу отобразить противоречия. Для познания противоречия необходимо разорвать имеющиеся в природе связи, изолировать противостоящие друг другу стороны. Но познание не заканчивается на этом. Идя далее, познание вновь соединяет разъединенные ранее стороны и приходит к отражению первоначального объекта вновь во всей его целостности. Описанный путь познания своеобразно отражается и в синхронном срезе науки. Отражается так же точно, как исторический процесс возникновения биологических видов своеобразно отражается в многообразии сосуществующих видов.

В соответствии со сказанным во всякой физической теории можно различить аппарат, представляющий собою совокупность важнейших понятий теории, связанных основными уравнениями данной теории. Этот аппарат соответствует познанию объекта теории на уровне выделения абстрактных признаков и установления взаимосвязей этих признаков. Кроме аппарата, физическая теория должна иметь также эмпирическую часть, т.е. ту часть, в которой устанавливается связь аппарата теории с природой. Наконец, теория должна иметь интерпретацию. Под интерпретацией мы разумеем описание мысленного образа объекта природы как некоторого единства и соотношения этого образа с абстрактными признаками, фигурирующими в аппарате теории.

1) Б.М.Кедров, Единство диалектики, логики и теории познания, ГИПЛ, 1963.

Дальнейшее рассмотрение эмпирической части теории в свете закона движения познания от живого созерцания к абстрактному мышлению и от него к практике, позволяет выделить вывод теории как превращенный в логический исторический процесс рождения теории и прикладную часть, содержащую приложения готовой теории к практике.

Вышеизложенные понятия иллюстрируются на примере механики, взятой в форме Гамильтона-Якоби.

Далее естественно перейти к анализу структуры простейшего физического суждения, - т.е. того "кирпича", из которого строится теория. Рассматривается суждение типа "масса тела равна 5 кг". Анализ показывает, что субъектом этого высказывания является число 5, а предикатом "быть равным массе тела". Такой вывод представляется странным, ибо в русском предложении, являющемся записью этого суждения, в качестве подлежащего выступает не слово "пять", а слово "масса". Однако, это легко объясняется тем, что естественный язык идет не от существенного, а от характерного, часто идет не от сущности, а от явления. Этим и обусловлено несовпадение подлежащего предложения и субъекта суждения. Заметим, что приведенный результат получает окончательное подтверждение в третьей главе, после построения и анализа формальных систем физических теорий.

Все сказанное касается лишь внутренней структуры суждения, т.е. такой, которая проявляется уже внутри аппарата физической теории. Анализ суждения в более широком контексте позволяет выделить предмет и субъект суждения как его

аспекты, принадлежащие соответственно к объективной природе и ее отображению.

После непосредственного анализа физической теории методами диалектики естественно обратиться к использованию результатов, полученных в смежной области — метаматематике. При этом необходимо сначала выяснить сущность метода метаматематики, т.е. поднять этот метод до частного метода диалектической логики. После этого остается применить обнаруженный таким образом и уже использованный в области метаматематики метод к изучению физической теории.

Метод метаматематики состоит в использовании математики при изучении математических теорий. Необходимо поэтому выяснить сущность применения математики вообще. Иными словами, надо выяснить, что является предметом математики. Автор исходит из определения Энгельса, развитого А.Д.Александровым. Согласно этому определению¹⁾, предметом математики являются формы и отношения реального мира, отвлеченные от содержания. Это определение в целом является правильным. Однако оно не выявляет сущности предмета математики, оно просто перечисляет две области, охватывающие предмет математики. При отвлечении от содержания мы всегда получаем форму. Значит отношение, отвлеченное от содержания, есть лишь форма отношения. Ввиду этого определение представляется плохо сформулированным, ибо если математика изучает формы, то излишне напоминать, что она изучает и формы отношений.

1) А.Д.Александров, Математика, философская энциклопедия, том 3, Изд.Сов.Энциклопедия, 1964.

Отсюда следует, что в качестве адекватного определения предмета математики можно взять: формы, отвлеченные от содержания. Формы, которые можно полностью отвлечь от содержания, являются математическими.

Сущность применения математики, таким образом, состоит в обнаружении, опознании в изучаемых объектах математической формы. Естественно, что многообразие форм относительно беднее многообразия содержания. Поэтому формы, взятые сами по себе, могут быть относительно более полно изучены. Следовательно, обнаруживая форму, т.е. применяя математику, мы одновременно переносим на данный объект весьма глубокие свойства этой формы, изученные в математике. Таким образом, здесь обнаруживается своеобразная объективная диалектика: форма есть нечто второстепенное и в то же время метод изучения через форму чрезвычайно плодотворен.

Выявив сущность математизированного знания вообще, обращаемся к анализу физики, как науки, отражающей объективную реальность. Наличие в природе содержания, облеченного в математическую форму, приводит к тому, что в аппарате физической теории наличествуют две стороны: некоторая совокупность физических понятий и соотношений между ними и математический аппарат. Эти две стороны представляют собой также содержание и форму аппарата физической теории, выступающие как отражение соответственно содержания и формы природных объектов. Необходимо отметить, что совокупность понятий и законов сама по себе не составляет еще аппарата физической теории, то же касается математического аппарата

теории по той простой причине, что любая математическая теория ничего не говорит о физических объектах. Сущность аппарата физической теории состоит в самой соотнесенности некоторого содержания — системы физических понятий — с некоторой математической формой — основными уравнениями данной теории. Так, например, сущность теории электромагнитного поля не заключается в самом по себе понятии электромагнитного поля. Не заключается эта сущность и в какой-либо системе дифференциальных уравнений с частными производными. Сущность теории электромагнитного поля состоит в соотнесенности этих двух частей. В установлении этой соотнесенности и состоит заслуга Максвелла.

Аналогично обнаруживаются форма и содержание физического суждения, выступающие как отражение формы и содержания природного объекта, являющегося предметом данного суждения.

Теперь встает вопрос о применении выделенных категорий содержания и математической формы к логическому анализу физики, взятой самой по себе, как идеальный объект. При выбранном нами методе изучения движение познания идет здесь от абстрактных категорий к эмпирически-конкретному. Результатом движения является установление конкретного отображения, мысленной копии. Этот метод является своеобразным "ослабленным" вариантом общего метода восхождения от абстрактного к конкретному, впервые примененного Марксом в "Капитале". Отличие нашего метода от Марксова состоит в том, что последний имеет своим исходным пунктом абстракцию, вы-

ражающую сущность исследуемого предмета. Наш же метод имеет исходным пунктом общие абстрактные категории диалектики. Ввиду указанной особенности принятого в диссертации метода необходимо помнить, что при его применении движение мысли от абстрактного к конкретному должно дублироваться обратным процессом восхождения от конкретного. Это дублирование состоит в учете специфики изучаемого объекта, установление которой и есть первый шаг анализа.

Все логическое есть историческое, освобожденное от случайностей. Это освобождение от случайностей никогда не может быть полным. Отсюда следует, что логический объект никогда не дан в чистом виде. Более того, допустимо и целесообразно производить дополнительное очищение логического объекта в процессе его изучения. Этим логический объект отличается от всех других объектов, ибо последние не зависят от того, как глубоко они изучены.

В результате изучения любого объекта, в том числе и логического, мы получаем в конечном счете мысленное отражение, некоторую мысленную копию этого объекта. Но специфика логического объекта состоит в том, что сам он является отражением некоторой реальности. Его мысленное отражение является поэтому двукратным отражением реальности. Но всегда возможно рассматривать это двукратное отражение как прямое, однократное.

Особый интерес представляет тот случай, когда изучение логического объекта совершается с помощью точных математических методов. При этом в логическом объекте опозна-

ется математическая форма. Чтобы обнаружить эту математическую форму необходимо разорвать существующие естественные связи ее с содержанием, упростить и огрубить действительность. Дальнейшие действия - создание мысленного отображения и понижение порядка отображения - компенсируют друг друга. Окончательный эффект изучения логического объекта сводится лишь к превращению формы в математическую с последующим соотношением уже этой огрубленной формы со старым содержанием. Этим путем и получается формальная система логического объекта.

Одним из естественных выводов описанной концепции является следующий: формализуема та часть науки, которая может быть изучена точными математическими методами. Подчеркнем, что математизируемой должна быть не конкретная часть науки, а теория, изучающая эту часть науки, т.е. метатеория.

Позитивисты иногда отождествляют буквенную формальную систему и язык. Следует учитывать, что формальная система получается от своеобразного слияния языка и конкретно-научной теории. Отождествление ее с языком основано на забвении другой стороны ее природы. Кроме того, язык, рассматриваемый как речь, имеет материального (звукового) носителя. Носителем же формальной системы являются системы абстрактных букв, т.е. - математические объекты, представляющие собой лишь формы материального, отвлеченные от содержания.

В диссертации излагается также авторская концепция

сущности формальной логики, хотя принятие этой концепции и не является необходимым для обоснования основных результатов диссертации. В этой концепции формальная логика представляет собой совокупность математизированных разделов логики. Дается также критика альтернативных точек зрения.

х х

х

В т о р а я г л а в а диссертации посвящена логическим и эпистемологическим проблемам интерпретации квантовой теории. Актуальность этой проблемы связана также с тем, что идеализм и по сей день охотно использует встающие здесь действительно серьезные трудности.

Квантовая теория существует как логически замкнутая уже около 40 лет. Однако до сих пор отсутствует важнейший ее раздел — интерпретация. Во избежание недоразумений, подчеркнем, что мы имеем в виду интерпретацию в смысле, указанном выше, в которой фигурирует мысленная копия, являющаяся целостным отображением реальности. Тот же раздел квантовой теории, который обычно называется интерпретацией волновой функции по Борну, представляет собой, конечно, интерпретацию основных понятий квантовой теории, но не в терминах целостного образа микрообъекта, а в терминах явлений. Борновская интерпретация, если ее рассмотреть в связи с общей схемой движения познания от объекта, через изучение отдельных его сторон к мысленному образу целостного объекта, соответствует возвращению познания от фикса-

ции отдельных сторон объекта к самому объекту, взятому на уровне явления.

Отсутствие интерпретации квантовой теории делает особо актуальным, но и особо важным изучение средствами логики и теории познания возможного вида этой интерпретации.

Основным гносеологическим вопросом, который можно поставить в связи с дискуссией в области философских вопросов квантовой теории, является следующий: существует ли микрообъект реально. Быть материалистом — значит ответить на этот вопрос утвердительно.

При всей банальности поставленного только что вопроса ответ оказывается далеко не тривиальным для квантовой теории. Можно отметить по крайней мере две причины этого. Одной из причин является тот факт, что основное понятие квантовой теории — понятие волновой функции имеет смысл только в том случае, когда над микрообъектом произведено макроскопическое наблюдение. Отсюда можно сделать поспешный вывод, что поскольку в квантовой теории фигурирует всегда совокупность микрообъекта и макроприбора, то микрообъект и не существует без макроприбора. Чтобы преодолеть эту трудность, надо учесть, что макроприборы можно менять, выбирать произвольно при одном и том же микрообъекте. Существование последнего необходимо для самой возможности осуществления наблюдений.

Другой причиной является сложность самих микрообъектов, изучаемых в настоящее время квантовой теорией. Число частиц, составляющих микрообъект, большей частью является

неопределенным, и микрообъект находится во взаимодействии с окружающим его вакуумом. Нужно однако отметить, что с точки зрения квантовой теории весь сложный микрообъект все равно характеризуется одной волновой функцией и поэтому в принципиальном отношении не отличается от простого.

В связи с поставленным вопросом представляет интерес точка зрения академика В.А.Фока¹⁾, известного своими глубокими исследованиями в области принципиальных вопросов квантовой теории. Она сводится к следующему. Пока над микрообъектом не произведено измерение, он существует лишь в виде возможности. Когда же измерение выполнено, возможность переходит в действительность, микрообъект существует в действительности. Эта точка зрения содержит недомолвку. Следует поставить вопрос: объективна ли указанная возможность. Если да, то существует некоторый объект, в недрах которого эта возможность заложена. Вот этот-то объект и будет тогда микрообъектом в нашем понимании, которое в этом пункте отлично от концепции В.А.Фока.

Анализируется также точка зрения А.Эйнштейна²⁾, сводящаяся по существу к двум утверждениям: а) микрообъект существует объективно и б) природа микрообъекта не может быть статистической. Первое положение, будучи философским,

1) В.А.Фок, Об интерпретации квантовой механики, Успехи физических наук, 62, вып.4, 1957, стр.468.

2) А.Эйнштейн, Б.Подольский, Н.Розен, Можно ли считать, что квантовомеханическое описание физической реальности является полным? Успехи физических наук, 16, вып.4, 1936.

безусловно правильно. Второе является конкретно-физическим. Его истинность может быть установлена только дальнейшим развитием физики; при современном ее состоянии это положение представляется сомнительным.

Признав объективность микрообъектов, следует поставить второй вопрос: познаваем ли микрообъект, т.е. может ли быть создан образ, модель, мысленная копия микрообъекта. Следует подчеркнуть, что мы ставим философский вопрос о существовании мысленной копии, а не модели в смысле классической механики, как предлагает, например, Детуш¹⁾. Очевидно, на этот вопрос также должен быть дан положительный ответ. Индивидуальное состояние микрообъекта мы обозначим буквой α . α может пробегать некоторое абстрактное множество значений.

В связи с поставленным нами вторым вопросом представляет интерес точка зрения Н.Бора²⁾. Согласно этой точке зрения микрообъект существует реально. Однако, он не может быть отражен в теории сам по себе. Описана может быть лишь система: микрообъект плюс макроприбор. Выходит, что существуют такие объекты, которые сами по себе не могут быть отражены в сознании. Это агностическая позиция. Н.Бор подчеркивал также, что описание микрообъектов может быть дано лишь в классических (неквантовых) понятиях. При таком опи-

1) J.-L. Destouches, Sur la notion de modele en microphysique, Synthèse, 12, N 2-3, 1960.

2) Н.Бор, Атомная физика и человеческое познание, ИЛ, 1961.

сании всегда освещается лишь одна сторона микрообъекта (например, пространственно-временная, или причинная), противоположная же остается в тени. Если обратиться к общей схеме пути познания, очерченной в первой главе, то увидим, что квантовомеханическое описание соответствует этапу выделения и изучения отдельных абстрактных сторон микрообъекта. Принцип дополнительности фиксирует взаимоисключающий характер этих сторон. Такое заострение простого многообразия представления до существенного различия до противоположности^{I)}, фиксируемое принципом дополнительности, является заслугой Н.Бора. Но Н.Бор не пошел дальше, к синтезу этих противоположностей.

Дать интерпретацию квантовой теории в установленном нами смысле — значит определить свойства микрообъекта, находящегося в некотором индивидуальном состоянии, характеризуемом некоторым значением α .

Микрообъект может быть поставлен в определенные макроусловия, при которых в квантовой теории он описывается волновой функцией ψ . Тогда высказывание о его индивидуальном состоянии α обозначим через $A_\psi(\alpha)$. Затем над микрообъектом, находящимся в индивидуальном состоянии, может быть произведено макроскопическое наблюдение. Достаточно рассмотреть наблюдение, характеризующееся в квантовой теории оператором проектирования на волновую функцию ψ . Если результат измерения будет равен I

I) В.И. Ленин, Полн. собр. соч., изд. 5, том 29, стр. 123.

(альтернативный результат, как известно, нуль), то высказывание об этом факте мы обозначим через $V_{\varphi}(\alpha)$.

В современной квантовой теории не фигурирует понятие индивидуального состояния α . Поэтому, конечно, неизвестен явный вид высказываний $A_{\varphi}(\alpha)$ и $V_{\varphi}(\alpha)$. Спецификой квантовой теории является то, что в ней фигурируют лишь вероятности, связанные с двукратным взаимодействием прибора с микрообъектом (одно из взаимодействий называется "приготовлением" микрообъекта, другое - "наблюдением"). Из квантовой теории известно лишь, что если $A_{\varphi}(\alpha)$ и произведено φ -измерение, то вероятность получить единицу равна $|\langle \varphi, \psi \rangle|^2$. Далее, известно, что для любой полной ортогональной последовательности волновых функций φ_n и для любого α существует такое n , что $V_{\varphi_n}(\alpha)$.

Чтобы продвинуться далее в анализе интерпретации квантовой теории, необходимо использовать метод гипотезы. В первую очередь нужна гипотеза о типе связи микрообъекта с макроприбором, связи, появляющейся в результате их однократного взаимодействия. Связи еще пока мало исследовались логиками¹⁾. Современная наука знает связи трех основных типов: однозначные (жесткие), вероятностные и, наконец, не-однозначные (содержащие неопределенность)²⁾. Возможны, конечно, и связи комбинированных типов. Анализ показывает,

1) А.А.Зиновьев, Формализация понятия связи, Вопросы философии, 1960, № 2.

2) Р.Л.Дэвис и Х.Райфе, Игры и решения, ИЛ, 1961.

что наиболее естественной гипотезой является предположение о вероятностном характере связи микрообъекта с макроприбором. Эта гипотеза лежит в основе концепции ансамблей. Концепция ансамблей была взята за основу построения квантовой теории К.В.Никольским¹⁾ и в дальнейшем развивалась в работах Д.И.Блохинцева²⁾, Я.П.Терлецкого³⁾ и других советских физиков. Согласно этой концепции, существует вероятность

$p(\alpha|\psi)d\alpha$ того, что при создании ψ -условий микрообъект будет находиться в индивидуальном состоянии, лежащем в интервале $d\alpha$, и существует вероятность $P(\varphi|\alpha)$ того, что если над микрообъектом, находящимся в состоянии α , будет произведено φ -наблюдение, то результат будет I.

Интерпретация, базирующаяся на концепции ансамблей, легко может быть распространена на смешанные квантовые ансамбли. При этом появляется функция $p(\alpha|U)$ плотности вероятности α для смешанного ансамбля, характеризуемого в квантовой теории статистическим оператором U (матрицей плотности).

Анализ показывает, что в рамках концепции ансамблей справедлива

ТЕОРЕМА I. Квантовый ансамбль не может однозначно определяться статистическим оператором ни при какой интерпрета-

1) К.В.Никольский, Квантовые процессы, М.-Л., 1940.

2) Д.И.Блохинцев, Ответ академику В.А.Фоку, Вопросы философии, 1952, № 6.

3) Я.П.Терлецкий, Проблемы развития квантовой теории, Вопросы философии, 1951, № 5.

ции квантовой теории.

Эта теорема говорит о том, что существующая квантовая теория неполна. Обнаруженную неполноту нельзя путать с обычной неполнотой всякой статистической теории, заключающейся в том, что такая теория предсказывает не сами факты, а лишь их вероятности. Наша теорема говорит о том, что квантовая теория не может предсказать однозначно и вероятности фактов.

В связи с вопросом о полноте квантовой механики часто упоминается знаменитая теорема И.фон Неймана¹⁾ о "скрытых параметрах". Эта теорема утверждает, что несостоятельно само представление о дополнительных скрытых параметрах, характеризующих индивидуальное состояние (сверх обычных квантовомеханических). Анализ однако показывает, что доказательство Неймана основывается на незаконном отождествлении ансамблей, реально осуществимых с помощью макроскопических установок и ансамблей мыслимых. Если же строго учитывать разницу между мыслимым и осуществимым определенным путем, то теорема делается несостоятельной.

Рассматриваемая гипотеза ансамблей представляется несколько несвязной, незаконченной. А именно, два вида взаимодействия микрообъекта с прибором - приготовление и наблюдение - выступают пока как совершенно независимые, совершенно отличные друг от друга. В связи с этим представляет интерес попытка Вайдлиха²⁾ ликвидировать этот пробел.

1) И.фон Нейман, Математические основы квантовой механики, Изд. "Наука", 1964.

2) W.Weidlich, Zur Interpretation der Quantenmechanik, Zeitschrift für Naturforschung, 15a, Nr 8, 1960.

Вайдлих полагает, что при квантовом наблюдении над микро-объектом лишь определяется принадлежность индивидуального состояния к некоторому ансамблю. Эта вероятность поэтому может быть истолкована как апостериорная вероятность. Внимательное рассмотрение показывает, что при такой трактовке приходится принять, что вероятность результата квантового наблюдения $P(\varphi|\alpha)$ может равняться либо нулю, либо единице. Таким образом, дополнительная гипотеза Вайдлиха заставляет принять концепцию "реальности наблюдаемых", анализ которой содержится в диссертации ниже.

Понятие индивидуального состояния микрообъекта является своеобразной клеточкой интерпретации квантовой теории. Поиск интерпретации осуществляется нами путем саморазвития этого понятия. Этот процесс во многом похож на процесс восхождения мысли от абстрактного к конкретному, разработанный Марксом в "Капитале". Отличие состоит в том, что в нашем методе мы не знаем даже в зародыше свойств микрообъекта. Поэтому у нас все движение мысли к конкретному представляет собой поиск, движение истинное лишь в возможности. Такое движение может происходить только путем выдвижения и проверки гипотез, естественно возникающих в процессе своеобразного саморазвития понятия индивидуального состояния, путем обнаружения различных сторон этого понятия и конкретизации их. Положительный анализ здесь неотделим от критики существующих точек зрения.

Одна из наиболее естественных гипотез состоит в том, что индивидуальное состояние микрообъекта характеризуется

волновой функцией: $\alpha = \psi$. Эта гипотеза может быть названа точкой зрения реальности волновой функции. Здесь имеется в виду реальность той волновой функции ψ , которая характеризует сведения о микрообъекте, полученном после создания для него ψ -условий. Легко увидеть, что такой выбор не противоречит формализму квантовой теории. Теперь $p(\alpha | \psi)$ отлична от нуля только при $\alpha = \psi$. Таким образом, акт приготовления микрообъекта является строго детерминированным, нестатистическим. Вся статистичность квантовой теории при такой интерпретации проистекает из акта наблюдения микрообъекта. В этом смысле рассматриваемая интерпретация является резко несимметричной. Трудность, которая обнаруживается в этой интерпретации, состоит в невозможности считать "реальную" волновую функцию пространственно протяженной. Это связано с явлением редукции волновой функции при наблюдении. Редукция, как известно, состоит в мгновенном изменении всей пространственно протяженной волновой функции при вмешательстве наблюдающего прибора хотя бы в каком-либо одном месте пространства. Это явление редукции позволяет придавать пространственно-протяженной волновой функции только вероятностный смысл. Таким образом, принятая гипотеза неадекватна.

В диссертации приводится рассуждение, принадлежащее автору, в результате которого обнаруживается, что точка зрения реальности волновой функции ведет к видимому противоречию. Это рассуждение использует то обстоятельство, что один и тот же смешанный ансамбль может быть представлен

как две разные смеси чистых состояний. Это сразу ведет к противоречию, если признать чистые состояния реальными. Однако, указанное противоречие очевидным образом устраняется, если принять во внимание установленную нами теорему I. Действительно, согласно этой теореме, в указанном рассуждении речь должна идти не об одном и том же ансамбле, а о двух различных ансамблях, имеющих совпадающие квантовомеханические характеристики. Так что все рассуждение лишь иллюстрирует правильность теоремы I.

Однако, точка зрения реальности волновой функции является живучей, что подтверждается анализом некоторых рассуждений физиков.

Далее анализируется одна частная гипотеза: "среднее значение суммы двух наблюдаемых величин всегда равно сумме средних значений этих величин". Это положение выполняется, как известно, для любого квантового ансамбля. Гипотеза состоит в том, что оно выполняется и для каждого индивидуального состояния. Оказывается возможным доказать, что эта гипотеза об аддитивности средних эквивалентна гипотезе о реальности волновой функции.

Другой весьма естественной гипотезой является точка зрения реальности наблюдаемых. Согласно этой гипотезе микрообъект до наблюдения характеризуется тем значением наблюдаемой величины, которое было получено в результате наблюдения. Так, если при наблюдении мы обнаружили электрон в данной точке пространства, то принимается, что и непосредственно перед наблюдением электрон находился в этой точке.

Поскольку выбор того или иного наблюдения заранее не пред-
решен, индивидуальное состояние микрообъекта характеризу-
ется набором результатов всех наблюдений, которые над ним
можно произвести.

В такой интерпретации результат макроскопического на-
блюдения полностью определяется индивидуальным состоянием
 α микрообъекта. Вероятности $P(\varphi|\alpha)$ равны либо
1, либо 0. Эта интерпретация является полярной противопо-
ложностью интерпретации с точки зрения реальности волновой
функции. А именно, здесь вся статистичность квантовой ме-
ханики считается связанной с процессом приготовления мик-
рообъекта. Рассматриваемая интерпретация является несиммет-
ричной в равной степени как и интерпретация с точки зрения
реальности волновой функции. Можно заметить, что рассмат-
риваемая интерпретация делает квантовую механику по форме
аналогичной классической статистической механике Гиббса.
Обе теории допускают в принципе измерения сколь-угодно вы-
сокой точности, в том смысле, что результат измерения од-
нозначно определяется индивидуальным состоянием объекта.

Никому еще не удалось провести до конца точку зрения
реальности наблюдаемых, т.е. определить α , ρ и P .
Однако, Вайдлихом и одновременно и независимо автором была
предложена интерпретация спина с этой точки зрения. В этой
интерпретации состояние α характеризуется также вол-
новой функцией. Однако, теперь при создании ψ -условий
получаем ансамбль индивидуальных состояний, вообще говоря,
не совпадающих с ψ . Таким образом, эта интерпретация

не соответствует точке зрения реальности волновой функции, описанной выше. При этом удастся, однако, показать, что интерпретация Вайдлиховского типа (точное определение этого "типа" интерпретации дается в диссертации) не может быть распространена уже на квантовую систему, пространство волновых функций которой трехмерно.

Трудности, по-видимому, непреодолимые, в использовании основных квантовых понятий в качестве характеристик микрообъекта заставляют мысль вернуться к образам классической теории. Среди физиков широко распространено мнение, что "квантовая частица не имеет траектории". Однако анализ обнаруживает, что строгого доказательства этого факта нет, имеющиеся на этот счет рассуждения содержат логические изъяны. Квантовая теория не дает возможности определить траекторию частицы, но и не запрещает частице иметь ее - вот что обнаруживается при анализе.

Имея в виду сближение с классическими образами, мы переходим теперь от рассмотрения микрообъекта, существующего во времени, к микрообъекту, состояние которого зависит от времени. При этом появляется понятие состояния β_t микрообъекта в момент времени t . В рамках концепции ансамблей естественно предположить, что состояние β_{t_0} определяет вместе с внешними условиями вероятность перехода в любое другое состояние к моменту времени t , где $t \geq t_0$.

Далее, от рассмотрения микрообъекта, существующего в пространстве, естественно перейти к рассмотрению микро-

объекта, находящегося в некотором месте (точке) пространства. Таким образом, индивидуальное состояние в некоторый момент времени задается теперь некоторой парой: $\beta = \{x, \pi\}$ где x - координата, π - некоторый дополнительный параметр. Координата может рассматриваться в разных аспектах: как чисто формальный, не имеющий содержательного смысла признак состояния; как та координата, которую мы обнаруживаем при наблюдении микрообъекта; как та координата, которую будет иметь микрообъект, если для него создать макроусловия, в которых он бывает после измерения, давшего определенное значение координаты; как та координата, в которой находится микрообъект реально. В последнем случае при создании упомянутых макроусловий мы не обязательно получаем микрообъект в ожидаемой точке. Анализ показывает, что при трактовке понятия координаты во втором аспекте, наша гипотеза оказывается наиболее сильной. Для дальнейшего принимается эта наиболее сильная гипотеза.

Включение координаты в качестве характеристики индивидуального состояния микрообъекта допускает упрощение в построении интерпретации квантовой теории. Это связано с тем известным из квантовой теории положением, что измерения всех наблюдаемых величин могут быть произведены косвенно, путем измерения одной лишь координаты. Таким образом, оказывается достаточным дать интерпретацию только измерению координаты. Иными словами, необходимо только объяснить закономерность движения плотности вероятности местонахождения частицы в пространстве. Этим путем мы приходим

к обобщенной концепции частицы - пилота: частица, реально находящаяся в некоторой точке x , пилотируется (т.е. ведется) некоторым материальным образованием π .

Прежде всего, естественно, следует испытать беспилотную модель частицы. В этой модели частица, находящаяся в некоторой точке, в каждый момент времени испытывает толчки со стороны "вакуума". Квантовое движение представляется тогда аналогичным броуновскому. Такая физическая картина имеет свою историю. Еще Шредингер заметил, что распыление волновых пакетов во многом напоминает процесс диффузии. Эренфест отмечал некоторое сходство уравнения Шредингера с уравнением диффузии. Де-Бройль указывал, что квантовое движение есть движение под действием некоторого потенциала, зависящего от плотности вероятности. Гейликман¹⁾ отметил, что этот потенциал с точностью до знака совпадает с броуновским.

Однако удастся строго доказать, что модель беспилотной частицы неадекватна. Это объясняет бесперспективность ряда современных попыток использовать эту модель.

Далее, мысль естественно обращается к использованию волновой функции в качестве пилота. Эта интерпретация была первоначально предложена де-Бройлем²⁾. Значительный вклад

1) Б.Т.Гейликман, О корпускулярно-волновой аналогии в квантовой механике, Журнал экспериментальной и теоретической физики, 1947, вып.3.

2) Л.де-Бройль, Введение в волновую механику, Гос.ИТИ Украины, 1934.

в ее развитие был сделан Бомом, Вигье, а также Такабаяси. Следует отметить, что интерпретация с помощью волны — пилота лишена односторонности, свойственной концепциям реальности волновой функции и реальности наблюдаемых. Согласно этой концепции взаимодействие прибора с микрообъектом имеет статистический характер в обоих случаях — как при приготовлении, так и при наблюдении микрообъекта. Однако этой интерпретации свойственны все трудности, возникающие из реального толкования волновой функции.

Указанные трудности использования гибридной классически-квантовой модели снова направляют мысль на исследование возможности использования чисто классической модели частицы. В этой модели пилотом является скорость частицы. Естественно возникают два возможные типа моделей: модели, совершающие случайное движение, и модели, совершающие нестатистически детерминированное движение.

Модель первого типа представляет собой классическую частицу, подверженную случайным толчкам со стороны вакуума. Анализ показывает, что при довольно общих предположениях распределение вероятностей для координат частицы в моделях этого типа обязательно расплывается с течением времени. Наоборот, из квантовой теории следует возможность сколь угодно длительного сохранения периодической пространственной неоднородности вероятности местоположения. Это расхождение показывает неадекватность моделей этого типа.

Модель второго типа представляет собой частицу, двигающуюся по классической траектории, удовлетворяющей неко-

торому уравнению движения. Анализ показывает, что это уравнение не может быть очень простым: оно должно иметь порядок не ниже третьего.

В свете указанных результатов анализируются оригинальные статистические трактовки квантовой механики, выдвинутые Мoyalом и Рязановым. В обоих случаях в основе лежит классическая модель частицы. Разница состоит лишь в способе рассмотрения: Мoyal интересуется координатой и скоростью в некоторый момент, а Рязанов — всей траекторией в целом. Однако, в обоих случаях приходится вводить в рассмотрение отрицательные вероятности. Это значит, что ни одна из трактовок не представляет собой интерпретации квантовой теории. Мoyal, правда, считал, что может обойтись только положительными вероятностями. Но из общих результатов нашего рассмотрения следует вывод, что этого сделать нельзя. И действительно, при внимательном рассмотрении в выкладках Мoyalа удастся обнаружить ошибку.

Итак, конкретные мысленные образы, полученные путем естественного развития абстрактного понятия индивидуально-го состояния микрообъекта, оказываются неадекватными. Это может говорить или о том, что выбранное направление "саморазвития" найденной "клеточки" интерпретации является ложным; или о том, что мы недостаточно далеко продвинулись по выбранному пути. Во всяком случае, возникает естественная мысль об изучении возможных интерпретаций не с точки зрения особенностей взаимодействия микрообъекта с прибором, а с точки зрения особенностей закона движения самого микро-

объекта.

В диссертации анализируется класс возможных интерпретаций квантовой теории, в которых микрообъект обладает произвольной природой, т.е. характеристики его не являются взятыми ни из классической, ни из квантовой теорий. Предполагается лишь, что движение его происходит в соответствии с классическим детерминизмом, причем макроскопические условия движения описываются соответствующими квантовомеханическими понятиями полностью и движение транзитивно, т.е. любое состояние микрообъекта при соответственно подобранных внешних условиях может перейти в любое другое. При этих предположениях обнаруживается, что индивидуальные состояния микрообъектов можно характеризовать левыми смежными классами группы унитарных преобразований гильбертова пространства по некоторой стационарной подгруппе.

В целом весь поиск правильной интерпретации нельзя считать законченным в абсолютном смысле. Однако, можно высказать некоторые предварительные соображения о направлении дальнейшего поиска.

Принципиально неверно искать образ микрообъекта среди образов классической теории. Но также нельзя взять этот образ и из неинтерпретированной квантовой теории. Необходимо иметь в виду, что понятия квантовой теории не относятся непосредственно ни к микрообъекту, ни к прибору, а лишь к их совокупности. Поэтому необходимо эти образы предварительно разложить. Надо найти, что в них относится к микрообъекту, а что к макросприбору. Такое разложение еще никому

не удалось произвести. Интересно отметить, что здесь имеет место объективная диалектика. С одной стороны, образ микрообъекта должен быть получен путем объединения абстрактных его сторон, изученных в квантовой теории. С другой стороны, образ микрообъекта должен быть получен путем дальнейшего расщепления этих сторон на ту часть, которая относится к микрообъекту, и ту, которая относится к прибору.

Следует отметить, что осуществленное нами развитие абстрактного понятия индивидуального состояния, хотя и не привело к какому-либо конкретному понятию, все же имеет своим результатом своеобразное негативное обогащение исходного понятия, состоящее в исключении из него потенциально ложного.

X X
X

Т р е т ь я г л а в а посвящена логическому исследованию аппарата физической теории. Если интерпретация теории изучалась во второй главе на примере квантовой механики, то аппарат исследуется, главным образом, на примере элементарной классической механики и, частично, на примере механики квантовой. Исследование третьей — эмпирической — части теории, выходит за рамки диссертации. Анализ, там где это возможно, проводится с привлечением точных, математических методов, т.е. путем создания и анализа формальных систем.

Начало главы посвящено анализу роли и значения формальных систем в физике.

Формальные системы возникли первоначально в математике как средство разрешения парадоксов. Хотя в физике применяется до сих пор лишь неформализованная математика, однако, в отдельных случаях используются уже методы, близкие к формальным (например, метод α -функции А.А.Соколова, пригодный для решения широкого класса полевых задач)¹⁾. Таким образом, проблема формализации физики является достаточно подготовленной историей развития науки. Более того, отдельные вопросы уже рассматривались зарубежными учеными методами, близкими к формальным. Из исследований, совершенно не пересекающихся с нашими, можно указать, например, на исследования принципов физики²⁾ и взаимосвязей между физическими теориями³⁾.

Формальная система аппарата физической теории заменяет в определенной мере сам аппарат физической теории. При такой замене, с одной стороны, происходит сужение, ограничение теории, так как мы оставляем только изученную точными методами часть ее. Однако, здесь налицо и приобретение, т.к. мы получаем вместо несколько неопределенной исторически сложившейся части науки сверхточную формальную систему. В качестве вопроса, неясного для обычной физической

1) Д.Д.Иваненко и А.А.Соколов, Классическая теория поля. Гостехиздат, 1951.

2) J.-L. Destouches, Principes fondamentaux de physique theorique, t. 1,2,3, Paris, 1942.

3) L.Tisra, The conceptual structure of physics, Review of modern physics, 35, N I, 1963.

теории и не существующего в принципе для формальной системы, можно привести, например, следующий, основанный на замечании А.Д.Александрова. В каких рассуждениях из области физики можно пользоваться известной математической теоремой¹⁾ о том, что шар можно разрезать на части, сложив которые получаем два шара, каждый из которых равен исходному?

Формальная система представляет собой более абстрактную форму отражения реальности, нежели модель этой реальности, полученная с помощью самой физической теории. Уже при переходе от объекта природы к его модели мы выделяем основные физические тела, их положение, структуру, движение и т.д. При этом мы выделяем и удерживаем существенное в природном объекте и отбрасываем второстепенное. При переходе далее к системе высказываний формальной системы мы снова выделяем существенное. Оба указанных перехода содержат элемент случайный, содержат некоторый произвол.

Для углубленного логического анализа необходимо избрать по возможности наиболее простые объекты. Простейшими (элементарными в терминологии, принятой в диссертации) физическими теориями естественно считать те, в которых единичная физическая система изучается непосредственно. Примером может служить электродинамика в своей обычной форме, базирующаяся на уравнениях Максвелла. Необходимо отметить, что полного отвлечения данной изучаемой физической

1) R.M. Robinson, On the decomposition of spheres, *Fundamenta mathematicae*, 34, p. 246, 1947.

системы от всех остальных добиться весьма трудно. Во всяком случае, остаются два пункта "соприкосновения". Во-первых, при измерении любой физической величины приходится прибегать к использованию эталонов. Во-вторых, измерение ряда величин возможно лишь в некоторой пространственно-временной системе отсчета. При создании строго элементарной теории представляются возможными два пути. Первый состоит в рассмотрении инвариантов по отношению к выбору "вспомогательных" физических систем^{I)}. Второй, которого мы в дальнейшем придерживаемся, состоит в фиксации этих вспомогательных систем.

В принятом нами методе исследования исходным пунктом познания являются общие абстрактные категории и законы формальной логики. Они должны быть конкретизированы так, чтобы охватить объект - конкретную физическую теорию. Эта конкретизация представляет собой непростой акт. Сложность его усугубляется также тем обстоятельством, что речь может идти лишь о конкретизации сразу целой системы понятий составляющих ядро физической теории. Ввиду этого представляется правильным начать с описания готовой формальной системы. Таким образом, здесь эмпирическое исследование физической теории начинается с описания готового результата исследования.

В диссертации строится формальная система M элементарной механики, т.е. механики системы, состоящей из ко-

I) А.И.Уемов, Вещи, свойства и отношения, Изд.АН СССР, 1963.

нечного числа взаимодействующих точечных частиц. Такое построение, насколько известно автору, проводится впервые в законченном виде.

Основные аксиомы механики были сформулированы Ньютоном. Более подробный перечень установлен Гамелем. Гамель приводит шесть аксиом. "Уровень аксиоматизации" механики Гамелем примерно соответствует уровню аксиоматизации геометрии в "Началах" Евклида. Попытку выделить неопределяемые физические понятия сделал Гермес. Таких понятий он выделяет два: "два события лежат на мировой линии одной частицы" и "класс всех допустимых инерциальных систем". Его работа, даже будучи исправлена от логических ошибок, трактует только узкий вопрос о столкновении частиц и не решает проблемы аксиоматизации механики. Эта проблема в целом довольно широко обсуждалась на Интернациональном симпозиуме¹⁾ в Калифорнийском университете в 1957-58 годах и в последующие годы также рядом других авторов²⁾. Построение формальной системы является высшим и завершающим этапом аксиоматизации.

Формальная система представляет собой совокупность особого рода объектов - букв, правил образования из них

1) The axiomatic method with special reference to geometry and physics, Amsterdam, 1959.

2) P. Painlevé, Les axiomes de la mécanique, Paris, 1955.
R. Montague, Deterministic theories, "Decision, values and groups", Oxford, 1962.

осмысленных выражений, правил вывода высказываний, истинных для всех физических систем и семантических правил перевода осмысленных выражений на русский язык.

Построение формальной системы представляет собой эмпирико-индуктивную задачу. Эмпирическим материалом, подлежащим исследованию, являются здесь высказывания и рассуждения, фактически применяющиеся в исторически сложившейся науке — в механике. Некоторое своеобразие состоит здесь в том, что этот эмпирический материал представляет собой нечто логическое, идеальное, в то время как результат его обработки — формальная система — уже содержит математическую форму. Эта форма, являясь некоторой стороной, аспектом материи, должна быть отнесена к категории материального. Обычно, в эмпирико-индуктивных задачах положение как раз обратное: объекты материальны, а результат их изучения идеален.

Никакая эмпирическая задача не может быть решена в абсолютном смысле полностью и окончательно. В соответствии с нашим методом движения к эмпирически-конкретному, после построения формальной системы необходимо проверить ее соответствие исторически сложившемуся аппарату элементарной механики. По-видимому, это соответствие можно считать удовлетворительным, если выполнены следующие требования:

1. В виде высказываний формальной системы могут быть представлены содержательные высказывания механики, образующие достаточно широкий класс;

2. В формальной системе должны быть выводимы высказы-

вания, представляющие основные законы механики, а также высказывания вида $A \supset B$, где A - запись условия задачи, а B - запись ее решения, для достаточно широкого круга задач;

3. Не должны быть выводимы содержательно ложные высказывания.

Проверке выполнения этих условий, а также примерам записи законов и задач механики посвящено несколько разделов диссертации. Результаты проверки позволяют дать следующее определение: элементарная механика есть теория, формальная система которой есть M . Формальная система M элементарной механики есть теория со стандартной формализацией по Тарскому¹⁾ и, кроме того, является элементарной теорией в определенном выше смысле. Такие формальные системы мы для краткости называем стандартными теориями.

В заключение вводится понятие логической модели реальности, как модели, соответствующей не самой физической системе, а знаниям о ней. Процесс логического вывода представляется в виде движения логической модели. Формальная система какой-либо теории позволяет легко строить логические модели описываемой ею реальности. Но, в принципе, возможно и непосредственное построение логических моделей, минуя необходимость создания научной теории.

Создание формальной системы аппарата теории кладет начало применению точных методов при исследовании этого аппарата.

1) A. Tarski, Undecidable theories, Amsterdam, 1953.

Вначале естественно рассмотреть неинтерпретированную формальную систему. Такое рассмотрение есть рассмотрение формы аппарата теории самой по себе. Здесь изучение может осуществляться стандартными методами математической логики. В диссертации указывается удобный критерий неразрешимости формальной системы и с его помощью устанавливается, в частности неразрешимость классической механики и небесной механики.

Изучение точными математическими методами есть изучение с точки зрения формы. С этой точки зрения и рассматривается далее семантика. В соответствии с результатами первой главы, высказыванию стандартной теории может быть придан смысл только при условии, что выбраны некоторое множество $\mathcal{F}$ формальных объектов и некоторое множество $\mathcal{E}$ реальных объектов (физических систем). Можно заметить, что высказывание, принадлежащее физической теории, отличается от высказывания, принадлежащего математической теории, тем, что последнее не относится ни к какому конкретному реальному объекту и не предполагает поэтому никакого множества $\mathcal{E}$. С другой стороны, высказывания, рассматриваемые обычно в традиционной формальной логике, вообще говоря, не обязаны содержать никакой ссылки на формальные объекты и не предполагают поэтому никакого множества $\mathcal{F}$.

В диссертации анализируется абстракция множества физических систем $\mathcal{E}$. Наряду с множеством $\mathcal{E}$ можно рассмотреть множество $\mathcal{E}^*$ всех мыслимых физических систем, т.е. таких, состояния которых могут быть описаны вы-

сказыванием, принадлежащим стандартной теории, но в которых физические законы могут и не выполняться.

$\mathcal{E}^*$, вообще говоря, шире $\mathcal{E}$. Если теория пополняется новым законом, то $\mathcal{E}$ сокращается. Что происходит при переходе к новой теории? С.И.Илларионов^{I)}, по существу, исходит из предположения, что $\mathcal{E}^*$ при этом не меняется, и лишь сужается $\mathcal{E}$. При последовательном проведении такая точка зрения ведет к утверждению о существовании некоторого универсального множества $\mathcal{E}^*$, одинакового для всех физических теорий. Но это утверждение ложно, ибо наука переходит ко все более детальному описанию физических систем, в связи с чем множество мыслимых физических систем $\mathcal{E}^*$ расширяется.

Чтобы продолжить анализ точными методами, надо установить формальный критерий для отличия физического от математического. Физическое есть материальное. Математическое тоже есть материальное, но взятое безотносительно к содержанию. Поэтому естественно принять, что математические понятия (например, число 7), интерпретируются одинаково для всех физических систем, входящих в $\mathcal{E}$. Напротив, физические понятия (например, масса), интерпретируются по-разному для разных физических систем (например, в одной — с помощью пятикилограммовой гири, в другой — с помощью трехкилограммовой). Физические постулаты элементарной теор-

I) С.И.Илларионов, Принцип ограничений в физике и его связь с принципом соответствия, Вопросы философии, 1964, № 3.

рии таковы, что они выполняются, вообще говоря, лишь тогда, когда все входящие в них понятия относятся к одной физической системе. Математические постулаты, напротив, выражают законы, которым подчиняются формы, взятые сами по себе, т.е. независимо от того, из какой физической системы они взяты.

Интерпретация, т.е. соответствие аппарата теории природным объектам, описана теперь точно. Это открывает возможность точной постановки вопроса о полноте физической теории.

В метаматематике теория считается полной, если каждое, замкнутое высказывание этой теории либо выводимо, либо выводимо его отрицание. Полными теориями являются, например, элементарные алгебра и геометрия. Однако, физические теории, разумеется, не должны быть полны в этом смысле. Например, ни высказывание "масса тела равна 5 кг", ни его отрицание не являются истинными для всех физических систем и значит, не должны быть выводимы. Вводится определение, согласно которому теория считается физически полной, если существует такое ϵ , для которого теоретическая выводимость эквивалентна истинности для всех физических систем. В диссертации это определение уточняется еще далее и формулируется математически.

С помощью приведенного в приложении 2 критерия легко устанавливается, что элементарная механика является теорией, физически неполной. То же касается и небесной механики.

С точки зрения диалектического материализма и его

учения об абсолютной и относительной истине, неполнота каждой естественнонаучной теории представляется очевидной. Очевидной является и неполнота классической механики, проявляющаяся, например, в том, что более тонкие свойства движения малых тел отображаются достаточно полно лишь квантовой механикой. В этом смысле, полученный нами результат является частным, относящимся лишь к некоторым механическим теориям. Но, с другой стороны, установленное нами свойство неполноты является более сильным, ибо является внутренним свойством теории. Для его проявления не требуется выхода за рамки обычных понятий классической механики.

Установленная неполнота механики проливает свет на проблему обоснования статистической механики. Как известно, все движения физических систем, подчиняющихся законам механики, обратимы, т.е. для каждого данного процесса $\mathcal{G}$ возможно создание другого процесса $\mathcal{G}'$, отличающегося от первого только направлением протекания во времени. Но, как известно, термодинамические процессы не удовлетворяют этому условию, они необратимы. Следовательно, они не подчиняются законам механики. Таким образом, движение одной, двух, трех и т.д. молекул подчиняется законам механики, а движение 10^{24} молекул уже не подчиняется этим законам. Диалектика позволяет понять этот факт как переход количества в качество. Однако, проблема обоснования статистической механики состоит в анализе этого перехода методами точных наук. Этот анализ теперь существенно облегчается,

если учесть, что закон обратимости механических движений есть следствие основных законов механики лишь тогда, когда эти основные законы механики образуют полную систему ее законов. Однако, как было сказано, последнее не соответствует действительности.

Вышесказанное позволяет выдвинуть следующий ТЕЗИС: система постулатов механики должна содержать постулат, неинвариантный относительно изменения направления протекания времени. Этот постулат должен быть независимым от известных законов механики и не противоречить им. Из этого постулата должны вытекать основные законы термодинамики. Конкретный вид постулата, о котором идет речь, пока не известен.

Значение установленных неполноты и неразрешимости механики для будущих информационных машин может быть охарактеризовано с помощью понятий машин I и II рода. Если машина, получив условие задачи, решает ее (если задача имеет решение) или работает неограниченно долго (если задача неразрешима), то мы будем эту машину называть машиной I рода. Если машина, получив условие задачи сначала определяет, имеется ли решение, а затем (в случае, если решение имеется) выдает его, то мы будем ее называть машиной II рода. В этих терминах неполнота механики означает невозможность создания машины I рода для механики и в связи с этим означает, что механика никогда не станет наукой, не нуждающейся в эксперименте. Наличие формальной системы механики означает возможность создания машины I рода, охватывающей

на данном этапе "почти всю" механику. Неразрешимость механики означает невозможность создания машины II рода, охватывающей "почти всю" механику.

Таким образом, полученные результаты уточняют границы, в которых труд ученого-механика может быть заменен работой машины. Они также приводят к выводу о том, что философский вопрос о границах формализации в науке может быть разбит по крайней мере на два подвопроса в соответствии с тем, какого рода машине соответствует формализация, о которой идет речь.

Кроме исследования элементарных физических теорий, в диссертации намечено исследование перехода от элементарной к неэлементарным теориям. В высказываниях элементарной теории не могут фигурировать явно понятие физической системы и связанные с ним модальные понятия.

Забвение этого факта приводит к появлению внешнего парадокса, обнаруженного Альдо Брессаном¹⁾. Этот парадокс возникает при рассмотрении двух следующих высказываний: "Какова бы ни была точка, в которой находится частица в начальный момент времени, существует отличная от нее точка, через которую пройдет частица" и "Какова бы ни была точка, в которой находится частица в начальный момент времени, не существует отличной от нее точки, через которую

1) A. Bressan, Metodo di assiomatizzazione in senso stretto della meccanica classica, Rendiconti del seminario matematico della Università di Padova, 32, 1962.

необходимо пройдет частица". Эти два высказывания истинны, но кажутся противоречащими друг другу, так как понятия "пройдет" и "необходимо пройдет" представляются тождественными по смыслу.

Парадокс легко разрешается при формализации. Легко обнаруживается, что второе высказывание не может быть формализовано в стандартной теории, ибо содержит модальное понятие "необходимо". Это модальное понятие может быть заменено на квантор "для всех физических систем", могущий встретиться только в неэлементарной теории.

В диссертации рассматриваются два различных способа исключения понятия "физическая система", т.е. два способа частичного сведения неэлементарной теории к элементарной. Первый способ по существу состоит в принятии дополнительного метатеоретического постулата: "для всех физических систем справедливы те и только те высказывания, которые выводимы в элементарной теории". Второй способ связан с применением постулата "высказывание справедливо для всех физических систем тогда и только тогда, если оно справедливо при любой замене физических функций на математические, удовлетворяющие физическим законам".

Анализ показывает, что оба способа исключения квантора по переменной "физическая система" совпадают лишь для весьма специфических физических теорий. По-видимому, введение понятия "физическая система" в элементарную физическую теорию, не может быть осуществлено чисто формально, без обращения к природе. Процесс перехода к неэлементарной

теории, кажущийся чисто логическим, не может протекать без дополнительного изучения природы. В этом смысле логика должна включать жизнь, практику.

Два последних параграфа диссертации посвящены предварительному анализу аппарата элементарной квантовой теории.

Сначала устанавливается, что физическая система, которая отображается в элементарной квантовой теории, представляет собой микрообъект, над которым с помощью макроприборов произведено конечное число последовательных наблюдений. Сделав необходимые уточнения, удается достаточно точно описать схему элементарной квантовой теории и охарактеризовать предварительный вариант формальной системы ее аппарата. В этой формальной системе K представлены те понятия, с помощью которых выражаются основные законы квантовой теории. В каком-то смысле этого достаточно. Ибо если какое-либо физическое понятие не входит ни в один постулат (т.е. в "невыводимое" высказывание), то оно является посторонним для формальной системы.

Формальное изучение соотношения формальной системы K квантовой теории с объектами, изучаемыми ею, оставляется далее в стороне, ввиду отсутствия в настоящее время интерпретации квантовой теории. Изучение внутренней формы самого аппарата квантовой теории, напротив, проводилось различными авторами, и результаты этого изучения содержатся в различного рода "квантовых логиках". Ввиду своеобразия науки о квантах, квантовые логики весьма необычны. В этой

связи Б.Г.Кузнецовым¹⁾ высказывалось даже мнение, что логике квантовой теории суждено сыграть в истории логики такую же роль, как теории относительности в истории геометрии реального пространства.

Часто логическое рассматривается как часть конкретно-научной теории. Например, логическим в математической теории предложено²⁾ считать то, что не меняется при изменении интерпретации этой теории. Однако, этот критерий явно неприменим в области физики, так как каждая физическая теория имеет по существу только одну физическую интерпретацию, одну область или сторону реальности, для отображения которой эта теория и создана. Другая точка зрения состоит в том, что логическое есть общее для всех объектов. Эта точка зрения не может быть принята, ибо противоречит общеизвестным фактам. Например, математический анализ базируется на классической логике, конструктивный анализ — на конструктивной, квантовая механика — на квантовой, и эти логики не совпадают. Нельзя, конечно, считать логику и интуитивно-очевидной частью³⁾ физической теории. Представля-

1) Б.Г.Кузнецов, Физика и логика, Изд. "Знание", сер.9, вып.1, 1964.

2) А.Г.Гетманова, О соотношении логики и математики в системах типа *Principia mathematica*, . Сб. "Логические исследования", Изд.АН СССР, 1959.

3) P. Mittelstaedt, Logik und Quantenlogik, Physikalische Blätter, 1962, Heft 1.

ется единственно правильным принять, что логической частью физической теории является основная, существенная ее часть.

Развивая полученное определение, приходим к понятию логики физической теории, как науки, изучающей основное, существенное в этой физической теории (а наука всегда изучает существенное). В частности, логика квантовой теории есть наука изучающая аппарат квантовой теории. Различные "квантовые логики" суть различные разделы этой науки, дополняющие друг друга.

Каждая квантовая логика выделяет какую-то существенную сторону квантовой теории. Если ограничиться точными математическими методами, то естественно принять следующий метод оценки места и значения той или иной квантовой логики. Систему основных понятий данной квантовой логики следует согласно этому методу пополнить так, чтобы получилась формальная система аппарата квантовой теории. Роль данной квантовой логики в полученной формальной системе и свидетельствует о качестве взятой квантовой логики.

Классическая логика может служить базой квантовой теории, ибо для последней возможна формальная система K , базирующаяся на узком исчислении предикатов.

В логике Биркгофа и Неймана¹⁾ различаются физические

1) G. Birkhoff, I. von Neumann, The logic of quantum mechanics, Annals of mathematics, 32, p. 823, 1936.

высказывания и соотношения между ними. Первые имеют следующий вид: "такая-то физическая величина имеет такое-то численное значение". Если при построении формальной системы ограничиться допущением только таких высказываний, то множество физических систем $\mathcal{E}$ будет при этом состоять только из тех физических систем, в которых над микрообъектом произведено только одно квантовое наблюдение. Ничего или почти ничего нельзя будет сказать о соотношении результатов двух различных квантовых наблюдений. А именно такого рода соотношения и составляют ядро квантовой теории. Исходя из сказанного следует признать, что квантовая логика Биркгофа и Неймана отображает лишь узкую часть логической структуры квантовой теории. То же касается более поздних вариантов логики, находящихся в русле этих идей.

Особый интерес представляет логика контингентных высказываний, развиваемая в последнее время Вайцзекером¹⁾. С точки зрения формы Вайцзекер добавил к логике Биркгофа и Неймана понятие комплексной истинности высказывания. По содержанию контингентные высказывания уже относятся к физическому объекту, взятому лишь в виде возможности. В этом Вайцзекер перекликается с академиком В.А.Фоком²⁾. Истинность такого высказывания, конечно, не обязательно равна 0 или 1. Метаязыковые рассуждения об истинностях контин-

1) C.F. Weizsäcker, Komplementarität und Logik, Die Naturwissenschaften, 42, Hefte 19 und 20.

2) В.А.Фок, цит.соч.

гентных высказываний подчиняются уже (в простейшем случае) обычной двузначной логике. При построении на этой базе формальной системы квантовой теории необходимо лишь расширить метаязык. А именно, необходимо добавить высказывания типа: "в момент t над микрообъектом произведено измерение количества движения". Здесь возможность уже превратилась в действительность регистрируемого факта. Законченное построение такого рода формальной системы представляло бы, как нам кажется, определенный интерес. В целом следует признать, что логика Вайцзекера отображает существенную сторону аппарата квантовой теории. Однако, необходимо иметь в виду, что комплексная истинность контингентных высказываний наталкивается на трудности при интерпретации.

В связи с наличием различных квантовых логик обосновывается важность вопроса о том, какова логика квантовой механики "на самом деле". Этот вопрос должен быть отнесен к области логики, трактуемой как эмпирическая наука о правильном мышлении.

В последнем разделе третьей главы отмечается, что единство науки часто создается наличием в ней клеточки, как особого представления о предмете науки. Уже сейчас можно указать три примера клеточек: 1 предмет, как элемент бесконечного в обе стороны (макро и микро) мира - классический предмет; 2 предмет, как нечто сделанное руками человека - конструктивный предмет; 3 потенциальный предмет, вероятностные свойства которого проявляются лишь в акте взаимодействия - квантовый предмет.

В з а к л ю ч е н и и описывается методология работы и суммируются полученные предварительные результаты логического анализа физических теорий.

В двух п р и л о ж е н и я х разобраны некоторые вопросы, требующие лишь применения математической техники.

Список л и т е р а т у р ы содержит 216 источников по общим вопросам философии, интерпретации квантовой теории, формальной логике физики, аксиоматике механики, "квантовым логикам", метаматематике, физике, теории научной информации и некоторым другим вопросам.

Содержание диссертации нашло отражение в следующих публикациях, общим объемом около 15 печатных листов:

1. О физическом смысле волновой функции, Вопросы философии, 1953 год, № 4.
2. К вопросу о незаконности одной статистической трактовки квантовой механики, Журнал экспериментальной и теоретической физики, 1955 год, т.28, вып.1.
3. Об индивидуальных состояниях микрообъектов, Вопросы философии, 1955 год, № 6.
4. Анализ возможности моделирования свободной квантовой частицы, Сборник физ.-мат.фак-та Днепропетровского университета, 1956 год, вып.5.
5. О возможном уравнении движения квантовой частицы по траектории, Украинский физический журнал, 1959 год, № 1.

6. Статистический оператор не может являться однозначной характеристикой квантового ансамбля, Украинский физический журнал, 1965 год, № 8.
7. Формальная система элементарной механики, Сб. "Логическая структура научного знания", Изд. "Наука", 1965.
8. Теория, формализм, метод, Сб. "Философские проблемы современного естествознания", вып. 4, 1965.
9. Логика квантовой теории, Сб. "Строение научной теории", Изд. "Научная мысль", Киев, 1965.
10. К вопросу о разрешимости механических теорий, Кибернетика, 1966 год, № 2.
11. О некоторых аспектах понятия "интерпретация" в физике и логике, Сб. "Логика и методология науки", Изд. АН СССР и АН УССР, 1967 год.
12. О формализации физических теорий, Днепропетровск, 1968 год.
13. Формальная логика в свете ленинского учения об истине, Сб. "Ленинский этап в развитии марксистской философии", Днепропетровск, 1969 год.
14. Квантовая теория в свете ленинской теории отражения. Сб. "Ленинское философское наследие и особенности развития современного естествознания", Харьков, 1969 гад.
15. Интерпретация квантовой механики, Днепропетровск, 1970 год.
16. Поиск интерпретации квантовой теории, Сб. "Соотношение истории и логики науки", Днепропетровск, 1970 год.