БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

КАФЕДРА ФИЛОСОФИИ И МЕТОДОЛОГИИ НАУКИ

Реферат по философии на тему

# "Математическая гипотеза в неклассической физике"

Аспиранта

кафедры теоретической физики

Иванова Алексея Алексеевича

Минск, 2001**Содержание.**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Введение |  | 3 |
| 1. | Основные принципы построения математической гипотезы |  | 5 |
| 2. | Применение метода математической гипотезы в развитии физических теорий |  | 13 |
|  | Заключение |  | 27 |
|  | Список литературы |  | 28 |

**Введение.**

Современная теоретическая физика в своих исследованиях пользуется широким набором методов, реализующих все общечеловеческие способы познания через систему специфических приёмов, характерных именно для теоретического уровня исследования. К ним относятся метод мысленного эксперимента, ставящий своей задачей построение абстрактных объектов как теоретических образов реальной действительности и оперирование ими с целью изучения существенных характеристик действительности (принцип относительности Галилея); идеализация, то есть выделение одного или нескольких необходимых условий существования объекта и сведение его действия к минимуму путём его изменения (молекулярно-кинетическая теория газов, теория тепловых двигателей Карно); формализация, построение абстрактно-математических моделей, раскрывающих сущность изучаемых процессов действительности; аксиоматический метод, строящийся на основе не требующих доказательства постулатов (геометрия Евклида, механика Ньютона, специальная теория относительности Эйнштейна); гипотетико-дедуктивный метод, создание системы связанных между собой гипотез, приводящей в конечном счёте к утверждениям об эмпирических фактах (электродинамика Лоренца); метод восхождения от абстрактного к конкретному, выделение главной связи изучаемого объекта и открытие новых связей на основе изучение видоизменения главной в различных условиях; метод математической гипотезы.

Знания современной теоретической физики могут быть рассмотрены как математический аппарат, получающий интерпретацию на объектах реальности. Она состоит как бы из двух частей. Первую часть составляют высказывания, образующие интерпретацию физических величин. Они указывают, как связать теоретические символы, обозначающие эти величины, со свойствами конкретных объектов опыта. Вторая часть – это уравнения теории, например, уравнения Максвелла, Ньютона, Шрёдингера, образующие математический аппарат теории. Причём при изменении математического аппарата изменяется и смысл физических величин, а, применяя правила связи физических величин с эмпирической реальностью, можно придать им такой новый смысл, которой будет противоречить их прежним математическим связям в уравнениях, и, чтобы сохранить математику, придётся искать другие уравнения.

Классическая физика вначале создавала первую часть физической теории (интерпретацию), а только затем – математический аппарат. Поэтому смысл физических величин был ясен с самого начала, основные усилия исследователей в этом случае направлялись на то, чтобы отыскать математические формы, связывающие эти величины.

В современной физике применяется другой путь, когда исследователь вначале стремится отыскать математический аппарат, оперирует с величинами, о смысле которых заранее ничего не знает, подмечает в исследуемых явлениях некоторые сходные с другими явлениями черты, для которых уравнения уже построены, стремится перебросить эти уравнения на новую область изучаемой действительности. Затем исследователь ищет интерпретацию уравнений, устанавливая связи между объектами новой области. В этом и состоит суть метода математической гипотезы.

Целью данного реферата является изучение данного метода, отыскание его достоинств и недостатков, выявление его роли в развитии физики на различных этапах её развития.

**1. Основные принципы построения математической гипотезы.**

Пути построения теоретических знаний в современной физике отличны от принятых в классическую эпоху ее эволюции. Одно из главных отличий состоит в широком применении на современном этапе метода математической гипотезы. Общая характеристика этого метода заключается в следующем. Для отыскания законов новой области берут математические выражения законов из близлежащей области, которые затем трансформируют и обобщают так, чтобы получить новые соотношения между физическими величинами. Полученные выражения рассматривают в качестве гипотетических уравнений, описывающих новые физические процессы. Указанные уравнения после соответствующей опытной проверки либо приобретают статус теоретических законов, либо отвергаются, как несоответствующие опыту.

Регулятивные принципы формирования математической гипотезы могут быть разделены на нефизические и физические. Учёный предпочитает выбирать среди возможных форм гипотетических уравнений такие, которые бы удовлетворяли требованиям простоты, логической строгости и развёртывались бы с применением уже принятых и апробированных наукой логических средств; он использует уравнения, описывающие явления, имеющие черты сходства с изучаемым им процессом. При этом он использует фундаментальные физические законы: законы сохранения (энергии, импульса, чётности и т.д.), которые не должны нарушаться в новой теоретической схеме; принцип соответствия (новые уравнения в предельном случае должны переходить в уравнения классической теории); принцип причинности; принцип инвариантности (уравнения должны сохранять свою структуру при переходе в другие системы отсчёта); принцип симметрии. В этих принципах отображаются некоторые общие закономерности физической реальности и методов её познания. Так, принцип причинности и законы сохранения отражают общие свойства природы, принцип соответствия выражает преемственность теорий; инвариантность означает, во-первых, независимость содержания знания от субъекта и, во-вторых, свойство закономерных связей действительности выступать как некое устойчивое начало.

При этом возникает ряд специфических проблем, связанных с процессом формирования математических гипотез и процедурами их обоснования.

Первый аспект этих проблем связан с поиском исходных оснований для выдвижения гипотезы. В классической физике основную роль в процессе выдвижения гипотезы играла картина мира. По мере формирования теорий она получала опытное обоснование не только напрямую через эксперимент, но и через накопление знаний в теории. Этот процесс всегда был основан на допущениях, в которых выражались как свойства объекта, так и обобщённая схема освоения объекта. В физике эта схема деятельности проявлялась в представлениях о том, что следует учитывать в измерениях и какими взаимодействиями измеряемых объектов с приборами можно пренебречь. Например, в представлении Ньютона о природе как о системе материальных корпускул с мгновенно распространяющимися взаимодействиями неявно присутствовала следующая схема измерения. Во-первых, предполагался лапласовский детерминизм движения и возможность одновременного точного измерения координат и импульсов тела. Во-вторых, постулировалась абсолютность пространства и времени. Эта концепция основывалась на предположении, что при измерении характеристики объекта не изменяются и не зависят от относительного движения лаборатории. А за природу в ньютоновской картине мира принималась та реальность, которая соответствовала данной схеме измерений.

В современной физике приняты более сложные схемы измерения, поэтому появляются и более сложные предметы научных теорий.

При столкновении с новым типом объектов, не входящих в принятую картину мира, познание изменяло эту картину, в классической физике – путём введения новых онтологических представлений, заново подвергая новую картину мира экспериментальной проверке. В современной физике картина физической реальности строится, эксплицируя саму схему измерения в форме выдвижения принципов, фиксирующих особенности метода исследования объекта (принцип относительности, дополнительности). Полученная картина мира может на первых порах не иметь законченной формы, но она определяет (вместе с принципами, фиксирующими операционную сторону) поиск математических гипотез. Такая стратегия теоретического поиска смещает и акценты в философской регуляции процесса научного открытия. В классике выдвижение физической картины мира было ориентировано философской онтологией, а в современной физике центр тяжести перенесён на гносеологическую проблематику. Поэтому в регулятивных принципах отыскания математической гипотезы явно представлены положения теоретико-познавательного характера (принцип простоты, соответствия).

Вторая особенность метода математической гипотезы касается специфики процедур построения теоретической схемы и её обоснования. В ходе математической экстраполяции исследователь создаёт новый аппарат путём перестройки некоторых уже известных уравнений. Величины, входящие в эти уравнения, переносятся в новый аппарат, получают новые связи и определения. С величинами переносятся и связанные с ними абстрактные объекты, а из них уже создаётся гипотетическая модель, которая в качестве интерпретации нового математического аппарата присутствует в теории. Такая модель, как правило, содержит неконструктивные элементы, а это может привести к противоречиям в теории и рассогласованию с опытом даже перспективных математических аппаратов. Таким образом, специфика современных исследований состоит не в том, что математический аппарат сначала вводится без интерпретации (неинтерпретированный аппарат есть исчисление, математический формализм, принадлежащий математике). Специфика заключается в том, что математическая гипотеза формирует неадекватную интерпретацию создаваемого аппарата, что усложняет процедуру эмпирической проверки самой гипотезы. Ведь опытом проверяются не только уравнения, а система «уравнения + интерпретация», и если последняя неадекватна, то опыт может выбраковать продуктивные математические структуры. Чтобы проверить математическую гипотезу, недостаточно просто сравнить следствия из уравнений с опытом, необходимо каждый раз эксплицировать гипотетические модели, введённые на стадии математической экстраполяции, отделять их от уравнений, обосновывать конструктивно, вновь сверять с созданным математическим формализмом, а только потом проверять следствия из уравнений опытом. Длинная серия математических гипотез порождает опасность накопления в теории неконструктивных элементов и утраты эмпирического смысла величин, входящих в уравнения. Поэтому в современной физике на определённом этапе развития теории становится необходима промежуточные интерпретации, обеспечивающие адекватную семантику аппарата и его связь с опытом.

Для примера можно рассмотреть историю создания квантовой электродинамики. Она начинается с построения формализма, позволяющего описать микроструктуру электромагнитных взаимодействий, которое разделяется на четыре этапа. Вначале был введен аппарат квантованного электромагнитного поля излучения. На втором этапе была построена квантованная теория электрон-позитронного поля, то есть осуществлено квантование источников полей. На третьем было описано взаимодействие полей в рамках первого приближения теории возмущений. А на последнем этапе методом перенормировки был создан аппарат, характеризующий взаимодействие квантованных электромагнитного и электрон-позитронного полей в последующих порядках теории возмущений. В период после второго этапа, когда начал создаваться аппарат, позволяющий описать взаимодействие свободных полей методами теории возмущений, в фундаменте квантовой электродинамики были обнаружены парадоксы, поставившие под сомнение ценность построенного математического аппарата, так называемые парадоксы измеримости полей. Было показано, что поля в точке при учёте квантовых эффектов перестают быть эмпирически оправданными объектами, так как их компоненты не имеют физического смысла. А источником парадоксов была неадекватная интерпретация построенного формализма, неявно введённая в процессе построения аппарата методом математической гипотезы.

Дело в том, что синтез квантово-механического формализма и уравнений классической электродинамики сопровождался заимствованием абстрактных объектов и их объединением в рамках новой гипотетической конструкции. В ней поле характеризовалось как система с переменным числом фотонов, возникающих с определенной вероятностью в каждом из возможных квантовых состояний, а среди набора совместных наблюдаемых важнейшее место занимали напряженности полей в точке, появившиеся в теоретической модели квантованного электромагнитного поля из-за переноса абстрактных объектов из классической электродинамики. Такой перенос классических идеализаций в новую теоретическую схему и породил решающие трудности при отображении ее на эмпирические ситуации по исследованию квантовых процессов в релятивистской области. Оказалось, что нельзя отыскать рецепты связи компонентов поля в точке с реальными особенностями экспериментов и измерений, изучающих квантово-релятивистские эффекты. В классике, например, величина электрической напряженности в точке определялась через внесение туда пробного заряда, приобретенный импульс которого служил мерой напряженности поля. Но при учете квантовых эффектов в силу соотношения неопределенностей Гейзенберга локализация пробного заряда ведет к возрастающей неопределенности его импульса, а, следовательно, к невозможности определить поле в точке. Далее к этому добавлялись неопределенности, возникающие при передаче импульса от пробного заряда к регистрирующему его прибору. То есть гипотетически введенная модель квантованного электромагнитного поля утрачивала физический смысл, а вместе с ней терял такой смысл и связанный с ней аппарат.

Таким образом, математические гипотезы часто формируют поначалу неадекватную интерпретацию математического аппарата. Они тянут с собой старые физические объекты, вводимые в новые уравнения, что может привести к рассогласованию теории с опытом. Поэтому на промежуточных стадиях математического синтеза вводимые уравнения должны подкрепляться анализом теоретических знаний и их обоснованием. К тому же выявление неконструктивных элементов в предварительной теоретической модели обнаруживает ее наиболее слабые звенья и создает необходимую базу для ее перестройки.

Так в примере квантовой электродинамики работы Ландау и Пайерлса указали путь перестройки первоначальной теоретической модели квантованного электромагнитного поля. А решающий шаг в построении адекватной интерпретации аппарата новой теории был сделан Бором. Он был связан с отказом от трактовки классических компонентов поля в точке в качестве наблюдаемых, характеризующих поле как квантовую систему, и заменой их новыми наблюдаемыми – компонентами поля, усредненным по конечным пространственно-временным областям. Эта идея возникла при активной роли философско-методологических размышлений Бора о принципиальной макроскопичности приборов, посредством которых наблюдатель как макроскопическое существо получает информацию о микрообъектах. Как следствие этих размышлений возникла идея о том, что пробные тела, поскольку они являются частью приборов, должны быть классическими макротелами. Следовательно, в квантовой теории абстракция точечного пробного заряда должна быть заменена другой абстракцией: заряженного пробного тела, локализованного в конечной пространственно-временной области. В свою очередь, это приводило к идее компонент квантованного поля, усредненных по соответствующей пространственно-временной области. Такая интеграция философско-методологических рассуждений в структуру физического поиска не случайна, а характерна для этапа формирования представлений о принципиально новых типах объектов науки и методах их познания. После работ Бора в квантовой электродинамике возникал новая теоретическая модель, призванная обеспечивать интерпретацию уже созданного математического аппарата.

Такой ход исследования, при котором аппарат отчленяется от неадекватной модели, а затем соединяется с новой теоретической моделью, характерен для современной теоретической физики. Заново построенная модель сразу же сверяется с особенностями аппарата. Согласованность же новой модели с математическим аппаратом является сигналом, свидетельствующим о ее продуктивности, но тем не менее, не выводит новую теоретическую конструкцию из ранга гипотезы. Для этого необходимо еще эмпирическое обоснование модели, которое производится путем конструктивного введения ее абстрактных объектов. Средством, обеспечивающим такое введение, являются процедуры идеализированного эксперимента и измерения, в которых учитываются особенности реальных экспериментов и измерений, обобщаемых новой теорией. В истории квантовой электродинамики указанные процедуры были проделаны Бором и Розенфельдом. В процессе их осуществления была получена эмпирическая интерпретация уравнений теории и вместе с тем были открыты новые аспекты микроструктуры электромагнитных взаимодействий. Например, одним из важнейших следствий процедур Бора-Розенфельда было обоснование неразрывной связи между квантованным полем излучения и электромагнитным вакуумом.

Из аппарата теории следовало, что квантованное поле обладает энергией в нулевом состоянии, при отсутствии фотонов. Но до обоснования измеримости поля было абсолютно неясно, можно ли придать вакууму реальный физический смысл или его следует воспринимать только как вспомогательную теоретическую конструкцию. Физики склонялись ко второму выводу, так как энергия квантованного поля в нулевом состоянии оказывалась бесконечной. Кроме того, Ландау и Пайерлс связывали идею вакуума с парадоксом измеримости, и в их анализе вакуумные состояния фигурировали как одно из свидетельств принципиальной неприменимости квантовых методов к описанию электромагнитного поля. Но Бор и Розенфельд показали, что определение точного значения компонентов поля может быть осуществлено лишь тогда, когда в них включаются как флуктуации, связанные с рождением и уничтожением фотонов, так и неотделимые от них нулевые флуктуации поля, возникающие при отсутствии фотонов и связанные и нулевым энергетическим уровнем поля. То есть если убрать вакуум, то само представление о квантованном электромагнитном поле не будет иметь эмпирического смысла, поскольку его усредненные компоненты не будут измеримыми. Тем самым вакуумным состояниям был придан реальный физический смысл. После интерпретации аппарата квантованного электромагнитного поля Бор и Розенфельд проанализировали возможность построения идеализированных измерений для источников, взаимодействующих с квантованным полем излучения.

Характерно, что такой путь построения интерпретации воспроизводил на уровне содержательного анализа основные этапы исторического развития математического аппарата квантовой электродинамики. При этом не была опущена ни одна существенная промежуточная стадия, то есть логика построения интерпретации совпадала в основных чертах с логикой исторического развития математического аппарат теории.

Если в классической физике каждый шаг в развитии аппарата теории подкреплялся построением и конструктивным обоснованием адекватной ему теоретической модели, то в современной физике стратегия теоретического поиска изменилась. Сейчас математический аппарат может достаточно продолжительное время строиться без эмпирической интерпретации, а при ее осуществлении исследование заново в сжатом виде проходит все основные этапы становления аппарата теории. В процессе построения квантовой электродинамики оно шаг за шагом перестраивало сложившиеся гипотетические модели и, осуществляя их конструктивное обоснование, вводило промежуточные интерпретации, соответствующие основным вехам развития аппарата. Итогом было прояснение физического смысла уравнений квантовой электродинамики. В классической физике построение теории происходило по схеме уравнение1 → промежуточная интерпретация1, уравнение2 → промежуточная интерпретация2,…, обобщающая система уравнений → обобщающая интерпретация. В современной же физики этот процесс проходит другим образом: уравнение1 → уравнение2 → …, а лишь потом интерпретация1 → интерпретация2 → …(но не уравнение1 → уравнение2 → обобщающая система уравнений и сразу же завершающая интерпретация). Конечно, сама смена промежуточных интерпретаций в современной физике не воспроизводит полностью аналогичных процессов классического периода. При этом речь не идет только о замене дискретного перехода от одной промежуточной интерпретации к другой непрерывным переходом. Меняется само количество промежуточных интерпретаций. В современной физике они как бы уплотняются, из-за чего процесс построения интерпретации и развития понятийного аппарата теории протекает здесь в кумулятивной форме.

Итак, эвристические принципы благодаря своему объективному содержанию облегчают поиск наиболее адекватных гипотез, соответствующих характеру изучаемой действительности. Но окончательные приговор гипотезе выносит опыт. Причём этап опытной проверки связан с трудностями, возникающими при интерпретации, то есть правил, по которым соотносятся с опытом физические величины нового уравнения. По словам П. Дирака, "легче открыть математическую форму, необходимую для какой-нибудь основной физической теории, чем ее интерпретацию, так как число случаев, среди которых приходится выбирать при открытии формализма, весьма ограничено, так как в математике не много основных идей, тогда как при их физической интерпретации могут обнаружиться чрезвычайно интересные вещи".

**2. Применение метода математической гипотезы в развитии физических теорий.**

Для иллюстрации того, насколько мощным средством научного познания является метод математической гипотезы, рассмотрим его применение в различных теоретических схемах неклассической физики, особенно в той ее части, где перестают работать наши привычные представления о мире: в квантовой теории.

Успешное решение М. Планком проблемы теплового излучения было обусловлено его творческим теоретико-математическим методом, в некоторых моментах которого очень четко заметно применение метода математической гипотезы. На основе модельных представлений (излучающее тело – совокупность вибраторов, аналогов классических макроскопических вибраторов Герца) Планк получил уравнение, связывавшее энтропию и энергию вибратора, которое являлось аналогом закона Вина, а потом, убедившись в недостаточности этого закона, начал изменять математическую форму, связывавшую входящие в него величины. Эти изменения были ограничены, во-первых, экспериментальными данными, во-вторых, известными математическими связями между физическими величинами (закон смещения Вина, термодинамические соотношения). В результате Планк, лавируя между двумя граничными случаями, обусловленными формулой Вина с одной стороны, и опытными фактами с другой, нашел новую математическую форму, связывающую энтропию и энергию вибратора, и, как следствие, формулу излучения абсолютно черного тела, совпадающую с экспериментом. В процессе вывода формул Планк стремился экстраполировать на изучаемое явление математический аппарат и принципы уже изученных явлений классической физики. Эта экстраполяция удалась при сохранении математических форм, но при отступлении от всех физических представлений классики. Классическую формулу для непрерывного излучения Планк использовал в той области, где важен уже его дискретный характер. Такая экстраполяция была неявной, но привела к гипотезе квантованности электромагнитного излучения и световых квантов. Неверно, однако, называть гипотезу квантов математической гипотезой, так как речь в ней идет про физическое подобие процессов излучения и поглощения энергии, но она появилась как физическое объяснение математической гипотезы, как результат логики математических преобразований, проведенных над атомистическими по сути формулами Больцмана и Вина. Вместе с физической идеей о взаимосвязи энтропии и вероятности Планк позаимствовал и математический аппарат, описывавший эту связь, с которым в его рассуждения проникла и идея дискретности. Математические преобразования не только привели к качественному принятию идеи дискретности энергии, но и дали математическое выражение этому физическому факту. Поэтому, хотя сама гипотеза световых квантов является физической, но конкретное количественное соотношение для энергии () – математической гипотезой, причем наипростейшей из возможных.



Так как гипотеза квантов была физической, то требовала физического же обоснования. В то время единственным ее подтверждением было то, что она позволяла получить аналитическую формулу для черного излучения, что было недостаточно для физической гипотезы. Действительно, где гарантия, что нельзя отыскать другой вид формулы, не используя настолько невероятное предположение о дискретности энергии и действия? На протяжении десятилетия Планк безуспешно пытался вписать квант в рамки классической теории, так как он нарушал введенные Ньютоном и Лейбницем представления о непрерывности всех причинно-следственных связей. Однако подтвердить или отвергнуть гипотезу квантов могло только дальнейшее развитие науки, ее всесторонняя опытная и теоретическая проверка, что было осуществлено Эйнштейном (уравнение фотоэффекта, объяснение эмпирических законов Столетова и еще один способ измерения кванта действия), Эренфестом, Бором, Зоммерфельдом и другими учеными. В то же время работы Эйнштейна углубили противоречие между представлениями о природе света. Действительно, объяснить фотоэффект можно было лишь исходя из квантовой трактовки света, в то время, как были известны сотни опытов, утверждающих, что световой поток – это нечто непрерывное, волнообразное. Да и в самой формуле Планка-Эйнштейна () фигурирует частота колебаний поля. Некорректная трактовка (попытка взглянуть на квантовую гипотезу с классической точки зрения) привела к неприятию многими физиками ни теории Планка, ни квантов света Эйнштейна. А полностью подтверждены они были лишь после опытов Франка-Герца и создания Бором квантовой теории атома.



На примере создания Планком основ квантовой теории видны характерные признаки применения метода математической гипотезы: экстраполяция классических уравнений на новую область при полном отказе от их физического толкования, использование в теории с самого начала фундаментальных законов физики (закона сохранения энергии и т.д.), промежуточные проверки гипотезы опытными фактами (излучение черного тела – фотоэффект – опыты Франка-Герца – теория атома), трудности в физической интерпретации полученных математических уравнений.

Теория атома Бора непосредственно касалась двух областей физики: спектрального анализа и химических свойств элементов, имеющих к началу XX века огромное количество опытных фактов. В теории излучения черного тела речь шла о непрерывных спектрах, которые были известны еще со времен Ньютона. Однако в 1859 году Бунзен и Кирхгоф, поместив в пламя горелки поваренную соль, обнаружили наличие линий в спектре излучения. Далее было показано, что и молекулы других элементов дают не непрерывные, а линейчатые спектры, были замечены серии линий в спектрах, показано уменьшение расстояния между соседними линиями серии при движении к фиолетовой области. Заметна была и некоторая закономерность в интенсивности линий спектра. Естественно, были и попытки подобрать математические формулы для длин волн линий спектра, которые впервые привели к успеху в 1885 году в работе Бальмера, получившего чисто эмпирическую формулу для одной из серий спектра атомарного водорода. Далее аналогичные формулы были получены Лайманом, Пфундом, Пашеном и Брэккетом. Стало ясно, что дискретность спектров связана с каким-то свойством атомной системы. Кроме того, классическая электродинамика на основе доквантовых представлений вообще не могла объяснить устойчивое существование излучающего свет атома в течении более чем 10-8 секунды. Выход был найден Бором и состоял в идее о квантовании еще одной величины: момента импульса электрона, что приводило к представлению о невозможности движения электрона по любой орбите.

Теория Бора объяснила спектр водорода, позволила теоретически вычислить постоянную Ридберга, уточнила представления о спектре гелия, обосновала отличие постоянной Ридберга для водорода и для гелия, на основе спектроскопических данных Бор вычислил основную величину электронной теории - отношение заряда и массы электрона. Через два года идеи Бора были развиты Зоммерфельдом и Вильсоном. Они заменили круговые орбиты электрона на эллиптические и ввели элементы релятивистской механики (зависимости массы электрона от скорости и т.д.). Эти усовершенствования позволили объяснить тонкую структуру спектров, эффект Штарка и спектроскопию рентгеновских лучей. Успехи теории говорили о том, что в ее постулатах отображена в какой-то мере сущность явлений микромира, что подтверждало гносеологическую позицию Бора, отказавшегося от попыток построения классической модели атома. На основе наглядной модели атома Резерфорда Бор взял классические уравнения, изменил смысл входящих в них величин, проквантовал их, "забрал" у электрона возможность излучать при движении по орбите (хотя он и движется с ускорением) – и получил новую физическую теорию. Однако, в отличие от формулы Бальмера, постулаты Бора не являются эмпирическими, а построены с помощью математической гипотезы.

Начав с вопроса о том, какие изменения нужно внести в классические механику и электродинамику, Бор дальше, по сути, искал математическую форму этих изменений. Его постулаты означают определенное преобразование математического выражения классических законов, квантование уравнений классической физики. Взяв за основу классическую модель атома водорода (ротатор), Бор построил для кинетической энергии электрона новую математическую форму, аналогичную кинетической энергии осциллятора Планка. Но из выражения теории Планка Бор сохранил лишь математическую форму, заменив физический смысл. Квантованный вид энергии ротатора привел к квантованию момента импульса, и, следовательно, к дискретности орбит. Постулат квантованности орбит, таким образом, представляет собой математическое соотношение между параметрами системы. А метод его построения – аналогия. Условие же частот Бора является развитием аналогии между вибратором Планка и атомом как излучающими системами. Более того, как показано в работах Бора, квантовый закон излучения можно рассматривать как основанное на принципе соответствия видоизменение классических уравнений.

Однако, к 1922 году наряду с успехами теории Бора-Зоммерфельда стали все больше проявляться ее недостатки. Например, она не объясняла дисперсию, поглощение, рассеяние света, а точные количественные расчеты спектров были получены только для атома водорода, в ней не пояснялись эффекты Пашена-Бака, аномальный эффект Зеемана, теория пасовала при попытке описать поведение атома водорода во взаимно перпендикулярных электрическом и магнитном полях, тонкое и сверхтонкое расщепление спектральных линий и т.д. Спасти ситуацию могла лишь принципиально новая теория квантов, новая как физически, так и математически – квантовая механика.

Для новой квантовой теории атомных процессов характерны два момента. Во-первых, она означала признание прав идеи дискретности в физике. Законы классической физики не ограничивали количественных значений входящих в них величин, постулировалось, что они выполняются для сколь угодно малых масс, энергий и т.д. Новая теория была знаменательна тем, что ввела постулаты Планка и необходимость дискретных представлений в свои исходные уравнения. Тем самым ее уравнения оказались справедливыми для микропроцессов, в которых величина действия сравнима с постоянной Планка. Таким образом, она выступала как обобщение, уточнение классической механики, результат отображения роли дискретности в процессах микромира. Потом выяснилось, что это торжество дискретности означало и торжество непрерывности (корпускулярно-волновой дуализм), то есть трудности теории Бора-Зоммерфельда в значительной степени объяснялись абсолютизацией дискретного.

Первый вариант квантовой механики (матричная механика) был разработан в работах В. Гейзенберга, М. Борна, П. Йордана. На протяжении нескольких лет в рассуждениях физиков преобладала следующая схема. Сначала изучаемый процесс рассматривался в рамках классических теорий с использованием квантовых условий Бора-Зоммерфельда, потом использовался принцип соответствия, координату и импульс раскладывали в ряды Фурье, а от полученной совокупности классических частот, фаз и амплитуд этих рядов переходили к квантовым частотам. Этот путь был "обходным", а отсутствие точных правил преобразования "классика–кванты" приводил часто к ошибкам. В работе же Гейзенберга предлагалось заменить операции над величинами операциями над их совокупностями. Мысленный анализ материала позволил Гейзенбергу, опираясь на подобие математической формы важных уравнений классической теории и условия частот Ритца, записать основные уравнения новой теории, экстраполировать на квантово-механические явления старые уравнения, придать им новый смысл. Рассмотрение предыстории матричной механики показывает также, что этот мысленный анализ стал следствием накопления практики применения математических гипотез на протяжении ряда лет в рамках теории Бора (многократное использование идеи соответствия Бора, связанные с этим неудачи и успехи показали, как нужно истолковывать эту идею, следовательно, сама практика подсказала, какой новый математический аппарат нужно создавать, какими должны быть исходные уравнения новой теории).

В то время как основатели матричной механики в основном развивали идеи Бора, в работах Луи де Бройля основную роль играла гипотеза световых квантов Эйнштейна. Он искал выход из затруднений теории Бора-Зоммерфельда и пришел к выводу о том, что для объяснения таинственной дискретности в явлениях микромира нужно обратиться к понятию волны, то есть опереться на представления о непрерывности. Кванты света Эйнштейна к 1925 году обретали все большую популярность, ряд теоретических исследований говорил в пользу этой гипотезы, однако решающую роль сыграло объяснение теорией световых квантов эффекта Комптона, явно противоречащего классической теории излучения. Возврат к корпускулярной теории света (отвергнутой в XIX веке) ставил вопрос о том, правомерно ли считать свет только волной или только потоком частиц. К такому же выводу пришел и де Бройль, но не только на основе успехов теории квантов, а в ходе размышлений над схожестью математической формы уравнений оптики и механики. Речь шла об аналогии между фундаментальными законами: принципом наименьшего действия (ПНД) в механике и принципом Ферма в оптике. Впервые такой вопрос возник в работах Мопертюи еще в XVIII веке, однако тогда он имел наивный, полуэмпирический характер, вызванный представлением о свете как о потоке корпускул, кроме того, сам Мопертюи объяснял принцип наименьшего действия неким божественным предвидением. Наиболее математически доскональную форму ПНД обретает в работах Гамильтона, которые были результатом использования оптико-механической аналогии (канонические уравнения – оптические уравнения, ПНД – принцип Гюйгенса). После Гамильтона оптико-механическая аналогия была практически забыта. Ее открыли вновь, когда развитие науки стало невозможным без ее использования.

Де Бройль заметил полную аналогию математического выражения принципов Ферма и Мопертюи при замене фазовой скорости на величину, обратно пропорциональную скорости перемещения материальной частички, откуда был сделан вывод о том, что корпускулы (материальные точки) и волны тесно взаимосвязаны.

Итак, путем преобразования старых, классических уравнений, наделения входящих в них величин новым физическим смыслом, де Бройль пришел к новым уравнениям, имеющим принципиально новую физическую интерпретацию, то есть, применил метод математической гипотезы.

Каждой движущейся частице он сопоставил действительную волну, и наоборот, любой волновой процесс связал с частицей, движущейся вдоль луча волны. Для этого необходимо было связать корпускулярные характеристики (импульс, энергия) с волновыми (частота, длина волны). Для электромагнитных волн связка была очевидной: формула Планка, связывавшая энергию и частоту излучения, и формула Эйнштейна для импульса фотона. Де Бройль обобщил эти уравнения связи на материальные частички и связанные с ними волны. Кроме того, предложенная им форма уравнений для волн материи была обладала релятивистской инвариантностью, то есть удовлетворяло едва ли не главному требованию, предъявляемому к любой физической теории. Из этого видна важная эвристическая роль теории относительности при построении новых теорий. Де Бройль также обобщил уравнения для фазы волны (частичке теперь придавался смысл плоской волны, распространяющейся в пространстве. Однако в этот момент возникли трудности с интерпретацией скорости движения волны, которая во всех случаях, кроме электромагнитных волн, оказывалась гораздо больше скорости света в вакууме – предельной скорости передачи взаимодействия. Характер волн материи де Бройля стал совсем неясным. Причина парадокса была в проникновении классических представлений о "волнах в воздухе" в теорию де Бройля. Оказалось, что для волн материи существует совершенно невозможный для классики разрыв между волной и энергией: волны могут быть лишены энергии! На этом примере виден типичный источник затруднений при интерпретации результатов математической экстраполяции: проникновение в теорию старых представлений.

Безусловным успехом теории де Бройля явилось волновое объяснение квантовых условий, оказалось, что в атоме могут существовать устойчиво электроны лишь на тех орбитах, на которые укладывается целое число фазовых волн материи. Так квантовое условие впервые обрело реальные физический смысл, хотя сам физический смысл фазовых волн оставался пока неясным. Однако речь шла о мостике между теорией Бора-Зоммерфельда и оптикой, а, вслед за ней, и классической механикой, что свидетельствовало о некоторой связи квантовой и классической теорий. Однако для уточнений характера этой связи требовалось более детальное изучение оптико-механической аналогии.

Следующий шаг в изучении проблемы был сделан Э. Шредингером. На основе аппарата классической физики ему удалось отыскать уравнение, положенное в основу волновой механики. В отличие от создателей матричной механики, отказавшихся от наглядности своей теории, Шредингер изначально надеялся на объяснение наглядных атомных явлений в рамках своей теории, стремясь связать квантовую теорию с классической физикой, показать их тесную связку.

В марте 1926 года в своей первой статье Шредингер предложил способ решения некоторых квантовых задач с помощью первоначальной формы своего уравнения. Вся новизна этой статьи была в том, что он в своих квантовых вычислениях оперировал достаточно обычными дифференциальными уравнениями в частных производных. Это привело к утверждению о том, что вместо квантовых условий, выглядевшим столь сторонними сели классической физики, можно свести задачу квантования к математическому условию, в котором не идет речь о целых числах. Дело было в том, что математический аппарат классической физики уже давно позволял решать некоторые задачи, важную роль в которых играли дискретные физические величины. Например, задачу о колебаниях закрепленной струны или мембраны, когда возбуждаются лишь те колебания, которые целое число раз укладываются в длину струны. Математически же эти колебания описываются дифференциальным уравнением в частных производных, а дискретность частот или длин волн логично возникает при решении такого уравнения. Аналогичный характер имеет целый класс так называемых волновых уравнений, имеющих в качестве решения некоторый набор собственных функций.

Уравнение Шредингера не являлось обыкновенным дифференциальным уравнением, просто подобно последнему, обеспечивало дискретность действительной физической величины: энергии стационарных состояний. Самым важным в работе Шредингера была догадка о том, какими квантовыми условиями нужно заменить краевые и начальные условия классической математической физики. Он предположил, что найденные в рамках его уравнения решения должны быть достаточно "хорошими", как это обычно полагается и в классике. На основе данного требования Шредингер установил, что энергия атома может принимать любые положительные и только дискретный набор отрицательных значений. Дискретная часть энергии полностью соответствовала теории Бора-Зоммерфельда, если ввести в уравнение Шредингера квант действия – постоянную Планка.

Формально при выводе своего уравнения Шредингер преобразовал известные в классической механике уравнения Гамильтона-Якоби к квантовому виду, наделив входящие в них величины новым физическим смыслом. Это был чисто математический, не имевший физического обоснования вывод. Математический переход был осуществлен, осталось только придать ему физический смысл.

Основой такого перехода являлась математическая аналогия между оптикой и механикой. Новая теория строилась на основе старых уравнений, не отвергая наглядной формы математических соотношений. Используя волновые уравнения, Шредингер придал каноническим уравнениям четкий геометрически наглядный смысл: распространение волновых поверхностей в пространстве. Но эта аналогия была незавершенной. Заслуга Шредингера в том, что он выявил неравноправность механики и оптики в такой аналогии, оптика играет гораздо большую роль, чем механика, а, следовательно, механику можно развить дальше по пути, предложенному оптикой. В оптике существуют два раздела: геометрическая и волновая теории, различие между которыми связано с размерами неоднородностей в среде, через которую распространяется свет. В действительности аналогия существовала лишь между геометрической оптикой и механикой, не существовала механической параллели понятиям длины волны, частоты, формы волны и т.д. Но классическая механика оказывается недостаточной при очень малых размерах траекторий, то есть тоже "зависит" от размеров неоднородностей среды. А раз так, то классическая механика полностью соответствует геометрической оптике и не подходит, когда размеры механических неоднородностей становятся сравнимы с длиной волны. Там уже нужна волновая механика, аналогичная волновой теории света.

Шредингер допусти, что все многообразие атомных явлений можно объяснить, экстраполируя волновую оптику на механику атома, то есть видоизменить и обобщить математические схемы волновой оптики применительно к условиям микромира. Так, на основе математических преобразований, он ввел понятие волновой функции (а с ней амплитуду и частоту), выразил длину волны через механические величины, показав, что аналогия с геометрической оптикой совершенно неприменима к внутриатомным явлениям (когда размеры системы сравнимы с длиной волны). Далее, используя классической волновое уравнение, Шредингер приходит к квантовому волновому уравнению.

Математическая гипотеза Шредингера состояла в экстраполяции волнового уравнения на область микропроцессов. К мысли о такой экстраполяции он пришел, развивая идею де Бройля про необходимость синтеза волновых и корпускулярных представлений, детально проанализировав оптико-механическую аналогию. Именно эта аналогия и легла в основу экстраполяции классической теории волнового движения на внутриатомную область

Вскоре после вывода своего уравнения Шредингер показал тождественность волновой и матричной механики.

Но для того, чтобы полученный формализм имел право называться физической теорией, необходимо было дать физическую интерпретацию входящим в него величинам. Гейзенберг, Шредингер и другие вынуждены были полностью покориться логике метода математической гипотезы. Применение полученного ими аппарата означало выход за рамки макроскопических представлений, что физики начали мыслить категориями микромира. Это мышление носило след отрыва от системы понятий классической физики и еще не привело к развитию новых понятий и представлений. Проблема интерпретации, таким образом, была проблемой снятия этой абстрактно-математической формы конкретного физического знания, приведение математических форм в соответствие с представлениями физики. Элементы физического объяснения появились в виде статистического толкования квантовой механики и принципа неопределенности.

Открытие дифракции электронов ставило вопрос, о каких же волнах идет речь в волновой механике. Раз волна де Бройля – абстрактное понятие, то почему же она так явно проявляет себя в эксперименте? Так как в теории Шредингера волна описывалась волновой функцией, то естественным образом стал вопрос и о смысле волновой функции как таковой. После серии неудачных попыток связать эти понятия с представлениями классической физики (о частичке как о волновом пакете и т.д.) они, наконец, обрели совсем необычное для классики объяснение в рамках понятия вероятности. Сам формализм волновой механики приводил к выводу о вероятностном характере квантовых процессов, а квантовая характеристика состояния, волновая функция, тоже должна была, таким образом, иметь вероятностный смысл. Квантовая теория не давала ответ на вопрос о том, что произойдет. Она говорила лишь, с какой вероятностью может произойти тот или иной исход из многих возможных. Волны материи де Бройля были волнами вероятности наступления того или иного события.

В матричном методе Гейзенберга существенную роль играли так называемые коммутационные соотношения, математическое выражение неперестановочности операции умножения матриц. Фундаментальную роль играло такое соотношение для матриц координаты и импульса, возникшее как обобщение постулатов Бора-Зоммерфельда. Из него напрямую следовала невозможность точного одновременного измерения координаты и импульса частички. То есть, к микрообъектам совершенно неприменимы классические представления о положении в пространстве и скорости движения. Таким образом, от квантовых условий Бора, через постулаты Бора-Зоммерфельда, физика пришла к соотношению неопределенностей Гейзенберга, которое привело уже к физическому толкованию входящих в него величин. По сути, в 1927 году была найдена физическая интерпретация тех принципов, развитие которых началось еще Планком в 1900 году, когда он на основе математической гипотезы пришел к идее кванта.

Столь быстрое развитие квантовых представлений стало возможно благодаря досконально развитым математическим теориям: математическому анализу, линейной алгебре, матричной алгебре (матричная механика), потом методам математической физики (волновая механика), наконец, теории самосопряженных линейных операторов (тождественность матричных и волновых представлений). Кстати, дав толчок развитию квантовой механики, теория операторов сама столкнулась с новым набором задач, что привело к ее дальнейшему развитию.

Итак, в классическом естествознании (и физике), в XVII – конце XIX века, в центре стоит идея, согласно которой объективность и предметность научного знания достигается лишь тогда, когда из описания и объяснения исключается все, что относится к субъекту и процедурам его познавательной деятельности. Эти процедуры принимались как раз и навсегда данные и неизменные. Конкретизация классической физики осуществлялась с учетом доминанты механики. Объяснение истолковывалось как поиск математических причин и субстанций, носителей сил, детерминирующих данное явление. В соответствии с этим развивалась механическая физическая картина мира.

В конце XVIII века происходит переход к дисциплинарно организованной науке, когда механическая картина мира утрачивает статус общенаучной. Одновременно произошла дифференциация дисциплинарных идеалов и норм исследования, хотя общие познавательные установки классической науки сохранились.

Конец XIX – первая половина XX века связаны с формированием неклассической науки (и физики в частности). Переход от классической к неклассической науке подготовлен изменением структур духовного производства, кризисом мировоззренческих установок классического рационализма, пониманием того, что сознание, постигающее действительность, само в нее погружено, ощущает свою зависимость от социальных обстоятельств. В науке этот процесс был связан с цепью революционных открытий в различных областях знания и характеризовался отказом от прямолинейного онтологизма и пониманием роли относительной истинности теорий и картины природы. Изменившиеся идеалы и нормы доказательности и обоснования знания: экспликация при изложении теории операциональной основы вводимой системы понятий (принцип наблюдаемости) и выяснение связей между ними и предшествующими теориями (принцип соответствия) – вызвали значительное расширение поля исследуемых объектов, открывая пути к исследованию саморегулирующихся систем, созданию целостной научной картины мира. При этом неклассическая наука не уничтожает классическую, а только ограничивает сферу ее деятельности. Именно в неклассическую эпоху теоретические физические исследования часто использовали метод математической гипотезы.

В современную эпоху, в последнюю треть XX – начало XXI века мы являемся свидетелями новых радикальных изменений в основании науки. Часто эти изменения характеризуют как глобальную научную революцию, в ходе которой рождается постнеклассическая наука. Интенсивное применение научных знаний практически во всех сферах социальной жизни, изменение самого характера научной деятельности, связанное с революцией в средствах хранения и получения информации (компьютеризация науки, появление сложных приборных комплексов, которые обслуживают исследовательские коллективы и функционируют аналогично средствам промышленного производства) меняет характер научной деятельности. Наряду с дисциплинарными исследованиями на передний план все более выдвигаются междисциплинарные и проблемно-ориентированные формы исследовательской деятельности. Если классическая наука была ориентирована на постижение изолированного фрагмента действительности, то специфику современной науки определяют комплексные исследовательские программы, организация которых во многом зависит от определения приоритетных направлений, финансирования, подготовки кадров. Реализация комплексных программ порождает ситуацию сращивания в единой системе деятельности теоретических и экспериментальных исследований, прикладных и фундаментальных знаний, интенсификация прямых и обратных связей между ними. В результате усиливаются процессы взаимодействия принципов и представлений картин реальности, формирующихся в различных науках. Все чаще изменения этих картин протекают не столько под воздействием внутридисциплинарных факторов, сколько путем прививки идей из других наук. Поэтому стираются разграничения между картинами реальности, определяющими видение предмета той или иной науки. Они становятся взаимозависимыми и предстают в качестве фрагментов единой общенаучной картины мира.

В междисциплинарных исследованиях наука сталкивается с такими проблемами, которые в отдельных дисциплинах изучаются лишь фрагментарно, что часто приводит к необнаружению эффектов системности в них. Объектами изучения же таких исследований часто становятся уникальные системы, характеризующиеся открытостью и саморазвитием, которые и детерминируют облик современной, постнеклассической науки. Саморазвивающиеся системы же характеризуются принципиальной необратимостью процессов, а взаимодействие с ними человека как бы включает его в систему, видоизменяя поле ее возможных состояний. Еще более сложный тип объектов представляют собой исторически развивающиеся системы, которые в последнее время все больше входят в естествознание вообще и в физику в частности. Именно идеи эволюции и историзма становятся основой того синтеза картин реальности, вырабатываемых в фундаментальных науках, которые сплавляют их в целостную картину исторического развития природы и человека.

Ориентация современной науки на исследование исторически развивающихся систем перестраивает нормы исследовательской деятельности (возникают идеалы исторической реконструкции, аппроксимация и компьютерные программы в теоретических исследованиях). Эмпирический анализ уникальных исторически развивающихся систем проводится, как правило, с использованием ЭВМ.

При этом, как и при переходе к неклассической науке, становление постнеклассической науки не приводит к уничтожению представлений и познавательных установок классики и неклассики. Они будут использоваться в некоторых познавательных ситуациях, но только утратят статус доминирующих и определяющих облик науки. С этими познавательными установками и методами исследования на второй план отходит и метод математической гипотезы, хотя в некоторых теоретических задачах он все еще дееспособен и приводит новым результатам.

**Заключение.**

В отличие от классической физики, когда математический аппарат создавался только вслед за физической интерпретацией величин, неклассическая физика часто оперирует с абстрактными объектами, о смысле которых изначально ничего не известно. Одним из возможных методов построения новых неклассических теорий является математическая гипотеза, оперирование абстрактными математическими объектами, их преобразование на основе уже существующих уравнений без изначального постулирования физического смысла входящих в них величин. Практически вся теоретическая схема микромира – квантовая теория – была построена именно в результате математической экстраполяции классических объектов и уравнений. Так родились теории Планка, Бора, Бора-Зоммерфельда, корпускулярно-волновой дуализм де Бройля, матричная механика Гейзенберга, волновая Шредингера, квантовая электродинамика, хромодинамика и т.д.

К достоинствам метода математической гипотезы следует отнести его эвристическую роль в развитии физики, математическую логичность его преобразований, наконец, возможности по отысканию новых теоретических схем.

Наряду с этим у метода есть и существенные недостатки. Так, он, как правило, приводит к трудностям при физической интерпретации математических объектов, непросто также и выбрать изначальные предпосылки для введения гипотезы.

Метод математической гипотезы сыграл огромную роль в развитии неклассических представлений в физике, фактически, был механизмом формирования нового типа мышления на уровне микрообъектов, отрыва от классических представлений в физике микромира, объяснению микроявлений.

В постнеклассической науке акценты в познавательной деятельности смещаются на системные, саморазвивающиеся образования, теоретические и экспериментальные исследования сращиваются, объединяются прикладные и фундаментальные знания. В этой ситуации метод математической гипотезы не отвергается полностью, но отходит на второй план, как и все методы неклассической науки, ставшие теперь не определяющими. Его применение ограничено лишь некоторыми познавательными ситуациями.

**Список литературы.**

1. Степин В.С. Философская антропология и философия науки. М., 1992.
2. Степин В.С. Становление научной теории. Мн., 1976.
3. Степин В.С., Томильчик Л.М. Практическая природа познания и методологические проблемы современной физики. Мн., 1970.
4. Эвристическая роль математики в физике и космологии. Сборник научных трудов методологических семинаров ленинградских физико-математических институтов АН СССР. Л., 1975.
5. Степин В.С., Елсуков А.Н. Методы научного познания. Мн., 1974
6. Свириденко В.М. Роль математичної гіпотези в пізнанні мікроявищ. Київ, 1962.
7. Акунов А.А. Особенности познания в современной физике. Фрунзе, 1982.
8. Мандельштам Л.И. Лекции по оптике, теории относительности, квантовой механике. М., 1972.
9. Вавилов С.И. Избранные сочинения, т.3. М., 1956.
10. Ландау Л.Д. Собрание трудов, т.1. М., 1966.
11. Бор Н. Избранные научные труды, т.2. М., 1971.
12. Эйнштейн А. Творческая автобиография. // УФН, 1956, 59(1).
13. Dirac P. Physical interpretation of quantum mechanics. 1942.