

ФИЗИКАНЫҢ ӘДІСТЕМЕСІ

МЕТОДИКА ФИЗИКИ

УДК 165(075), 530.1

Методологические проблемы построения теоретической физики

The methodological construction problems of theoretical physics

Арынгазин К.М., Васильева И.Ф.

Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова (e-mail: a-rina-75@mail.ru)

Мақалада теориялық физиканы әдіснамалық құру мәселесі қарастырылған. Бұнда ол үш философиялық логикаға (кеңістік, қозғалыс және материя) негізделген. Осы үш іргелі ой арқылы қалай теориялық физиканың үш басты бөлімдері құрылатыны көрсетілген: мысалы, классикалық механика, электродинамика, салыстырмалық теория және кванттық физика. Кванттық термодинамика және кванттық статистика үшін «спектралдық кеңістік», «оның геометриясы» деген ұғымдар енгізілген. Теориялық физиканы қарастырғанда ол педагогикалық тұрғыда сипатталып, оның бірыңғай тұтас физикалық теория екендігі қамтамасыз етілген.

In this article the methodological construction problems of theoretical physics course are considered. It is shown that theoretical physics construct on the basis of three philosophic logics (space, motions, matter) and three fundamental ideas, which are arise from their. Three main parts of theoretical physics on the basis of these ideas are formulated: classical mechanics, electrodynamics, optics, special and general relativity and also quantum mechanics. The notion of spectral space and its geometry for quantum thermodynamics and quantum statistics is introduced. The application of pedagogical approach on consideration of the theoretical mechanics, which provided ultimately formation of indivisible physical theory, is substantiated.

Образование — это тот ключевой момент, фактор, без которого познать мир невозможно. В этом процессе особая роль принадлежит вузу.

В конце четвертого курса студенты физического факультета завершают изучение теоретической физики, и каждый из них имеет свое понимание и знание этого сложного предмета. Они получают сумму знаний по различным разделам теоретической физики, и слагаемые этой суммы столь разнообразны, что зачастую не поддаются сложению. У студента складывается «кусочное» представление о теоретической физике, о физической картине мира и нет целостной работающей конструкции.

С другой стороны, сегодняшние многочисленные и крайне сложные физические теории и проблемы их понимания требуют ясного освоения того, что сближает и объединяет разные разделы физики, сохраняясь в каждом разделе, независимо от его названия.

Изучив методологию построения теоретической физики, студент должен приобретать не сумму, а систему базовых научных знаний и понимать то, как нужно освоить законы, чтобы создать в будущем работающую эффективную методику познания и применять ее в практической деятельности.

Студенты, внимательно ознакомившись с методологией, логикой и идеями построения теоретической физики, поймут красоту внутренней структуры всей физики.

На наш взгляд, одним из достоинств методологического знания является то, что в нем можно стандартно и наглядно изобразить все известные законы физической природы, более того, увидеть проблемы физики, особенно теоретической, в будущем.

В принципе, законов природы может быть столько, сколько известно физических величин. Однако из всех известных величин мы выделяем в качестве базовых пространство, время и массу, показывая тем самым, что они, пронизывая насквозь всю систему, изменяются, в то же время оставаясь

неизменяемыми. Это и есть фундаментальный закон природы, на который опирается физическая наука.

Здесь необходимо отметить, что пространство и время как способ измерения незаменимы в физической теории, но для объяснения разнообразных законов природы они недостаточны. Необходимо в эту систему включить материю, поскольку эта двойка в определенных условиях может переходить в единую координатную систему, образовать простое единое пространство — пространство Минковского [1]. А для получения разнообразия необходимо, как минимум, две величины. Такой дополнительной в физике величиной является материя, которая эквивалентна энергии. Энергия и ее изменения и сохранения (как один из фундаментальных законов природы) составляют основы разнообразия материального мира. Следовательно, мы должны рассмотреть ее в единстве с пространством и временем, как триаду построения и познания мира.

Цель, которую мы преследуем, заключается в том, чтобы целостно изложить научные основы построения теоретической физики, объяснить суть теории и метода этого построения. Мы хотим убедить читателя в том, что существует возможность не только адекватно объяснить физический мир, но целенаправленно его раскрывать как целостность, понимать и уметь использовать открываемые физической возможности практического применения в своей профессиональной деятельности.

Изложенные в статье логики, идеи и принципы являются тем стержнем, который, как было отмечено выше, «сшивает» разделы теоретической физики в целостную систему. Такой метод изложения может значительно облегчить изучение крайне сложных разделов теоретической физики. Более того, знание и понимание этих логик, идей и принципов дают возможность в дальнейшем заниматься наукой.

Отсутствие в традиционных учебниках таких подходов, которые бы связывали все разделы теоретической физики в целостную систему, является существенным фактором, мешающим также синтезировать физику и математику, философию и педагогику, затрудняющим целостное восприятие картины мира.

Освоение данного метода познания теоретической физики поможет студенту значительно легче понимать, что происходит в реальном физическом мире. Данный подход полезен и для преподавателей, особенно для тех, кто читает лекции по всем разделам теоретической физики, а не только ее отдельные разделы.

Теоретическая физика является мощным, очень сложным разделом всей физики. Она также составляет основу многих наук, в частности, астрономии, химии, биологии, космологии, кибернетики и других. Сложность ее состоит в том, что она представляет собой синтез, единство физики и математики, особенно таких разделов математики, как геометрия, алгебра, математический анализ, теория рядов, теория групп, топология, тензорные исчисления, дифференциальные и интегральные уравнения и др. А также она применяет законы философии и педагогики, поскольку в процессе изучения теоретической физики происходит формирование мировоззрения личности студента и предлагается методика изучения предмета. Знание методологических основ построения и изложения теоретической физики имеет фундаментальное значение в понимании физики, самой теоретической физики, ее предмета, объекта исследования, процессов, явлений и, в конце концов, в познании физической картины мира, образа мира. «Человек всегда стремится сначала построить для себя простую картину мира. Затем придать ей смысл, тем самым субъективизировать ее, т.е. построить образ мира, сформировать в себе воображение, а воображение человека важнее, чем знание», — писал Эйнштейн [2].

В связи с этим мы хотим в этой статье вкратце рассмотреть методологические проблемы построения теоретической физики, т.е. раскрыть логическую организацию, идеи построения, методы, средства, принципы и формы, способы научного познания, преобразования математического и физического миров и других, которые имеют непосредственное отношение к ней.

На наш взгляд, теоретическая физика построена на основе трех философских логик и вытекающих из них трех фундаментальных идей.

Первая логика — *пространство*. Это логика больше математическая, нежели философская. Вторая логика — *движение*. Она является больше физической логикой. Третья логика — *материя*, логика материальности мира. На наш взгляд, первая логика — метафизическая, вторая — диалектическая, третья — материалистическая. Однако каждая из них, рисуя картину мира, образ мира, используя определенный метод познания, придает определенной смысл этим методам. Первый метод берет свое начало из идеи Евклида. Этот метод называется аксиоматическим. Но нет оснований отказываться от

аксиомы: «Мир бесконечен в пространстве». Однако с крушением идеи (метафизики) Канта завершилась и метафизическая логика, на этом фундаменте началась новая, диалектическая логика.

Крушение метафизической логики обусловлено тем, что там «не действует время», т.е. в этом методе время «заморожено», отсутствует движение, в то время как весь мир находится в вечном движении и развитии. Это свойство пространства является не фактом реального мира, а идеей, рожденной в умах философов и математиков. «Если хотите, это — защитная реакция ума на изменения в окружающем мире. Именно изменчивость мира является причиной, которая с логической необходимостью обусловила создание великого множества математических объектов, остающихся неизменными во все времена. Эти объекты выполняют функцию «эталонов», «точек опоры», «необходимых для объяснения изменений, происходящих в реальном мире», — пишут О.Л.Кузнецов, Б.Е.Большаков [3; 99]. Такой мир — созданный математиками, искусственный мир, в его геометрическом представлении [4].

Все тела природы протяженны — это неоспоримый факт. Но есть и другие реальные «вещи» — так называемая «длительность», «временной отрезок». Мы встречаемся не только с телами, но и с такой «вещью», которая называется мысль. Но ведь мысль не является телом. Значит, в мире, в котором мы живем, кроме тел есть еще нечто, к чему предикат «протяженность» неприменим. Но к этому нечто применим другой предикат — «длительность». Вот здесь и начинается «трещина» метафизического взгляда на мир: ведь «атомы», носители протяженности, по определению выведены из-под власти времени, пишут О.Л.Кузнецов, Б.Е.Большаков [3; 101]. А отсутствие времени останавливает процесс движения, развития природы. Значит, мы вынуждены к этой пространственности «добавлять время». Следовательно, мы должны переходить от идеи пространства как замкнутого мира к миру как процессу, движению, изменяющему мир. А движение — это взаимодействие пространства, времени и материи, это процесс, отвечающий на вопрос, где, когда и что движется. Здесь появляется новая, особая мысль, идея о материи, о материальности мира. Мысль рождается, развивается, умирает и вновь рождается в новом качестве во времени и в движении материи. С мыслями рождается, появляется как «дополнение к мысли» материя, которая сохраняется и изменяется, превращаясь из одной формы в другую, завоевывая все большее и большее пространство и время. Таким образом, рождаются новые картины, образы мира, мир пространств, мир движения, мир развития, реальный развивающийся физический мир (материальный мир).

Роль мысли еще и в том, что, например, линию, квадрат, куб, окружность и т.д. невозможно «физически изготовить», все они — «чистые произведения мысли», «произведения времени», с участием массы. Изменение положения материальной точки есть траектория, они рисуют квадрат, эллипс и т.д. в своем движении, в зависимости от времени. Однако все предыдущие идеи, логики не решают полностью проблему реального мира. Значит, нужна новая логика, так называемая логика материальности мира, без нее и пространство и время — ничто.

Таким образом, мы дошли до самого главного в двух логиках, где начинаются границы применимости теории физики к реальному миру. Переход к другим логикам и идеям — это переход от природы как пространства и времени к природе пространственно-временной материи, их различным формам, где главным действующим лицом все-таки выступают пространство и время в определенном качестве, как форма и способ взаимного существования с материей.

Переход состоит в том, что мы отказываемся видеть мир как набор тел или предметов и только их движений, но начинаем видеть мир в полном наборе свойств, и свойств также инерции и тяготения, взаимодействия зарядов, т.е. переходим к вопросу, что движется, что пользуется услугами этих двух логик. То есть переходим к решению проблемы пространственного распределения и временного изменения самой материи, массы, т.е. от создания искусственного математического мира через мир изменения, движения мира к реальной, обнаруженной в опытах, экспериментах и выражениях физической картине мира, образу мира.

Признак материальности мира в метафизическом представлении — это телесность, в диалектическом, временном — изменчивость, взаимопревращаемость материи. Так как мировой физический процесс протекает в пространстве и времени, то его единство с материей должно быть очевидным, обязательным, необходимым [1].

Материя — это сосредоточенность энергии в пространственно-временном изменении. Они эквивалентны (Эйнштейн). Если пространство и время являются формами и способами существования материи и ее характеристикой, то материя является формой и способом проявления свойств пространства и времени и их характеристикой. Они составляют единую систему мирового процесса. Где

материя — там пространство и время, где пространство и время — там материя. Где нет материи, там нет пространства и времени и, наоборот, где нет пространства и времени, там нет материи.

Материя обладает удивительным свойством — быть в форме вещества и в форме поля, т.е. обладает и вещественностью, и полевой формой. И это единое свойство проявляет себя по-разному в реальном мире. Если материя обладает больше «массивностью в форме макромира» и «медленностью» — в движении, то она ведет себя больше как вещество, чем как в поле волновой процесс.

Если материя обладает более «микроскопичностью» особой формы и «быстротой» в движении, то она ведет себя как волна, чем тело, вещество. В первом случае мы обнаруживаем нерелятивичность, а во втором — релятивичность процесса.

Если материя обнаруживается в виде элементарных частиц, в форме микромира, то ее нужно рассматривать как особый физический объект, обладающий и вещественными, и волновыми свойствами, т.е. как частица и как волна. Это единство и противоположность образуют новые качества материи (корпускулярно-волновые) — квантованные.

И даже «земля является открытой волновой динамической системой, и есть основания полагать, что эта система является «идеальной машиной», подчиняющейся универсальным законам природы» [3; 16].

Перечисленные разнообразия пространств, движений и форм материи позволяют построить разнообразные физические картины мира, образы мира.

Из анализа этих логик и разнообразных свойств пространств (\vec{r}), времени (t) и материи (m) родились три фундаментальные идеи, и на основе этих идей построены три главных раздела теоретической физики: 1) классическая механика; 2) электродинамика, оптика, специальная и общая теория относительности и 3) квантовая механика. Однако надо отметить, что теоретическая физика состоит не только из этих трех разделов. Их много. Но они все пользуются этими логиками, идеями и законами, принципами перечисленных разделов. Другие разделы теоретической физики получили развитие также в результате применения не только этих, но и различных новых логик, идей, принципов, подходов, положений и др.

Первая фундаментальная идея гласит, что пространство (\vec{r}), время (t) и масса (m) абсолютны. Они не зависят от скорости тел, если материя обладает больше свойством вещества, макроскопичностью и движутся медленно. Эта идея была предложена Ньютоном. И на основании этой идеи он заложил основу классической механики. Дальнейшее развитие она получила в механиках Лагранжа и Гамильтона, которые завершили классическую механику.

Механика Ньютона рассматривает свободное движение тел в евклидовом пространстве, где отсутствует вариация и \vec{r} , и t , а лагранжева механика — ограниченное движение в конфигурационном пространстве, где пространство варьирует, т.е. $\delta\vec{r} = 0$, а время не варьирует, т.е. $\delta t \neq 0$. Что касается гамильтоновой механики, то она вообще рассматривает механическое движение тел в фазовом пространстве, где варьируют и $\delta\vec{r} = 0$, и $\delta t = 0$, и является вершиной классической механики. В этих механиках, соответственно, применяются законы геометрии Евклида, конфигурационного и фазового пространства.

А.Эйнштейн писал, что Ньютон обнаружил, что «наблюдаемые геометрические величины и их проявления во времени в физическом смысле не характеризуют полностью движения. Следовательно, кроме масс и изменяющихся расстояний, между ними существует нечто такое, что определяет происходящие события: это «нечто» он воспринял как отношение к «абсолютному пространству». Ньютон понимал, что его законы могут иметь смысл только в том случае, если пространство обладает физической реальностью в той мере, как материальные точки и расстояния между ними» [5; 86].

Вторая фундаментальная идея — пространство (\vec{r}), время (t) и масса (m) относительны, т.е. они зависят от скорости тел; скорость света — величина постоянная, и она не зависит ни от скорости наблюдателя, ни от скорости источника. Этот принцип расширил принцип относительности Галилея. Здесь заложена идея о том, что материя (электромагнитные волны) обладает больше полевыми свойствами и представляет цуг волн. Эта идея была предложена Эйнштейном и получила название «теория относительности».

«Последовательная полевая теория требует непрерывности всех элементов теории, и не только во времени, но также и в пространстве, причем во всех его точках. Следовательно, материальной точке как фундаментальному понятию нет места в полевой теории», — писал А.Эйнштейн [6; 83].

Таким образом, возникла теория электромагнитных явлений и процессов, т.е. были заложены основы электродинамики, оптики и теории относительности, и в результате физика развивалась в

двух направлениях: 1) нерелятивистская, когда преобладает вещественное, макроскопическое свойство материи и скорость тел $v \ll c$ — скорости света и 2) релятивистская, когда $v \approx c$.

Если движения происходят в четырехмерном плоском пространстве Минковского, то такую теорию называют специальной теорией относительности, а если движения происходят в искривленных пространствах Лобачевского и Римана — общей теорией относительности. Искривление пространств происходит в результате действия силового поля (поля материи). Вот здесь проявляет себя в полной мере единство, взаимообусловленность этой тройки (\vec{r} , t , m).

Третья фундаментальная идея — пространство, (\vec{r}) время (t) и масса (m) квантуются, т.е. электромагнитные волны (фотоны) ведут себя и как частица, квант, а элементарные частицы (электрон, протон, нейтрон, атом, молекулы и т.д.) ведут себя не только как частицы, а также как волна.

Идея квантованности фотона — волны предложена Планком, а волновые свойства электрона — де Бройлем. На основе этих идей построена квантовая механика (нерелятивистская — Шредингером, Гейзенбергом, а релятивистская — Дираком).

С другой стороны, теория относительности также не смогла объяснить квантовые явления, поскольку она не учитывала вещественные свойства микромира, корпускулярные свойства материи. Значит, необходимо было найти законы, уравнения, которые учитывали бы одновременно оба свойства материи, т.е. дуализм элементарных частиц, микромира.

Таким подходом, охватывающим эти свойства микромира, оказался корпускулярно-волновой принцип, смысл которого состоит в замене обычных физических величин классической физики операторами, а волновые свойства материи — волновой функцией, где операторы действуют на волновую функцию, изменяя ее. Также предложен матричный подход Гейзенберга. Однако Дирак доказал, что эти подходы эквивалентны. Здесь оператор как бы характеризует корпускулярные свойства частиц, учитывая волновые, а волновая функция — полевые свойства частиц, учитывая корпускулярные свойства микромира. Их единство составило основу квантовой механики.

В данной механике применяются пространства векторов состояния и Гильберта, а для статистики и квантовой статистики — соответственно фазовые и спектральные пространства.

В результате были открыты удивительные, ранее не известные свойства элементарных частиц и появились новые понятия и принципы. Например, понятие спина моментов и других, которые являются особыми свойствами материи, и новые принципы: Паули, суперпозиции, неопределенностей Гейзенберга, дополненности и соответствия Бора и др. Интерпретация операторов показала, что они могут быть коммутирующими и некоммутирующими и с особыми свойствами, а волновой функции, — что квантово-механические процессы обладают вероятностным статистическим характером. Законы квантовой механики коренным образом отличаются от классической механики и классической физики.

Проявление этих принципов, в частности, таких как принцип неопределенности Гейзенберга, принцип Паули, повлияло на развитие всей физики и даже на развитие других наук, таких как химия, биология и др. Если бы не было этих принципов, то не было бы атомов, молекул, окружающего нас многообразия и главное — жизни на Земле и самого человека. То есть мы не смогли бы раскрыть тайны и секреты миров.

Кроме этих трех логик и трех фундаментальных идей, в построении современной теоретической физики в последнее время появились новые логики и идеи. В частности, предложено существование внутренних пространств, симметрий, характеризующих новые свойства материи, координатно связанных с внешним пространством, симметрией, но не зависящих от них. Также предложены идеи о суперсимметрии, супергравитации, суперструне, супермембране и т.д. Вместо преобразования Галилея и Лоренца появились новые калибровочные преобразования. Благодаря применению последних произошло объединение слабых и электромагнитных (электрослабых) взаимодействий и великое объединение, т.е. объединение электрослабых и сильных взаимодействий. Это тема следующих исследований. Тем не менее мы хотим обратить внимание еще на следующие проблемы теоретической физики.

В монографии «Геометрические идеи в теоретической физике» [7] не рассматривалась проблема статистической физики и термодинамики как одного из основных разделов теоретической физики. Некоторые вопросы этой проблемы были проанализированы в работе [8]. Но она была рассмотрена в теоретическом плане, а не в методологическом.

Мы хотим восполнить этот пробел, при этом обратиться к квантовой статистике.

Пространства, их геометрию отличает то, что по наблюдаемому признаку они могут определить не только сам объект, но и его форму, размеры и строение и некоторые свойства, подобно тому, как в музыке по звуку можно определить, какой инструмент исполняет эту мелодию. В то время не было известно, какое пространство играет эту роль. Нам удалось преодолеть эту трудность, получив интересные, глубокие результаты, определяющие закономерности развития квантовых термодинамических систем, раскрывая их внутреннюю структуру методом пространственной логики во время изменения составляющих термодинамических объектов, состоящих из бесконечно многих частиц, где не применимы законы предыдущих разделов теоретической физики. Таким пространством для квантовой термодинамики и квантовой статистики является спектральное пространство с определенной геометрией. Им оказались дифференциальные уравнения с частными производными и связь их асимптотики с группой симметрии. На методологическом языке это геометрия Гильбертова пространства, порожденная подпространствами собственных значений оператора Лапласа–Бельтрами. Это и есть основы спектральной геометрии квантовой статистики термодинамических систем, это геометрия пространственного распределения термодинамических систем. И здесь главная роль принадлежит и пространству, и движению, и массе. Движение характеризуется распределением, масса — состоянием системы.

Заключение

Рассмотренный подход позволил выдвинуть новое направление в преподавании теоретической физики — метод функциональной, динамической теоретической физики, в котором важная роль принадлежит внутренним движущим силам: логикам, идеям, принципам, выступающим в качестве системообразующего фактора.

Таким образом, физико-математический, философско-педагогический подход, будучи на категориальном уровне неотъемлемой стороной функционирования и развития теоретической физики, представляет многообразие сосуществующих и сменяющих друг друга специфических структур физического объекта разного масштаба, обеспечивающих, в конечном счете, становление единой физической теории.

References

1. *Minkovsky G.* Space and Time. In collected articles / Principle of relativity. — M.: Atom. Press., 1973. — P. 81.
2. *Einstein A.* Physics and reality. — M.: Science, 1985. — P. 62.
3. *Kuznetsov O.L., Bolshakov B.E.* Steady development: Science foundations of projection in the nature–society–person system. — St. Petersburg–Moscow: «Gumanistika» Press., Dubna, 2002. — P. 99.
4. *Einstein A.* Collected scientific works. — M., 1966. — Vol. 2.
5. *Einstein A.* Collected scientific works. — M., 1964. — Vol. 4. — P. 85–86.
6. *Einstein A.* Collected scientific works. — M., 1964. — Vol. 2. — P. 82.
7. *Aryngazin K.M.* Geometrical ideas in theoretical physics. — Almaty: Rauan, 1994. — 360 p.
8. *Aryngazin K.M.* Geometrical methods in theoretical physics // Vestnik KarGU. — 1999. — P. 40–49.