

Перед вами новый курс — теоретическая физика. Что в ней изучается, как связаны между собой эксперимент и теория, курс общей физики и предлагаемый — теоретической, для чего учителю физики необходимы знания теоретической физики — ответы на эти вопросы содержатся во вводной главе.

Важная цель изучения физики будущим учителем состоит в овладении совокупностью общих ее идей, принципов, законов, общих сведений о строении, движении, взаимодействии объектов окружающего нас материального мира. Эта совокупность и есть физическая картина мира. Во вводной главе она раскрывается с качественной стороны, что позволяет изучать далее физические теории как фрагменты единой картины.

§ 1. Предмет и метод теоретической физики

Эксперимент и теория. Физика — наука экспериментальная: в ней для исследования объектов и явлений материального мира ставится специальный научный опыт — эксперимент, в котором целенаправленно изучают явление природы, материальный объект в строго учитываемых условиях. При проведении эксперимента обеспечивается возможность следить за изучаемым физическим объектом, воздействовать на него другими объектами, изменять условия протекания изучаемого физического процесса или явления, воссоздать или вызвать явление. Добытые с помощью эксперимента сведения представляют собой отдельные факты физической науки; устанавливаются частные законы. По мере накопления экспериментальных фактов и частных законов, в процессе исторического развития физики, возникает потребность их теоретического обобщения, которое достигается с помощью некоторых новых положений — исходных принципов или общих законов, составляющих основу большой группы уже открытых частных законов, физических явлений, свойств, фактов и т. п.

В «Диалектике природы» Ф. Энгельс писал: «Эмпирическое естествознание накопило такую необъятную массу положительного материала, что в каждой отдельной области исследования стала прямо-таки неустранимой необходимость упорядочить этот материал систематически и сообразно его внутренней связи... Но, занявшись этим, естествознание вступает в теоретическую область, а здесь

эмпирические методы оказываются бессильными, здесь может оказать помощь только теоретическое мышление¹.

Наиболее полно и последовательно теоретические обобщения физических знаний достигаются в физических теориях. Почему же возможно обобщение широкого круга физических фактов и отдельных законов в теории? Ответ на этот вопрос дает марксистско-ленинская теория познания — диалектическая логика. Она открыла материальное единство мира, всеобщую связь объектов и явлений в нем, познаваемость мира. Благодаря этим свойствам мира оказывается возможным для очень больших групп физических объектов и явлений найти главные законы — «клеточки познания», с помощью которых объединяются и объясняются все свойства объектов и явления из каждой группы. Теоретическое обобщение достигается путем выявления общности природы физических явлений и объектов, их сущности и исходного принципа.

В качестве примера можно рассмотреть историю изучения электрических и магнитных явлений, продолжающуюся на протяжении нескольких веков (и не закончившуюся в наши дни). В начальный период эмпирические знания об электричестве и магнетизме были весьма разобщенными: насчитывали, например, до пяти видов электричества, а электрические и магнитные явления трактовали как самостоятельные, не связанные друг с другом. Частные эмпирические законы электричества и магнетизма были открыты в конце XVIII и в XIX в.— это законы Кулона, Ома, Био и Савара, Ампера, Фарадея. Их обобщение достигнуто в теории Максвелла. Все электромагнитные явления оказались проявлениями одной физической сущности — электромагнитного поля, а основу теории электромагнитного поля — главные законы — составили уравнения Максвеля.

Функции теории. В настоящее время общепризнано, что теория является основной и ведущей формой знания для всех наук. Велика роль теории и в физической науке. В ходе социально-исторического процесса познания человеком окружающего мира и в ходе развития науки теория складывается для использования, приумножения и передачи следующим поколениям добытых знаний.

Итак, *первая функция теории* — использование человеком имеющихся знаний в практической деятельности. Практика выдвигает множество задач, решение которых не содержится в накопленных эмпирических фактах, хотя их весьма много и они разнообразны. Теория же (потенциально) содержит в себе ответ на любую задачу, которая относится к области ее применения. Например, располагая законами механики, можно теоретически рассчитать необходимую начальную скорость и время старта для космического корабля, направляемого в любую точку Солнечной системы. Решить такую задачу экспериментально нет никакой возможности. Важно заметить, что квантовая механика, например, позволяет понять и рассчитать любое явление на атомно-молекулярном уровне, начиная от строения элект-

¹ Маркс К., Энгельс Ф. Соч.— 2-е изд.— Т. 20.— С. 366.

ронных оболочек атомов, процессов испускания и поглощения света атомами и кончая свойствами атомов и молекул, их химическими взаимодействиями. Разобраться в многообразии этих явлений эмпирически невозможно.

Вторая функция теории — приумножение, добыча знаний. На переднем фронте физических исследований эксперимент тесно связан с теорией. Эксперимент не проводится вслепую; в нем ищется ответ на поставленный экспериментаторами перед природой вопрос, т. е. проверяется некоторое теоретическое предположение, или гипотеза.

После того как основные законы теории найдены и сформулированы на языке математики, из них получают множество конкретных выводов, обогащающих знания человечества. Таким образом, теория содержит не только готовые знания, но и определенный способ мышления. Теория отражает структуру и последовательность мышления человека, познающего окружающий мир: от фактов и эксперимента к центральному обобщению — закону, от него — к конкретным выводам — следствиям, применяемым на практике. Мышление, развертывающееся по этой схеме, характерно для нашего времени и известно под названием научно-теоретического.

«Высшим судьей» для любых теоретических построений и выводов является эксперимент, практическая деятельность людей. Истинность теории подтверждается не только специально поставленными «решающими» опытами, но и производственной деятельностью общества, причем тысячекратно, ежедневно и ежечасно. Например, принцип постоянства скорости света проверялся в специальных опытах, а вытекающая из принципов теории относительности формула $E = mc^2$ подтверждается работой промышленных ядерных реакторов.

Третья функция теории состоит в передаче знаний, накопленных человечеством, следующим поколениям. Теория как форма знания неразрывно связана с этой учебной задачей, стоящей перед обществом. Если нужно подчеркивать роль эксперимента в физических исследованиях, то в той же мере необходимо подчеркивать роль теории при обучении физике. Фундаментальная физическая теория содержит готовые знания, всесторонне проверенные на опыте и на практике. Знаниям специально придается целесообразная форма для передачи их при обучении — это и есть изложение теории в том или ином учебном курсе.

При изучении теории должны передаваться не только знания фактического материала, но и содержащийся в ней способ мышления. Овладев теоретическим мышлением, молодой человек не только разберется в ее готовых выводах, но и решит еще не решенные задачи, откроет неизвестные явления. Последнее чрезвычайно важно в педагогическом плане. Материальный мир в своих конкретных проявлениях неисчерпаемо богат и многообразен, поэтому рассматривать обучение как овладение суммой знаний недостаточно; все факты узнать и запомнить невозможно. Овладеть знанием — это значит овладеть способом познания, научиться правильно мыслить.

Задачи курса теоретической физики в пединституте. В соответ-

ствии со сказанным выше о соотношении между экспериментом и теорией ясно, что деление физики на экспериментальную и теоретическую достаточно условно. Прогресс в познании окружающего мира был достигнут человечеством посредством специализации наук. Поэтому физики-исследователи специализируются как экспериментаторы и как теоретики. Если первые ставят физические опыты, то вторые решают дифференциальные уравнения. Для отражения специфики экспериментального и теоретического методов исследований и в силу причин методического характера курс физики в пединституте (и университете) делится на курс общей физики и курс теоретической физики. В курсе общей физики накапливаются знания о физических явлениях, фундаментальных опытах, основных законах. Хотя в нем и изучаются элементы физических теорий, в целом в курсе осуществляется так называемый феноменологический подход, т. е. делается упор на сами явления, показ их на опытах, изучение отдельных законов. В курсе теоретической физики материал общей физики обобщается и подробно изучаются фундаментальные физические теории: классическая механика, теория относительности, электродинамика, квантовая механика, статистическая физика и термодинамика. Эти теории, каждая в своей области применения, с единых позиций описывают все физические явления, т. е. дают возможность понять, предсказать и рассчитать их. Названные фундаментальные теории применяются и в заключительных разделах курса теоретической физики — микроскопической теории вещества и физике атомного ядра и элементарных частиц.

Перед курсом теоретической физики ставятся следующие педагогические задачи:

- а) теоретически обобщить совокупность знаний студентов по курсу общей физики, дать единую физическую картину мира;
- б) познакомить студентов с математическими методами исследования и математическим аппаратом, применяемым в основных разделах теории для решения конкретных задач;
- в) дать прочную теоретическую основу для преподавания курса физики в средней школе.

Этими задачами обусловлена специфика изложения материала в нашем курсе. На первый план везде выдвигается идейная и эвристическая сторона теории, раскрывается механизм и сущность явления, дается физическая интерпретация математических моделей и выводов теории. Что касается конкретных задач, традиционно решаемых в существующих курсах, то число их ограничивается самыми необходимыми.

Предмет и метод теоретической физики. Одним из исходных понятий в науке является понятие структуры. Структура есть множество объектов, которые имеют прочные устойчивые связи между собой. *Физика изучает простейшие материальные структуры — элементарные частицы, атомы, молекулы, тела, поля, системы тел и полей, их строение, взаимодействие и движение.* Это объект всей физической науки, в том числе и теоретической физики.

Чтобы определить предмет теоретической физики, необходимо

ввести еще одно общее понятие — понятие модели. Под моделью подразумевается мысленно представляемая или материально реализуемая система, которая, отражая или воспроизводя объект исследования, способна заменить его так, что ее изучение даст нам новую информацию об этом объекте. Особено важны так называемые знаковые модели, где объекты заменяются словами или символами — знаками. В физике, как и в некоторых других науках, широко применяются специальные знаковые модели — математические.

Предметом теоретической физики являются математические модели, заменяющие реальные физические объекты.

Метод теоретической физики представляет собой математический анализ этих моделей, направленный на выявление их особенностей, свойств, связей между собой в тех или иных конкретных условиях. Полученный математический результат обязательно отображается на материальную структуру; выводы теории применяются на практике, проверяются в экспериментах.

В отношениях и связях между теоретической физикой и математикой имеются важные особенности.

Математический объект (число, вектор, функция, уравнение и т. д.) не полностью адекватен заменяемому им физическому объекту. Он отражает его главные черты, связи, но не охватывает всего многообразия свойств и связей объекта. Это всегда модель, и результаты ее изучения имеют характер относительной, а не абсолютной истины, они применимы в определенных рамках, границах. Например, понятие материальной точки в механике как объекта бесконечно малых размеров применимо примерно до 10^{-6} см. Для объектов меньших размеров — атомов и молекул — понятие микрочастицы имеет другое содержание. Приведем еще пример. Чрезвычайно широкое применение в физике имеют математические понятия непрерывности и бесконечно малых (элементарных) величин. Однако понятие непрерывности материи в механике и макроскопической электродинамике применимо лишь до тех пор, пока имеют дело с малыми объемами, содержащими очень большое количество дискретных микрочастиц. Соответственно элемент объема в физике — вовсе не математическая бесконечно малая величина, он может уменьшаться лишь до тех пор, пока не скажется дискретность вещества (атомно-молекулярная структура).

Математическое исследование модели имеет смысл при условии, что его выводы реализуются в материальных объектах, заменявшихся моделью. Но не все математические решения какой-либо задачи имеют физический смысл. Конечным критерием истинности математического результата служит соответствие его данным опыта и наблюдения.

Точное решение математических задач, возникающих в теоретической физике, часто либо недостижимо, либо не имеет большого практического значения. Дело в том, что применение выводов на практике связано с измерениями, а последние всегда ограничены той или иной точностью. Отсюда приближенный расчет в рамках необходимой степени точности вполне удовлетворяет потребности практики.

ки. Это, однако, не означает, что в теоретической физике вообще низка точность результата. В некоторых разделах и задачах достигается высокая степень точности, еще недоступная эксперименту.

Итак, физика в отличие от математики имеет дело с материальными структурами. Лишь на определенном этапе изучения они заменяются математическими моделями. Из истории науки известно, что потребности физики побуждали к развитию целые математические отрасли (например, дифференциального и интегрального исчисления в связи с задачами механики). В свою очередь физика находила в математике готовый математический аппарат (например, теория линейных самосопряженных операторов в квантовой механике, теория групп).

Цикл познания и структура теории. При изучении теоретической физики полезно иметь представление о цикле познания в социально-историческом процессе, отражающемся в структуре физической теории. Цикл в общих чертах представляется в следующем виде:

1. В процессе познания выделяются элементы знания, исходные для цикла. Они добываются экспериментально. Этому этапу в сложившейся теории соответствует основание (см. таблицу на форзаце). К основанию относится модель материальных объектов и взаимодействий (или идеализированный объект теории), а также описывающие их основные физические величины. Так, например, основная модель материального объекта в механике — материальная точка, модель взаимодействия — действие материальных точек на расстоянии между собой, исходные положения и величины — система отсчета, скорость, ускорение, масса, сила.

2. В процессе осмысливания множества фактов, частных законов возникают обобщения, которые отражают в себе сущность и единство рассматриваемых явлений. Выдвигается система постулатов, выражаяющих ядро теории. Под ядром теории понимаются общие законы или принципы, которые определяют связи между физическими величинами, устанавливая изменение последних во времени и в пространстве. Как правило, ядро современной теории составляет система дифференциальных уравнений. Например, ньютонова механика основана на трех постулатах (законах Ньютона) и принципе суперпозиции сил. Все эти положения имеют математическую форму. В ядре физической теории особая роль принадлежит законам сохранения энергии, импульса, момента импульса, а также ряда других величин. Основные уравнения теории должны быть согласованы с законами сохранения — только при этом уравнения правильно отражают природу. В ядро входят положения об инвариантности основных уравнений по отношению к некоторым преобразованиям, основные константы теории.

3. Из ядра теории с помощью логических умозаключений и математического анализа получают конкретные выводы или следствия теории. Они имеют смысл частных законов, отдельных физических фактов, значений физических величин и т. д. и часто оформляются как некоторые физические задачи. Разработка и развитие теории состоят в решении ее задач.

Для физической теории характерны количественные выводы, т. е. функциональные зависимости между различными физическими величинами. Число физических величин в процессе разработки теории возрастает по сравнению с исходными величинами в основании. Так, например, в механике после формулировки законов Ньютона вводятся энергия, импульс, работа и другие величины.

Общее требование, предъявляемое к теории, отчетливо сформулировано М. Борном: «...ценность теории тем выше, наше доверие к ней тем больше, чем меньше в ней свободного выбора, чем больше ее логическая принудительность»¹. Это значит, что для определенного круга явлений теория на основе системы своих понятий, исходя из ядра, с помощью однородных математических средств должна давать исчерпывающие выводы. В принципе теория должна давать конкретный вывод о любом объекте или явлении в своей области.

И наконец, важной особенностью теории является предсказание нового. Ядро теории потенциально содержит неизмеримо большую информацию, нежели известная совокупность фактов из данной области физики. В процессе конкретных выводов раскрываются неизвестные ранее стороны и связи явлений, открываются новые свойства и новые явления. Это эвристический характер физической теории — ее неотъемлемая и замечательная черта.

Становление и развитие теории невозможно в отрыве от производственной деятельности общества. Развитие науки побуждается и обеспечивается прогрессом производства, открывая в свою очередь беспредельные возможности для преобразующей и созидающей деятельности человека.

Теоретическая физика, как и физика в целом, связана с развитием ряда других наук. Мы говорили уже, что физика опирается на математику. А на физику опираются другие, как фундаментальные, так и прикладные, науки. Физика изучает материальные структуры, исходные для таких наук, как химия, биология, т. е. составляет теоретическую базу этих наук. Велика и хорошо известна роль физики как основы современной техники, как лидера научно-технической революции.

§ 2. Пространство и время в физике. Исходные модели материальных объектов

Геометрическая модель пространства и времени. Пространство и время как формы существования материи для физической науки являются исходными понятиями. Основные свойства реального или физического пространства² отражаются в его геометрической модели, применимой во всех фундаментальных физических теориях, изложенных в этом курсе. *Физическое пространство моделируется геомет-*

¹ Борн М. Физика в жизни моего поколения.— М.: Изд. иностр. лит., 1963.

² Этот термин применяется для отличия пространства как формы существования материи от так называемых фазовых пространств — вспомогательных математических понятий, используемых в физике.