

УДК 372.853

РОЛЬ МОДЕЛЕЙ В ФИЗИКЕ**Монастырский Л.М.***ФГБОУ ВО «Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону, e-mail: physdekan@sfedu.ru*

В статье рассматриваются модели в курсе физики, поскольку физика не может точно описать с помощью законов ни один реальный физический процесс. На реальные процессы оказывает влияние огромное количество внешних факторов, подчиняющихся законам теории вероятностей. Что же может дать физика в этом случае? Выход из этой ситуации связан с моделями в физике. Причем здесь идет речь о понятии модели не в смысле уменьшенной копии, а в смысле некоторых упрощений, которые могут построить теорию и точно рассчитать её параметры. Это вынуждает физиков использовать некоторые упрощения (модели), которые можно описать на языке законов физики. Затем результаты эксперимента, построенного на этой теории (приближении), сравниваются с результатами теоретического расчета и в случае их совпадения с учетом погрешности эксперимента говорят о том, что теория верна. Если результаты не совпадают, то строят новую теорию и повторяют процесс сравнения. Именно так и развивается физика с момента её зарождения как науки. Развитие понятия модели показано на примере изменения взглядов на строение атома, начиная от неделимого элемента вещества до современных представлений на языке квантовой физики, и структуры электромагнитного излучения, начиная с волновой теории и заканчивая дуализмом излучения и вещества.

Ключевые слова: модель в физике, физический процесс, теория вероятностей, погрешность эксперимента, классическая механика, квантовая механика

ROLE OF MODELS IN PHYSICS**Monastyrskiy L.M.***South Federal University, Rostov-on-Don, e-mail: physdekan@sfedu.ru*

The article discusses models in the course of physics, since physics can not accurately describe using laws any real physical process. The real processes are influenced by a huge number of external factors that obey the laws of probability theory. What can physics give in this case? The way out of this situation is connected with models in physics. Moreover, here we are talking about the concept of a model not in the sense of a reduced copy, but in the sense of some simplifications that can build a theory and accurately calculate its parameters. This forces physicists to use some simplifications (models) that can be described in the language of the laws of physics. Then, the results of an experiment built on this theory (approximation) are compared with the results of a theoretical calculation and, if they coincide, taking into account the error of the experiment, they say that the theory is correct. If the results do not match, then build a new theory and repeat the comparison process. That is how physics has been developing since its inception, as a science. The development of the concept of the model is shown by changing the views on the structure of the atom, starting from the indivisible element of matter, to the modern representation in the language of quantum physics, and the structure of electromagnetic radiation from the wave theory to the dualism of radiation and matter.

Keywords: model in physics, physical process, probability theory, experimental error, classical mechanics, quantum mechanics

Как известно, физика не может точно описать с помощью законов ни один реальный физический процесс. Здесь ключевое слово – точно. Это связано, прежде всего, с тем, что на реальные процессы оказывает влияние громадное количество внешних факторов, большинство из которых носит вероятностный характер и не поддается точному описанию. Что касается экспериментов, то они выполняются с той или иной погрешностью и говорить о точном совпадении с теорией не приходится. Например, в задаче говорится о равномерном прямолинейном движении, но такой процесс реально происходить не может и зафиксировать его мы не можем, так как с помощью любого эксперимента получается результат с той или иной погрешностью. Возникает вопрос, а зачем нужна физика? Что она может нам дать? При изучении физики в школе и в высших учебных заведениях преподаватели, как правило, мало внимания уделяют

(или совсем не уделяют) методологическим проблемам, связанным с необходимостью введения той или иной модели в различных разделах курса. Преподавание физики слугит, прежде всего, базой для формирования *научного* мировоззрения. Одной из функций обучения является воспитывающая функция, которая представляет собой неотъемлемый компонент комплексного подхода к обучению. Воспитывающий характер обучения – это выявление закономерностей, проявляющихся в любые эпохи развития человеческого общества.

Целью данной статьи является попытка показать, как в ходе исторического развития взглядов на строение окружающего нас мира изменялось мировоззрение ученых, каким образом формируются новые взгляды на строение окружающего нас мира, что позволяет находить применение новым теориям, развивать новые прогрессивные технологии и достигать существенного прогресса

в производстве. Это, прежде всего, связано с моделями в физике. Причем здесь идет речь о понятии модели не в смысле уменьшенной копии (кукла, машинка и т.п.), а в смысле некоторых упрощений, которые могут построить теорию и точно рассчитать её параметры [1, с. 14–15]. Затем результаты эксперимента, построенного на этой теории (приближении), сравниваются с результатами теоретического расчета и, в случае их совпадения с учетом погрешности эксперимента, говорят о том, что теория верна. Если результаты не совпадают, то строят новую теорию и повторяют процесс сравнения. Именно так и развивается физика с момента её зарождения как науки.

Материалы и методы исследования

Преподавание основ любой науки и, в частности, физики предусматривает формирование у школьников системы основополагающих понятий данной науки, вооружение учащихся знанием ее основных, фундаментальных законов и теорий, а также методов научного познания. Они играют важную роль в развитии мышления, формировании научного мировоззрения учащихся. В результате учащиеся постепенно приближаются к более полному овладению содержанием понятий, описывающих явления, их взаимосвязи. Как и в процессе научного познания, в процессе формирования знаний о физических понятиях, величинах происходит постепенное уточнение, углубление, расширение и развитие этих знаний. Это развитие носит диалектический характер.

Для решения задачи, поставленной в данной работе, использовался метод анализа соответствующей литературы, что позволило проследить различные этапы развития взглядов на строение мира, способы решения выхода из тех противоречий, которые возникали между новыми экспериментами и существующими теориями. В качестве метода исследования использовался теоретический анализ тех противоречий между новыми экспериментами и существующими теориями и способами решения этих противоречий.

Итак, эксперимент являлся источником новых идей в течение долгого времени. Особенно четко это можно продемонстрировать на основе экспериментов конца XIX – начала XX в. К концу XIX в. сформировалась классическая физика, в основе которой лежали законы Ньютона, в качестве источника электромагнитной волны представляли ускоренно движущийся заряд, который непрерывно излучает энергию, а свет имеет волновую природу. Атом являлся неделимой частицей, «кирпичиком» вещества. Рассмотрим, прежде всего, историю исследования теплового (черного) излучения. Известный английский ученый Уильям Томсон (Лорд Кельвин) сказал одному из своих учеников, что физикой больше заниматься не стоит. Она уже исчерпала свои возможности. Но существуют две проблемы, которые остались нерешенными: излучение абсолютно черного тела и строение атома [2, с. 9–10]. Существующие к тому времени теории излучения абсолютно черного тела не смогли описать результаты эксперимента. Макс Планк получил теоретически формулу, которая точно описывала результаты эксперимента, но при этом ему пришлось сделать совершенно невероятное для того времени

предположение о том, что энергия черного излучения распределяется дискретными порциями (квантами).

Выяснились и другие несоответствия между существующей классической физикой и результатами последних экспериментов. К тому времени уже были известны эксперименты по исследованию фотоэффекта. Как оказалось, законы фотоэффекта не могли быть интерпретированы в рамках классической физики. Вот здесь и появилась новая модель света. Устранить это несоответствие удалось А. Эйнштейну, которому для этого пришлось распространить идеи дискретности излучения не только на черное тело, но и на весь спектр электромагнитного излучения. Он ввел понятие энергии кванта в виде порции $\epsilon = h\nu$. Экспериментальное существование фотонов было доказано в опытах А. Комптона по исследованию рассеяния рентгеновских лучей в веществе. Открытие А. Эйнштейном квантовой природы света привело в дальнейшем к открытию дуализма (двойственности) света, как одновременно обладающего корпускулярными и волновыми свойствами.

Следующая модель строения вещества появилась в результате развития взглядов на строение атома. До конца XIX в. ученые предполагали, что атом невозможно разделить на составные части. И только после того, как Джозеф Томсон в 1897 г. открыл электрон – стало понятно, что ученые ошибались. Сначала появилась модель, в которой Дж. Томсон высказал гипотезу о том, что внутри атома находится положительно заряженное ядро. Вокруг ядра находятся равномерно распределенные электроны, и поэтому данная модель была названа «пудинг с изюмом». Согласно этой модели электроны в атоме располагаются подобно изюминкам в пудинге. Модель атома Томсона имела один основной недостаток. Она не могла объяснить дискретный характер излучения атома.

В 1906–1909 гг. Г. Гейгером, Э. Мардсеном и Э. Резерфордом были проведены опыты, в ходе которых альфа-частицы подвергались рассеиванию на поверхности золотой фольги. На основании результатов этих опытов Э. Резерфорд предложил другую модель строения атома. В модели Томсона электроны распределены в атоме равномерно, а в теории Резерфорда – вращаются в концентрических плоскостях. Отличительным фактором в опыте Резерфорда было использование именно альфа-частиц вместо электронов. Эта модель была названа «планетарной» за свое сходство с моделью Солнечной системы.

Однако, несмотря на все достоинства, на тот момент теория Резерфорда содержала в себе одно важное противоречие. По законам классической электродинамики, электрон, вращающийся вокруг ядра, должен был непрерывно излучать энергию. Из-за этого радиус орбиты, по которой двигается электрон, должен был непрерывно уменьшаться и упасть на ядро. Согласно этим представлениям, время жизни атома должно быть ничтожно малым.

Следующей моделью строения атома явилась модель атома Нильса Бора. Согласно его модели, электрон в атоме не подчиняется стандартным физическим законам. Именно Бор был тем ученым, который ввел в науку понятие о соотношении между радиусом орбиты электрона и его скоростью. В процессе создания своей теории Бор взял за основу модель Резерфорда, однако подверг ее значительной доработке.

Однако процесс изучения строения атома на этом не остановился, но дальнейшее её усовершенствование связано с квантовой механикой.

Обратимся теперь непосредственно к моделям в разных разделах физики, начнем с механики. Основной моделью механики является модель материальной точки, как тела, размерами которого в данной задаче можно пренебречь. Это позволяет при решении задач на динамику считать, что все силы, действующие на тело, прикладываются в центре тяжести тела независимо от того, где они реально приложены.

Причиной появления сил является взаимодействие этого тела с другими телами, т.е. силы всегда появляются попарно. С другой стороны, сила, действующая на тело, является причиной его ускорения. Рассмотрим тело, лежащее неподвижно на наклонной плоскости. Это тело участвует в двух взаимодействиях – с Землей и наклонной плоскостью. Следовательно, на него действуют две силы: сила $\vec{F}_T$ – сила тяжести и $\vec{R}$ – сила взаимодействия с плоскостью. Это реальные силы, и никаких других сил нет (рис. 1).

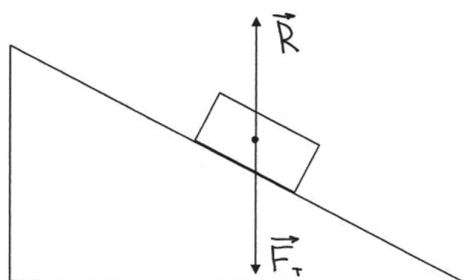


Рис. 1. Реальные силы, действующие на тело

Поскольку тело покоится на наклонной плоскости, то по I закону Ньютона эти две силы скомпенсированы, и рисунок именно так и выглядит. А где же силы трения? Далее должна появиться модель происхождения этих двух сил. Сила тяжести $\vec{F}_T$ непосредственно является проявлением гравитационного взаимодействия Земли и тела, а сила взаимодействия тела и наклонной плоскости $\vec{R}$ по происхождению является проявлением электромагнитного взаимодействия. Это взаимодействие можно условно представить в виде суммы двух взаимодействий (по происхождению электромагнитных). Одно из этих взаимодействий приводит к появлению так называемой силы реакции опоры $\vec{N}$, а другое приводит к появлению силы трения $\vec{F}_{тр}$ (в данном случае силы трения покоя) [3, с. 10–11]. Эти силы указаны на рис. 2.

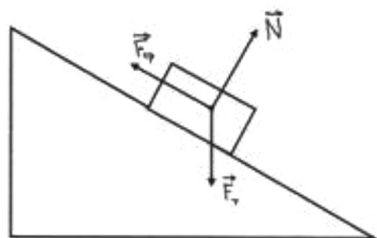


Рис. 2. Силы, действующие на тело в рамках модели

Здесь выполняется векторное равенство:

$$\vec{R} = \vec{N} + \vec{F}_{тр}.$$

В разделе статика используется уже другая модель тела – абсолютно твердое тело. Здесь силы рисуются в том месте, где они приложены, поскольку при расчетах используется понятие момента сил (рис. 3).

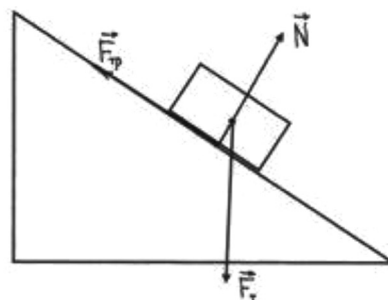


Рис. 3. Реальные точки приложения сил

Достаточно интересна роль моделей в молекулярной физике. Здесь сразу же возникают проблемы при попытках описать состояние газа, используя координаты и скорости каждой частицы (молекулы). Дело в том, что внутри вещества находится огромное количество молекул (атомов) и, следовательно, нужна некоторая модель для описания состояния такого количества частиц. Основная модель в молекулярной физике – это идеальный газ, в котором пренебрегают размерами молекул и силами взаимодействия между ними. Но остается ещё одна проблема. Все молекулы движутся с различными скоростями, распределенными в достаточно большом интервале. На первом этапе эта проблема решается путем введения некоторой среднеквадратичной скорости, с которой движутся все молекулы газа. Это сразу же позволяет записать основное уравнение МКТ идеального газа в виде

$$P = \frac{1}{3} n \cdot m \cdot V^2$$

здесь V^2 – средний квадрат скорости.

Другой подход к решению этой проблемы состоит в использовании некоторых параметров P , V и T для описания состояния идеального газа. В этом подходе можно записать уравнение состояния идеального газа (уравнение Клапейрона – Менделеева):

$$PV = \nu RT.$$

В этой модели нас не интересует внутреннее строение вещества, поскольку состояние системы описывается, с одной стороны, с помощью коллективных параметров, но, с другой стороны, зависящих от внутреннего строения. При этом можно рассматривать процессы, т.е. переход газа из одного состояния в другое, с достаточной степенью точности.

Дальнейшее приближение к реальному газу связано со специальной математикой – теорией вероятностей. В этом случае возникает возможность описывать на языке вероятностей распределение молекул по скоростям (распределение Максвелла) [4, с. 45–46].

В электродинамике основной моделью является электрон, как далее неделимая частица с присущими её свойствами (зарядом и спином). Эта модель остается неизменной на протяжении всего курса электромагнетизма [5, с. 9].

Представляет достаточный интерес развитие взглядов на строение света. В древности считалось, что свет состоит из частиц, которые испускают све-

тящиеся объекты и сам глаз. Из реальных фактов было известно, что свет распространяется по прямой линии, и угол падения на зеркальный объект равен углу отражения. Кроме того, было известно явление преломления света при его прохождении через прозрачные объекты. Первые опыты по выявлению природы света были проделаны И. Ньютоном в 1666 г. Он пропускал свет от отверстия в шторе через стеклянную призму и наблюдал на стене цветные полосы. На основании этого опыта Ньютон предложил модель света, в которой предполагалось, что свет состоит из семи составных цветов, распространяющихся прямолинейно в виде небольших частиц (корпускул). В этой модели можно было объяснить законы прямолинейного распространения и отражения света. С другой стороны, Ньютон уже интуитивно предполагал и другую модель света. Он пытался распространение света сопоставить с распространением звуковых волн. В его рассуждениях была попытка объяснитьхождение звука от колокола на колокольне, стоящей за горой, волновой моделью звука.

Одной из первых моделей, связанных со светом, было представление о переносе света посредством некоторой среды – эфира. Однако представление об эфире потерпело сокрушительное поражение в результате опыта Майкельсона – Морли, проведенного в 1887 г. До этого момента времени считалось, что эфир находится в состоянии покоя, и в нем движутся все планеты. Для проведения этого эксперимента Майкельсон изобрел специальный прибор – интерферометр, который позволял измерить разность хода двух когерентных пучков света и, на основании интерференции, уловить разность их хода с течением времени прохождения некоторых расстояний. Однако эксперимент дал отрицательный результат, который не подтвердил существование абсолютного движения относительно неподвижного эфира. Оказалось, что либо Земля увлекает за собой эфир, либо вообще никакого эфира не существует. Классическая физика была не в состоянии объяснить этот результат. К концу XIX в. накопились и другие факторы, которые не подчинялись классической физике. К этому времени уже полностью сформировалась классическая электродинамика усилиями Максвелла. В своих работах Максвелл доказал, что скорость распространения электромагнитных волн в вакууме не зависит от скоростей движения источника и приемника и равна скорости света. Уравнения Максвелла оказались инвариантными относительно преобразований Галилея, что противоречило классической физике. А. Эйнштейн, руководствуясь работами Г. Лоренца и А. Пуанкаре, разработал новую теорию (модель) – специальную теорию относительности (СТО). Оказалось, что при движении со скоростями, близкими к скорости света, отклонения от законов механики Ньютона становятся все более существенными. При этом второй закон Ньютона должен быть преобразован в соответствии с принципами СТО, а также импульс и кинетическая энергия тела стали иметь сложную зависимость от скорости. Специальная теория относительности нашла многочисленные подтверждения в ряде опытов и используется в соответствующих случаях [6, с. 120–123].

Однако вклад А. Эйнштейна в модели, описывающие строение окружающего нас мира, на этом не закончился. В 1916 г. А. Эйнштейн разработал новую геометрию теории – общую теорию относительности (ОТО), в которой постулируется принцип равенства

инертной и гравитационной массы. Из этого постулата следует, что гравитационное взаимодействие связано не с силовым взаимодействием тел и полей, как в классической механике, а с деформацией самого пространства-времени. ОТО в настоящее время является успешной моделью, которая хорошо подтверждена экспериментами и успешно используется.

Основные модели истоков квантовой физики уже описаны выше, а модели для описания поведения микрочастиц связаны опять с теорией вероятности. Основным понятием является дуализм вещества, т.е. корпускулярные и волновые свойства электрона, как частицы вещества.

Рассмотрим следующий опыт по аналогии с опытом Френеля для света. Для получения результата Френель использовал световые волны от одного источника, которые проходили сквозь небольшие отверстия, и на экране наблюдалась интерференционная картина в виде главного максимума посередине и ряда чередующихся минимумов и максимумов слева и справа. Проведем аналогичный, но мысленный опыт и вместо источника света используем источник электронов (например, нагретую металлическую нить). При этом в качестве экрана будем использовать детектор электронов, который может перемещаться вдоль линии перпендикулярной движению электронного пучка. В результате детектор зафиксирует картину, аналогичную картине на экране в опыте со светом. Оказалось, что электроны ведут себя в точности подобно свету. Квантовое поведение микрочастиц (электронов, протонов, нейтронов) совершенно одинаково. В начале XX в. накопилось огромное количество информации о поведении таких частиц, которое не укладывалось в рамки классической физики. В 1926–1927 гг. их поведение было объяснено на основе работ Шредингера, Гейзенберга, Борна. Однако оказалось, что такое поведение микрочастиц, описанное в этих работах, нельзя объяснить на основе механических моделей. Дело в том, что человеческий мозг может мыслить только механическими образами, а квантово-механическое описание ему недоступно. Многие ученые очень долго не воспринимали идеи квантовой механики на основе теории вероятностей. А. Эйнштейн писал в 1926 г. датскому физiku Нильсу Бору: «Квантовая механика действительно впечатляет. Но внутренний голос говорит мне, что это ещё не идеал. Эта теория говорит о многом, но всё же не приближает нас к разгадке тайны Всевышнего. По крайней мере, я уверен, что Бог не бросает кости». Когда была открыта квантовая механика, многие физики говорили: «Что же хорошего в ней, вашей теории?». Гейзенберг отвечал: «Я не обязан отвечать на такие вопросы, ибо вы не можете задавать их экспериментально» [7, с. 233].

Результаты исследования и их обсуждение

В работе показано, как в ходе исторического развития взглядов на окружающий нас мир менялись модели строения этого мира от первых наивных представлений до современных, которые не укладываются в рамки механических представлений в силу особенностей человеческого мышления. Причем на протяжении многих веков эксперимент предшествовал теории.

И именно расхождение результатов теоретических расчетов с результатами эксперимента заставляло физиков выдвигать новые, часто, на первый взгляд, фантастические теории. В последние несколько десятилетий первенство эксперимента в познании окружающего мира несколько изменилось. Теории стали предсказывать необходимость постановки новых экспериментов, часто достаточно дорогостоящих, которые не могли осуществляться в рамках одного государства. Это привело к созданию коллективных лабораторий, в которых совместными усилиями ученых разных стран выполняются уникальные исследования.

Выводы

Анализ результатов исследования позволил сформулировать методические рекомендации по изучению курса физики, которые заключаются в необходимости обращать внимание обучающихся на методику формирования новых физических представлений и понятий в курсе физики. Прежде всего, это связано с формированием моделей в физике. На протяжении всей истории развития взглядов на окружающий нас мир, модели строения окружающего нас мира претерпевали существенное из-

менение, чтобы привести в соответствие теоретический расчет и эксперимент. В последние годы роль эксперимента сводится в основном к проверке результатов теоретических расчетов, которые позволяют получать новые сведения о строении вещества. Данные методические рекомендации использовались при преподавании курса физики в некоторых школах г. Ростова-на-Дону и на физическом факультете Южного федерального университета.

Список литературы

1. Суриков В.В. Естествознание: физика: учеб. пособие для СПО. М.: Издательство Юрайт, 2019. 143 с.
2. Иродов И.Е. Квантовая физика. Основные законы: учебное пособие. 6-е изд. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. 319 с.
3. Черняк В.Г. Избранные главы физики: учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2019. 283 с.
4. Иродов И.Е. Физика макросистем. Основные законы: учебное пособие. 6-е изд. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. 210 с.
5. Иродов И.Е. Электромагнетизм. Основные законы. 9-е изд. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. 319 с.
6. Сацункевич И.С. Экспериментальные корни специальной теории относительности. 2-е изд. М.: УРСС, 2003. 176 с.
7. Фейнман Р.Ф. Фейнмановские лекции по физике. Т. II (3–4). Излучение. Волны. Кванты. М.: «Издательство АСТ», 2013. 236 с.