

Принципы решения физических задач

И. В. Федоренко

Национальный исследовательский университет «МИЭТ»

Обосновывается необходимость приведения в систему знаний по физике, полученных абитуриентами в средней школе. Обобщаются универсальные принципы, позволяющие учащимся выработать полезные навыки в решении задач по физике. Утверждается особая роль математических средств в формировании таких навыков. Обсуждается перво-степенное значение корректных формулировок физических законов и разумного выбора абстрактной модели. Подчеркивается эффективность системного подхода к решению физических задач и анализу смысла полученного результата.

Ключевые слова: законы природы; абстрактная модель; математический аппарат; система уравнений; системный подход.

Вопрос о роли физики в жизни людей давно уже перестали относить к числу дискуссионных. Ведь физика — наука о наиболее общих законах, которым подчиняются все явления в мире, а потому мы вправе ожидать от нее конкретных рекомендаций, при помощи которых можно было бы решать возникающие ежедневно проблемы. Физику изучают со школьных лет с целью не только получить знания, но и развить некоторые полезные навыки.

В связи с этим перечислим *достоинства* курса общей физики, внушающие большое уважение к этой дисциплине:

- 1) является фундаментом физического образования;
- 2) закладывает основы системного подхода к оценке ситуации;
- 3) имеет в качестве составной части на всех этапах изучения — опыт, выход в практику, а значит, связь с жизнью;
- 4) отличается индуктивным методом изучения на начальном этапе и дедуктивным — на последующих этапах;

5) приводит к убеждению в целостности картины мира и взаимосвязи явлений в нем;

6) формирует полезные для жизни навыки;

7) воспитывает уважение к истории развития человечества и к человеческой личности [1, с. 8].

Для многих учащихся целью изучения физики в школе, помимо получения базовых представлений о фундаментальных законах природы, является использование полученных знаний и умения решать задачи при дальнейшем обучении в вузе. Это умение необходимо также при сдаче единого государственного экзамена для успешного поступления в вузы, предусматривающие дальнейшее изучение физики и специальных дисциплин и курсов, связанных с ней тесным образом.

Решение задач — неотъемлемая часть процесса изучения основ физической науки, поскольку позволяет формировать и обогащать физические понятия, применять положения теории

при рассмотрении конкретных ситуаций. В процессе решения задач вырабатываются такие черты характера, как любознательность, самостоятельность в суждениях, развивается логическое мышление, приобретаются навыки моделирования реальных объектов и явлений.

Часто при решении задачи учащиеся выписывают чуть ли не все формулы, относящиеся к рассматриваемому в задаче явлению, чтобы затем попытаться их соединить для получения ответа. Такое «решение» нецелесообразно, тем более что даже если ответ получен верный, смысл хода решения ускользает, уверенности в правильности его нет, остается неприятное чувство неудовлетворенности. При таком подходе отсутствует логика, стройность и завершенность решения.

Как помочь учащимся в формировании полезных навыков — таких, которые могли бы обеспечить им успех в изучении физики, а вместе с ним и уверенность в своих силах и возможностях? Как уберечь их от соблазна рассматривать каждую очередную задачу по физике как задачу на сообразительность? Существует мнение: для того чтобы научиться решать задачи по физике, надо решать их самостоятельно. Безусловно. Но если не знать общих способов решения, то придется действовать мучительным методом проб и ошибок. Отсюда необходимость в наличии системы общих принципов решения произвольной задачи по физике. Попробуем собрать воедино утверждения, содержание которых имеет смысл таких общих принципов.

Первый принцип решения задач: ***в основе методов решения физических задач лежат физические законы.*** Это утверждение не случайно занимает первое место: в физике нет ничего важнее

физических законов. С них все начинается — с их формулирования и уяснения их смысла. Для глубокого понимания физики необходимо четко осознать степень общности различных физических законов, границы их применимости, их место в общей физической картине мира. При этом формулировки физических законов должны быть не только ясными и недвусмысленными, но и предельно корректными. Хотелось бы также, чтобы они были удобными для запоминания, а значит краткими. Но как ни привлекательны краткие формулировки, от многих из них приходится отказаться.

Один из самых поучительных примеров — формулировки законов сохранения в механике. В последние 10—15 лет появилось довольно много учебников и учебных пособий по механике, в которых законы сохранения трактуются по-разному, причем трактовки порой противоречивы. Противоречия возникают уже на этапе определения *изолированной и замкнутой систем тел*. С одной точки зрения, «изолированная» и «замкнутая» — это всего лишь синонимы, а значит, изолированную систему тел можно считать замкнутой, а замкнутую — изолированной. Но есть и иная точка зрения: «изолированная» и «замкнутая» системы тел — вовсе не одно и то же. Выясним, как соотносятся эти два понятия.

Необходимость их различия становится очевидной при первых же попытках корректно сформулировать законы сохранения импульса и механической энергии. В учебнике физики для 10 класса (Г. Я. Мякишев, Б. Б. Буховцев, Н. Н. Сотский) дана следующая формулировка закона сохранения импульса: «Если сумма внешних сил равна нулю, то импульс системы сохраняется <...> Импульс, очевидно, сохраняется в *замкнутой* системе тел, так как в этой

системе на тела вообще не действуют внешние силы». Второй фразы можно было бы избежать, если различать понятия «замкнутая» и «изолированная» система тел.

Дадим два определения:

1) *изолированной называется такая система тел, на которую не действуют другие тела;*

2) *замкнутой называется такая система тел, для которой равнодействующая всех внешних сил равна нулю.*

Тогда формулировка закона сохранения импульса очевидна: суммарный импульс системы тел сохраняется неизменным, если эта система является *замкнутой*.

Сложнее обстоит дело с формулировкой закона сохранения механической энергии. Рассмотрим примеры формулировки этого закона в школьных учебниках.

1. «Сумма кинетической и потенциальной энергии тел, составляющих замкнутую систему и взаимодействующих между собой посредством сил тяготения и сил упругости, остается неизменной» (С. М. Козел).

2. «Механическая энергия замкнутой консервативной системы сохраняется» (А. И. Чернуцан).

3. «В замкнутой системе, в которой действуют консервативные силы, механическая энергия сохраняется» (Г. Я. Мякишев, Б. Б. Буховцев, Н. Н. Сотский).

Обратим внимание на то, что во всех приведенных формулировках одним из условий сохранения механической энергии является требование замкнутости системы тел. Если принять за основу данное нами определение замкнутой системы тел, то условия замкнутости уже недостаточно для сохранения механической энергии. Например, когда пружину сжимают две равные по величине

и противоположные по направлению силы, выбранная система (пружина) является замкнутой, но ее механическая энергия изменяется. Для сохранения механической энергии надо потребовать выполнения более жесткого условия: система тел должна быть изолированной.

Кроме того, условия отсутствия внешних и внутренних диссипативных сил во всех трех формулировках избыточны. Действительно, зачем требовать отсутствия внешних сил и диссипативных сил внутри системы, если достаточно того, чтобы эти силы не совершали работы? А поскольку убыль механической энергии системы за счет действия сил трения внутри системы можно компенсировать работой внешних сил, можно потребовать условия равенства нулю суммарной работы внешних сил и внутренних диссипативных сил. В результате получим такую формулировку закона сохранения механической энергии: механическая энергия системы тел сохраняется неизменной, если *суммарная работа внешних сил и сил трения внутри системы равна нулю*.

Второй принцип решения задач: ***всякая физическая задача может быть решена только лишь в рамках некоторой выбранной абстрактной модели***. В каждом конкретном случае решение задачи начинается именно с выбора модели, отражающей те условия, в которых находится изучаемая система тел. Это — самый ответственный этап. От того, насколько правильно выбрана абстрактная модель, зависит не только результат решения, но и сама возможность получить ответ на поставленный вопрос. У физика никогда не бывает исчерпывающих данных об изучаемом явлении. Характерная для науки особенность состоит как раз в том, что можно описывать основные черты изучаемого явления, не зная многих деталей. Идеализированная модель,

которой мы заменяем реальные объекты, приблизительно правильно передает не все их свойства, а только те, которые существенны в рассматриваемом круге вопросов. Какие свойства реальных объектов существенны, а какие из них не играют заметной роли? Для того чтобы ответить на этот вопрос, необходим опыт. Анализируя явление, выделяют основное, главное, отвлекаются от второстепенного, несущественного — тем самым создают некоторую условную схему явления, пользуясь научными абстракциями.

Выбирая модель на первом этапе решения задачи, надо позаботиться о том, чтобы на последующих этапах не встретить непреодолимых трудностей — ни физического, ни математического характера. Другими словами, в рамках выбранной модели математическая запись физических законов, используемых при решении, должна иметь вид достаточно простых уравнений.

Третий принцип решения задач: **один из этапов решения поставленной задачи — математический**. Математический этап начинается решением замкнутой системы уравнений и заканчивается получением численного ответа. Безусловно, он менее важен, чем этап физический, но он не является второстепенным [2, с. 15]. К сожалению, иногда недооценивают роль этого этапа, считая, что его вообще можно не проводить. Ошибки, допущенные на математическом этапе, также нельзя считать второстепенными. Если при решении системы уравнений, или при переводе единиц измерения, или при арифметическом расчете совершена ошибка — решение задачи в целом нельзя считать верным.

В связи с этим уместно обсудить роль математических средств в формировании навыков решения физических задач. Данный вопрос требует деликатного

отношения, поскольку даже среди выдающихся физиков нет единой точки зрения на место математического аппарата в физике. По мнению ряда исследователей, роль математики в физике абсолютна в том смысле, что только на математическом языке и возможна истинная формулировка физических законов. Так, по словам А. Пуанкаре, физика «не может обойтись без математики; она дает <...> единственный язык, на котором [физика] в состоянии изъясняться» [3, с. 279]. Однако высказывание Э. Ферми прямо противоположно. Он считал, что в физике «нет места для путаных мыслей, и физическая сущность действительно понимаемого вопроса может быть объяснена без помощи сложных формул» (приводится по: [4, с. 178]).

Соотношение между физикой и математикой — сложная и многогранная проблема. Смысл содержания физических законов не сводится к математическим записям, в лучшем случае отражающим только количественную сторону исследуемого физического явления. Математическая формулировка физического закона не может раскрыть всей глубины его физического содержания, а буквальная трактовка приводит иногда и к заведомо неверным результатам. Вместе с тем чрезвычайная сложность и многообразие свойств физического мира объясняют эффективность математики в физике: любая, даже самая абстрактная, математическая конструкция рано или поздно находит адекватное применение в каком-либо разделе физики.

Приведенные выше мнения выдающихся физиков вовсе не исключают друг друга, а отражают различные аспекты обсуждаемого явления. Математика действительно предоставляет удобный язык для рассмотрения любых конкретных физических вопросов, допуская

при этом выбор надлежащего математического аппарата из нескольких возможных.

Проблема выбора адекватного математического аппарата при обучении физике тесно связана с одним из фундаментальных дидактических принципов — наглядностью. Можно говорить о наглядности формул или уравнений, если их использование позволяет учащемуся в рамках выбранной математической схемы уверенно анализировать рассматриваемые явления и получать правильные, согласующиеся с экспериментом результаты. Например, с одной стороны, наглядность, в обычном смысле, отсутствует, если мы записываем закон Ома для случая переменного тока на языке комплексных чисел. С другой стороны, это весьма абстрактное в математическом смысле выражение «наглядно», поскольку оно позволяет правильно определять и интерпретировать фазовые сдвиги в цепи переменного тока.

Четвертый принцип решения задач: **сначала — система уравнений, потом — решение.** На вступительных экзаменах по физике (в том числе в форме ЕГЭ) хорошо бывает видно, что у большинства выпускников средней школы нет навыка начинать решение задачи с составления системы уравнений. Почти все абитуриенты подставляют численные значения в первое записанное уравнение, вследствие чего утрачивается логика рассуждений, а сам процесс решения задачи напоминает бесполезные скитания в мире чисел и символов. Абитуриенты, успешно сдавшие вступительные экзамены, в ходе учебы в вузе с этой привычкой расстаются с большой неохотой. Поэтому перед преподавателем стоит проблема убедить студентов в эффективности и целесообразности системного подхода к решению задач. Этот подход, при котором сначала записываются

в виде уравнений основные утверждения и законы, затем эти уравнения преобразовываются и только потом в них подставляются численные значения величин, обеспечивает, помимо логичности рассуждений, целый ряд других удобств. Решающий задачу может увидеть, какие из величин, входящих в исходную систему уравнений, выступают в роли «параметров задачи», а какие — в роли констант. Вид уравнений и сопоставление числа уравнений с числом входящих в них неизвестных величин позволяет нам выбрать удобный алгоритм математических преобразований, приводящих к искомому результату.

Пятый принцип решения задач: **«задача решается глазами», т. е. через визуальное восприятие процесса, запись и оформление решения.** Все события в задаче должны быть смоделированы в воображении как можно детальнее (мультфильм, анимация). Это один из самых сложных навыков, которые необходимо освоить учащемуся. В помощь воображению предлагается рисунок. Он помогает удерживать в памяти некоторые детали, порой ускользающие из общей картины. Рисунок может быть и черновым. Но всегда должно выполняться условие: лишними деталями рисунок не отягощать. Например, если сказано, что тело плавает в стакане с водой, — не надо изображать стакан, достаточно изобразить границу раздела сред и тело в виде прямоугольника, причем такого размера, чтобы на нем можно было отметить объемы надводной, подводной части и общий объем, а также действующие на тело силы.

Шестой принцип решения задач: **последний этап решения физической задачи — анализ полученного результата.** На этом этапе выясняют, от каких физических величин зависит найденная величина, каков характер этой зависимости

и при каких условиях эта зависимость осуществляется. Рассматривают характерные частные случаи, вытекающие из общего результата. В заключение такого анализа продумывают возможность постановки и решения других задач путем изменения условия данной задачи. На последнем этапе, как и в ходе всего решения, физика и математика сопутствуют друг другу, но главным становится физический смысл полученного результата, его интерпретация.

В заключение обратим внимание на то, что рассмотренные принципы не связаны с каким-либо конкретным разделом физики или типом задач. В этом смысле они универсальны. Взятые в совокупности, они могут уберечь от многих оплошностей и ошибок. Самое главное: общие принципы решения

физических задач дают системный фундамент для анализа ситуаций, в которых законы физики выступают в роли основного средства достижения поставленной цели.

Литература

1. **Николаев В. И.** О дидактических достоинствах курса физики // Физическое образование в вузах. 2006. Т. 12. № 2. С. 8—14.
2. **Беликов Б. С.** Решение задач по физике. Общие методы. М.: Высшая школа, 1986. 256 с.
3. **Пуанкаре А.** О науке. Изд. 2-е, стер. М.: Наука; Гл. ред. физ.-мат. л-ры, 1990. 736 с.
4. **Храмов Ю. А.** Научные школы в физике: монография / Ред. В. Г. Барьяхтар. Киев: Наукова думка, 1987. 398 с.: ил.

Федоренко Ирина Владимировна — кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей физики (ОФ) МИЭТ.
E-mail: gpd@miee.ru

Статья поступила 19 апреля 2017 г.