3.1. Современная система методов решения физических задач в средней школе

«Прежде всего важно привить детям дух науки, научить, как вообще можно решать задачу математически, а уже затем помогать школьнику это общее знание конкретизировать в отдельных, частных задачах» [81].

В.В. Давыдов

3.1.1. Современный подход к решению физических задач

Методы решения физических задач, которые используются в обучении физике в школе, зарождались в недрах науки, поэтому претерпевают изменения вместе с ее развитием. Это связано и с увеличением объема физических знаний, и с изменением инструментария научных исследований, прежде всего с внедрением компьютерных сред и расширением вычислительных возможностей, и с общими тенденциями развития научного метода, в котором на первый план выходит моделирование со всеми своими атрибутами (см. параграф 1.2.). Учитывая цель формирования у человека исследовательского, поискового поведения, процесс решения учебной физической задачи должен быть похожим на небольшое научное исследование. Поэтому система методов решения физических задач, предназначенных для адаптации в школьном образовании, нуждается в пересмотре, тщательном отборе и структурировании, расстановке других приоритетов. В этой связи рассмотрим более подробно современные подходы к решению физических задач, соответствующие развитию методологии современной науки, основы которого были заложены в работах [52, 144].

Как и в настоящем научном исследовании, далеко не всегда ясно, какие именно действия приведут к правильному результату именно в данной задаче, а какие действия в ней совершенно неуместны и, в лучшем случае, приведут к громоздкому нерациональному решению, а в худшем вообще не позволят получить ответ на поставленные в условии задачи вопросы. Поэтому очень важно иметь общее представление о возможных подходах к решению задач, своего рода «стратегию» действий, способную обеспечить возможность правильного решения. Необходимую стратегию действий задает методический подход к решению физических задач, основанный на последовательном использовании трех уровней методологии физической науки [50].

Первый уровень характеризуется использованием конкретных (частных) физических законов, например, законов динамики при решении задач по механике. Как правило, решение задач на этом уровне требует использования более сложного или громоздкого математического аппарата, чем на последующих уровнях, хотя, вообще говоря, возможно использование и весьма элегантных математических методов, как, например, векторного метода при решении задач по механике.

Второй уровень характеризуется использованием наиболее общих, фундаментальных физических законов, например таких, как законы сохранения. Как правило, на этом уровне используемый математический

аппарат оказывается проще, чем при решении той же задачи на первом уровне. Основная трудность при решении задач на втором уровне – это создание качественной картины явления, которая позволяет записать уравнение соответствующего закона именно для рассматриваемого процесса. Третий уровень решения физической задачи характеризуется использованием общих методологических принципов физики, таких, как принципы симметрии, относительности, причинности, суперпозиции и т.д. При решении физической задачи на этом уровне иногда удается строго получить ответ, вообще не выписывая никаких уравнений. Часто удается сделать совершенно элементарные выкладки, которые были бы весьма громоздкими при решении задачи на других уровнях.

Ни одна задача относительно реальных явлений не решается точно. Всегда приходится пренебрегать влиянием каких либо воздействий, которые мало существенны для рассматриваемого явления, т.е. строить его физическую модель. При этом необходимо проводить оценку роли отбрасываемых величин и определять границы применимости используемой физической модели. Вопросы построения физических моделей реальных явлений и оценки условий их справедливости играют определяющую роль в процессе решения задачи [42, 154, 157, 245].

Стратегия поиска решения физической задачи с позиции указанных трех уровней заключается в следующем. Прежде всего, следует попытаться «угадать» ответ из «общих соображений». Конструктивная деятельность «из общих соображений» как раз и соответствует осознанному (и в этом случае более продуктивному) или неосознанному (первые интуитивные шаги) обращению к общим методологическим принципам физики. Как правило, на этом уровне отсутствует явная детальная разработка физической модели рассматриваемого явления. Здесь важно уметь понимать (или даже «чувствовать»), что может происходить или чего не может быть в рассматриваемой физической ситуации. Даже если таким путем удаётся найти решение задачи, всегда полезно решить ее и более стандартным образом, апеллируя к наиболее общим, фундаментальным физическим законам.

При использовании законов сохранения (энергии, импульса, электрического заряда) уже требуется тщательная разработка физической картины (т.е. физической модели) рассматриваемого явления, что иногда даёт возможность найти ответы на вопросы относительно тех явлений, для которых учащимся (а иногда и вообще в науке!) неизвестны описывающие их конкретные законы. Здесь необходимо проявлять особую внимательность, ибо иногда незначительное на первый взгляд изменение характера протекающего процесса может приводить к кардинальному изменению соответствующего проявления, и наоборот, иногда разным протекающим процессам могут соответствовать одни и те же законы сохранения и одинаковые соответствующие им уравнения.

К решению физической задачи на первом уровне следует приступать в том случае, когда ни использование методологических принципов физики, ни применение фундаментальных законов сохранения не позволяют найти ответы на вопросы, поставленные в условии задачи. Физические модели явления, создаваемые при решении задачи на первом и втором уровнях, схожи между собой, однако степень необходимой детализации физической картины при решении задачи на первом уровне, как правило, выше, чем при решении на втором уровне. Естественно, что именно первый уровень используется при решении таких задач, в которых условия сформулированы таким образом, что явно указывает на использование конкретных частных физических законов.

Важной особенностью реализации указанных направлений являются два существенных момента – активное использование качественных методов на разных этапах исследования физических явлений и адекватное применение математического аппарата.

Так, например, при применении методологических принципов в ряде случаев можно ограничиться только созданием вербальной физической модели явления и вообще не использовать математических выкладок. Оценка роли отбрасываемых при моделировании величин и определение границ применимости используемой физической модели также могут быть проведены качественными методами.

Весьма эффективными могут быть метод анализа размерности и метод подобия. При должном умении их удаётся иногда эффективно использовать при решении задач на различных уровнях методологии, особенно при решении сложных задач: указанные уровни методологии приходится использовать не «последовательно», в более сложных сочетаниях, когда в процессе решения выясняется необходимость обобщения или, наоборот, большей детализации первоначально выбранной физической модели явления. Обязательным также должно стать исследование полученного при решении задачи ответа на соответствие простым предельным и частным случаям, для которых ответ очевиден или может быть получен независимо от общего решения. В методике решения задач указание на необходимость и полезность этого этапа является общепризнанным и более или менее широко используется в практике решения задач. Однако поиск и использование частных и предельных случаев для проверки решения может оказаться нетривиальной методической проблемой. Например, возможны задачи, приводящие к различным классам решений, когда в одинаковых на первый взгляд, частных случаях получаются различные результаты [157]. Встречаются также ситуации, когда, казалось бы, в очевидном предельном случае получается результат, не соответствующий более общему решению, но это не свидетельствует о неправильности полученного общего решения, так как при формулировке предельной задачи может быть допущено существенное искажение исходных физических условий. Наименее исследованным в этой связи является направление, когда поиск предельных и частных случаев ведется с помощью других физических законов, а не тех, которые использовались в исходном решении. Этот аспект представляет собой еще одно яркое проявление принципа толерантности, рассмотрение использования которого в обучении решению физических задач было подробно проведено в работе [148], однако исследование предельных и частных случаев не затронуло.

Приведем пример, наиболее ярко демонстрирующий комплексное проявление всех указанных моментов – от применения общих методологических принципов до проверки полученного результата.

Задача. *В некоторый момент времени две звезды равной массы находятся на расстоянии l друг от друга и имеют скорости v_1 и v_2, направленные в противоположные стороны. Скорости звезд направлены под углом α к прямой, соединяющей звезды (рис. 3.1). Каковы массы этих звезд, если известно, что в процессе движения они сближаются до минимального расстояния r?*

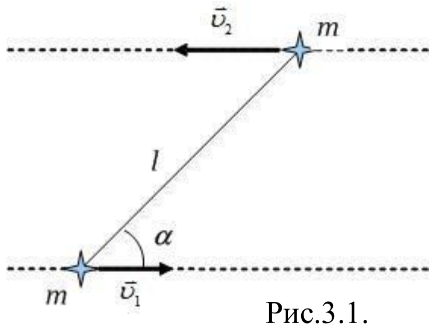

Рис.3.1.

Анализ ситуации сразу же позволяет выяснить, что состояние системы, описанное в задаче, может быть создано только искусственным путем, а в естественных условиях в природе невозможно, так как при реальном взаимодействии таких объектов у них не может быть скоростей, направленных антипараллельно. Модельная же ситуация вполне имеет право на существование и может быть объектом для более детального исследования. Уже этот этап решения задачи показывает принципиальные отличия реальной ситуации от модельных представлений.

С помощью закона сохранения энергии, записанного относительно центра масс рассматриваемой звездной системы, закона сложения скоростей в нерелятивистском приближении получаем выражение:

$$\frac{(v_1+v_2)^2}{4} - G\frac{m}{l} = u^2 - G\frac{m}{r},$$

где *u* – скорость звезд относительно центра масс в момент наибольшего сближения, которую можно найти из закона сохранения момента импульса, учитывая, что при максимальном сближении скорость u перпендикулярна прямой, соединяющей звезды:

$$ml\sin\square\ \frac{v_1+v_2}{2}=mru\ .$$

Приведенные выражения позволяют получить ответ:

$$m=\frac{1}{G}\cdot\frac{rl}{l-r}\cdot\frac{(v_1+v_2)^2}{4}\left(\frac{l^2\sin^2\square}{r^2}-1\right). \qquad (3.1)$$

Полученный ответ обязательно следует проанализировать на предмет соответствия частным случаям. Например, частным и более простым случаем к приведенной задаче может служить ситуация, когда скорости звезд в лабораторной системе отсчета одинаковы, угол □ = □/2, а значения скоростей таковы, что они вращаются вокруг центра масс системы. Очевидно, что при таких условиях звезды уже находятся на минимальном расстоянии друг от друга, т.е. $l = r$. Описание такой ситуации может быть проведено на другом методологическом уровне – не с помощью законов сохранения энергии и момента импульса, а с помощью второго закона Ньютона: $G\ \frac{m^2}{l^2}=m\frac{2v^2}{l}$, а, следовательно $m=\frac{2v^2 l}{G}$.

Однако при анализе исходного выражения (3.1) для этого частного случая у учащихся сразу же возникает математическая проблема: если $l = r$, то $l - r = 0$, к тому же $\sin\frac{\square}{2}=1$ и разность в скобках тоже оказывается равной нулю. Неопределенности такого вида легко решаются математически, но модель будет более реалистичной, если предположить, что первоначально l не равно r, но $l \to r$, т.е. $l - r \to 0$.

Тогда выражение (*) примет вид:

$$m\cong\frac{1}{G\cdot l-r}\,l^2\cdot\frac{(2v)^2}{4}\cdot\frac{l^2-r^2}{r^2}=\frac{1}{G}\cdot\frac{l^2}{l-r}\cdot 2v^2\cdot\frac{(l-r)\cdot(l+r)}{l^2}=\frac{1}{G}\cdot v^2\cdot(l+r)=\frac{2v^2 l}{G},$$

что совпадает с рассмотренным выше частным случаем.

Наибольшую методическую ценность разобранного примера составляет именно последний – проверочный – этап решения задачи. С его помощью учащиеся могут эффективно осваивать применение целого ряда действий, актуальных для настоящих научных исследований, прежде всего, использование разных уровней методологии не только для получения ответа задачи, но и для проверки его правильности (причем частный случай становится очевидным при применении для его анализа физических законов другой степени общности). Данное обстоятельство становится особенно существенным при проведении математического моделирования различных процессов, поэтому знакомство с ним на уровне решения физических задач, где всегда можно выявить причины возможных расхождений в результатах, является чрезвычайно полезным и актуальным для реализации целей современного физического образования.

Опыт обучения физике в средней и высшей школе показывает, что наибольшую трудность для обучаемых при решении физических задач представляет вопрос «с чего начать?», т.е. не само использование физических законов, а именно выбор, какие физические законы, и почему именно эти, следует применять при анализе каждого конкретного явления или процесса, рассматриваемого в условии задачи. Как отмечается в [157], даже после успешного решения задачи значительная часть учащихся не может объяснить, почему использование именно данного физического закона приводит к поставленной цели и возможно ли решение данной задачи на основе использования других законов.

Если рассматривать представленную выше стратегию решения физических задач с точки зрения необходимости преодоления особых психолого-познавательных барьеров, характерных для научного творчества, нетрудно видеть, что действия на первом методологическом уровне актуализируют позитивную функцию психолого-познавательных барьеров, мотивирующую творческие действия: общие соображения создают предпосылки («кирпичики») для преодоления барьера, интуиция позволяет сделать скачок, получить новый результат (субъективно новый, а может и объективно), а имеющиеся знания – обосновать полученные результаты, т.е.

закрепить достигнутые позиции.

На втором уровне методологии проявление психолого-познавательных барьеров (ППБ) неоднозначно: с одной стороны, необходимо точное применение физических законов именно для тех условий, для которых они были сформулированы, т.е. формируются ППБ как некоторые стереотипы действий, а с другой стороны, при обосновании возможности применения тех или иных законов развивается способность преодолевать ППБ другого типа – свертывания мышления. Сам же поиск возможности применения законов второго уровня методологии, безусловно, стимулирует позитивную функцию ППБ.

На третьем уровне – уровне частных физических законов – психолого-познавательные барьеры обнаруживаются и диагностируются легче, а поэтому и чаще всего. Именно на этом уровне, как правило, основные их типы проявляются в виде конкретных и разнообразных затруднений учащихся при решении задач, для преодоления которых учитель должен создавать специальные условия. Многочисленные методические разработки и полезные находки учителей, в основном, на сегодняшний день ориентированы на работу именно на этом уровне методологии.

Для успешного обучения решению физических задач развитие математической культуры учащихся не менее важно, чем развитие умения проводить анализ физической сути рассматриваемых явлений. Высокий уровень математической культуры предполагает использование имеющихся знаний для решения возникающих задач, которое выражается в применении разных математических языков, разных способов решения задач и умении оценивать их с точки зрения удобства для решения конкретной задачи [272]. При неудачном выборе математических методов задача по физике превращается в упражнение по математике, физический смысл которых учащимися порой не воспринимается. Поэтому основное требование, которое предъявляется к используемому математическому аппарату, – это его адекватность рассматриваемому физическому явлению. При решении физических задач не следует стремиться получать чисто аналитическое или чисто геометрическое доказательство. Математические выкладки следует делать максимально компактными (разумеется, не в ущерб математической строгости), используя при этом все имеющиеся у учащихся математические познания из разных разделов математики. Как уже отмечалось ранее, для учащихся одним из важнейших затруднений, которое препятствует освоению деятельности по решению задач, считается низкий уровень владения математикой, отсутствие умений переноса математических знаний, умений и навыков на физический материал [224]. Однако анализ методической литературы, опросы учителей, анализ работ учащихся показывает, что даже имеющиеся математические знания используются на уроках физики не полностью и нерационально. Подробно вопросы адекватного использования математического аппарата рассмотрены в [154].

Применение качественных методов в школьном курсе физики традиционно ограничивалось решением особого вида задач или задач-вопросов, причем преимущественно в основной школе. При этом качественными называли задачи, решение которых осуществлялось путем построения логической цепочки рассуждений и не требовало обязательных математических выкладок и вычислений. Все аналитические преобразования и расчеты в таких задачах используются только для качественного анализа и количественной прикидки. Основным назначением таких задач считалось развитие логического мышления учащихся и отработка структурных элементов знаний. При организации учебных занятий качественные задачи использовались прежде всего для активизации познавательной деятельности учащихся.

Не умаляя и не отвергая традиционное значение качественных задач в обучении и учитывая смену приоритетов в современном образовании, требующих освоения знаний и умений методологического характера, следует отметить новую роль качественных методов как средства диагностики и профилактики возникновения психолого-познавательных барьеров, что является основой формирования физического понимания.

Таким образом, подводя итоги краткого анализа современного подхода к решению физических задач, выделим его основные ***принципы***, которые должны быть положены в основу построения методической системы обучения решению физических задач, соответствующей современному состоянию науки и реализации концепции «образование – учебная модель науки».

1. ***Принцип приоритетности моделирования,*** выражающий ведущую идеологию решения физических задач как исследование физических явлений и процессов средствами физического и математического моделирования.
2. ***Принцип адекватного применения*** физических понятий, методологических принципов, фундаментальных и частных физических законов, стратегической основой его реализации является подход, учитывающий три уровня методологии, используемые в науке.
3. ***Принцип сбалансированного сочетания количественных и качественных методов,*** задающий оптимальную результативную тактику поиска решения.