изначально покоящегося бруска. Полагая массу шайбы близкой к нулю, находим единственный ответ, соответствующий этому предельному случаю.

3.2. Система методов обучения решению физических задач

«Развитие ума и интеллекта в большой степени зависит от увеличения «запасов» знакомых вещей, составляющих наш опыт, с одной стороны, и от нашей способности различать знакомые и незнакомые элементы в тех новых фактах, которые обнаруживаются в повседневной жизни или научном творчестве, с другой» [304, с.260].

Я.И. Френкель

3.2.1 Учебные физические задачи как средство диагностики психолого-познавательных барьеров

В реальной педагогической практике учителя постоянно сталкиваются с ситуацией, когда даже повторение действий по образцу зачастую вызывает у учащихся непредсказуемые затруднения. На первый взгляд, ошибки настолько разнообразны, что складывается впечатление о том, что предотвратить их невозможно, и остается только регулярно и систематически их исправлять, сообщая ученикам правильные ответы. Если попытаться выяснить у ученика, почему он поступил так, а не иначе, то вряд ли он сможет это объяснить, так как не осознает свои познавательные проблемы.

Одна и та же ошибка (познавательное затруднение) может быть порождена разными причинами. Опираясь на классификацию психолого-познавательных барьеров, предложенную А.И. Пилипенко в [236], и концепцию интеллекта М.А. Холодной [313], мы выделили три типа познавательных затруднений учащихся.

Психолого-познавательные барьеры исходного ментального опыта. Данные затруднения выражаются в отсутствии сформированных на должном уровне мыслительных операций, в неосознаваемых логических трудностях учащихся. Они закладываются в сознании учащихся задолго до начала изучения физики и могут проявляться самым неожиданным образом, например, в неготовности мышления учащегося к восприятию абстрактного материала, в неумении различить причину и следствие и т.д.

Психолого-познавательные барьеры языкового сознания. Этот тип затруднений проявляется, когда традиционное повседневное значение слов не соответствует научному смыслу; или возникает иллюзия понимания слов, так как их значение может зависеть не только от звучания, но и от контекста речи, от интонации. Это чрезвычайно важно, так как при обучении учащиеся чаще всего имеют дело не с явлением, а с устным или письменным текстом, смысл которого им необходимо адекватно понять. Понимание в этом случае реализуется только при условии, что сообщаемая информация включается в систему уже имеющихся знаний учащихся и служит ее развитию и переходу на следующий уровень. Если сообщаемая информация обладает для учащегося некоторой долей неопределенности и смысловой неполноты, то имеющиеся в тексте (в речи) смысловые пустоты могут быть заполнены учащимися по-разному, в зависимости от их жизненного опыта и знаний. Но зачастую эти пропуски остаются вовсе незаполненными, и текст (речь) теряет для учащегося смысловую связность и вызывает непонимание. Особо важно это для русскоязычного обучения физике. Многозначность слов русского языка, многообразие способов построения предложений, интонационная зависимость смысла и пр. особенности создают дополнительные трудности для передачи научного смысла.

Психолого-познавательные барьеры формируемого ментального опыта. Познавательные барьеры третьего типа выражаются в побочных эффектах свертывания мыслительных операций; в ситуативном характере усвоения информации; проявляются в предрасположенности учащихся к наиболее простым формам мыслительной деятельности, приверженности выполнения действий по алгоритму, установлению жестких связей между изучаемым материалом и конкретной ситуацией, препятствующих операциям переноса, формализме усвоения знаний.

Для обучения физике принципиальное значение имеют те барьеры, на которые в той или иной степени может оказывать влияние учитель в процессе преподавания. Так, например, учитель физики в своей работе может обнаружить наличие барьера исходного ментального опыта, но на его устранение должны быть направлены усилия не одного преподавателя, а комплекс педагогических мероприятий всего педагогического коллектива. Вопросы согласования деятельности учителей по формированию мышления учащихся подробно рассмотрены в [142].

Объективное и неизбежное присутствие в сознании учащихся познавательных барьеров второй группы учитель должен учитывать в своей речевой деятельности и стремиться нейтрализовать их негативное воздействие, целенаправленно работая над формированием адекватного понимания физического смысла терминов, понятий, устойчивых словосочетаний, принятых в науке. Известно, что уяснению физического смысла понятий вес, работа, сила, энергия, температура нередко мешает бытовое сознание и житейская практика учащихся. Однако употребление в процессе обучения, особенно в начале формирования тех или иных понятий, принятых в науке некоторых выражений, смысл которых учащимися еще осознан не до конца, не менее пагубно влияет на выработку умений анализировать различные физические ситуации. Так, например, словосочетание «электрический заряд» может употребляться в трех смыслах: свойство тел вступать в особый вид взаимодействия; физическая величина, характеризующая это свойство и имеющая буквенное обозначение и единицы измерения; точечное тело, обладающее таким свойством. Для учащегося, находящегося еще только в начале пути познания науки, распознавание контекста данного термина может представлять собой серьезное затруднение, влияющее на понимание хода физических явлений и процессов и проявляющееся при решении физических задач. Аналогичная ситуация имеет место и с выражением «электрическое сопротивление», которое также многозначно: свойство материала препятствовать прохождению электрического тока, физическая величина, характеризующая это свойство, и даже резистор как прибор, обладающий сопротивлением.

Яркий пример, иллюстрирующий познавательные проблемы, возникающие при использовании в обучении не строго определенных понятий и распространенных «жаргонных» выражений, подробно разобран в [157]. При употреблении фразы «электрическое поле существует только между обкладками конденсатора» обычно подразумевают то, что напряженность электрического поля в пренебрежении краевым эффектом вне обкладок конденсатора равна нулю, и забывают о ненулевом значении второй характеристики – потенциала. Неаккуратное словоупотребление влечет за собой нечеткость рассуждений и переводит в разряд трудных для учащихся ряд задач, которые на самом деле могут быть легко проанализированы на качественном уровне. На эту возможность косвенным образом указывал Л.С. Выготский, отмечая в качестве признака «понятийной пустоты» в сознании учащихся ситуацию, когда «учащиеся усваивают слова и целые выражения и, казалось бы, способны вполне осмысленно рассказывать об изучаемом. Однако в действительности это «симуляция», «имитация» понимания… Они могут лишь повторять заученное, но не осмысленно применять его» [62].

Познавательные барьеры третьей группы исходно заложены в сознании учащихся, но предпосылки и условия для их негативного влияния нередко провоцируются стилем и методикой преподавания, независимо от программы и профиля обучения. Результаты мониторинга промежуточных результатов обучения школьников физике, проведенного в течение 2010–2012 гг. в Санкт-Петербурге, показывают, что большинство типовых ошибок учащихся связано с недостатками в методике преподавания, используемой учителем, как в целом, так и по отдельным темам [271].

В связи с этим обратим внимание на некоторые психолого-познавательные барьеры этого типа, которые могут быть «оживлены», спровоцированы привычной методикой преподавания, невольно формирующей и закрепляющей стереотипы мышлении. В нашем исследовании определены и описаны некоторые типовые для преподавательской практики действия, индуцирующие появление барьеров при решении физических задач:

- излишняя формализация записи краткого условия задачи
- абсолютизация СИ
- неправомерное распространение частных выводов на более общие ситуации
- недостаточное использование имеющихся математических знаний
- абсолютизация «плоских» сюжетов
- абсолютизация метода решения и используемого математического аппарата
- преждевременное свертывание рассуждений
- нарушение границ применимости физических законов, записанных в определенной математической форме
- неадекватное применение понятий;
- незнание типовых мисконцепций учащихся.
- абсолютизация личного опыта
- абсолютизация числовых данных

Методика их предупреждения, основанная на современных подходах к решению физических задач, подробно представлена в работах [182, 189], поэтому здесь остановимся только на самых показательных примерах.

Абсолютизация СИ. Любому учителю физики известно, как важно и как непросто научить учащихся осознанно работать с единицами измерения физических величин. Наверное, поэтому в практике обучения уже с 7 класса жестко закрепилась последовательность действий при решении задач: записать «дано», «найти», выразить физические величины в СИ, а потом уже выполнить все остальные смысловые действия. Однако на вопрос «Зачем нужно переводить величины в СИ?» ни семиклассники, ни старшеклассники, и даже порой студенты – будущие учителя – не могут дать вразумительный ответ. Более того, некоторые ученики искренне считают, что, выполнив это действие, они практически решили ползадачи, и недоумевают, почему за это ставят низкую отметку.

К тому же в ряде распространенных школьных задач проведение вычислений в СИ оказываются нерациональными и более сложными. Например, в известной ***задаче*** «*Колонна войск во время похода движется со скоростью v_1=5 км/ч, растянувшись по дороге на расстояние l=400 м. Командир, находящийся в хвосте колонны, посылает велосипедиста с поручением головному отряду. Велосипедист отправляется и едет со скоростью v_2=25 км/ч, и на ходу выполнив поручение, сразу же возвращается обратно с той же скоростью. Через сколько времени после получения поручения он вернулся обратно*» перевод скорости в м/с не только увеличивает количество выполняемых действий, но и значительно усложняет вычисления.

Перевод величин необходим, чтобы грамотно проводить вычисления, подставлять в формулы числа, выраженные в *одной* системе единиц. И вовсе не обязательно это метры, секунды, килограммы. Если в решении задачи фигурируют не сами величины, а их соотношения, в переводе также нет необходимости, важно следить за тем, чтобы величины были выражены в одинаковых единицах измерения. Понимание этого является ступенью к освоению методов подобия и анализа размерностей – качественных методов, имеющих большое методологическое и дидактическое значение [153].

Чтобы избежать формирования ненужного стереотипа, в большинстве задач перевод единиц измерения следовало бы проводить не **до** проведения рассуждений, построения физической и математической моделей явления, выбора соответствующих формул, а **после** того, как все формулы записаны и пора приступить к вычислениям. Именно на этом этапе необходимо проанализировать, в каких единицах выражены данные и в каких единицах удобнее проводить вычисления, и, если необходимо, выполнить перевод единиц, записав это как еще одно действие в текст решения. При таком подходе это действие становится одной из важнейших операций при решении физической задачи, причем не формальной, а логически обоснованной, позволяя значительно рационализировать время, отводимое на ее решение.

Неправомерное распространение частных выводов на более общие ситуации. Приведем типичный пример проявления этого психолого-познавательного барьера.

Задача. *К телу массой 5 кг, покоящемуся на горизонтальной поверхности, прикладывается в горизонтальном направлении сила величиной 4 Н. Определить работу этой силы за 3 с ее действия, если коэффициент трения составляет 0,1.*

Если выполнив стандартные действия по алгоритму, учащиеся получают странный результат (ускорение меньше нуля и работа прикладываемой силы тоже меньше нуля), который не вызывает у них недоумения, это явно свидетельствует о наличии психолого-познавательного барьера, связанного с выработанными в процессе обучения стереотипами действий. Иногда учащиеся считают, что полученный ответ отражает факт движения в сторону, противоположную выбранному направлению. Это также свидетельствует о формальном применении и физических законов, и метода решения задач, которые формировались и отрабатывались на уроках преимущественно в ситуациях скольжения тел. В результате имеем типовую ошибку, связанную с неправомерным применением закона Кулона-Амонтона. Небольшое смещение акцентов в методике преподавания позволяет значительно уменьшить и даже избежать проявления барьера этого типа. Для этого необходимо только изменить последовательность действий: вначале рассмотреть ситуации с трением покоя (сюжеты «сдвинется – не сдвинется»), зачастую не требующие длинных математических выкладок, но требующие осмысленных физических рассуждений на качественном уровне, а затем уже движение с учетом силы трения скольжения.

Недостаточное использование математических знаний учащихся. Как уже было замечено, даже тот объем элементарных математических знаний, которые получают учащиеся в школе и которые в явном виде могут быть применены в основном на уроках физики, зачастую используются неэффективно. Например, практика показывает, что большую проблему представляет собой осознание учащимися векторного характера ряда физических величин. Немало ошибок совершают учащиеся при решении задач с применением закона сохранения импульса, если импульсы взаимодействующих тел направлены под углом друг к другу. Такое состояние дел во многом задается методикой преподавания, когда для соблюдения дидактического принципа простоты, преимущественно и в первую очередь решают физические задачи, в которых импульсы тел направлены вдоль одной прямой, применяя только координатный метод.

В качестве примера приведем задание с выбором ответа из репетиционных материалов ФИПИ для подготовки ЕГЭ по физике.

Задача. *По гладкой горизонтальной плоскости по осям x и y движутся две шайбы с импульсами, равными по модулю* $p_1 = 2$ *кг·м/с и* $p_2 = 3{,}5$ *кг·м/с, как показано на рисунке 3.13. После соударения вторая шайба продолжает двигаться по оси y в прежнем направлении с импульсом, равным по модулю* $p'_2 = 2$ *кг·м/с. Найдите модуль импульса первой шайбы после удара [98, с. 28].*

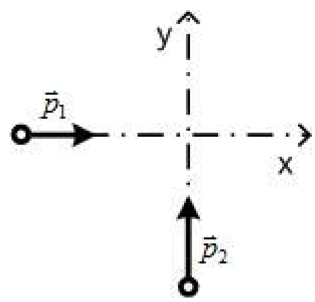


Рис.3.13.

Геометрическое представление закона сохранения импульса и анализ получившихся фигур позволяет сразу получить ответ. Из треугольника DBC (рис. 3.14): $p'_1 = \sqrt{(p_1)^2 + (p_2 - p'_2)^2}$.

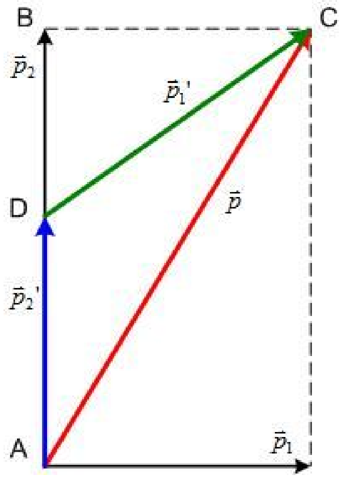


Рис.3.14.

Остроту проблемы можно снизить, если при обучении опять поменять последовательность рассмотрения физических ситуаций – сначала те, в которых импульсы лежат в одной плоскости под произвольным углом, для описания которых можно использовать геометрические образы векторных уравнений и соответствующие геометрические методы, а потом, как частный случай, те, в которых взаимодействие происходит вдоль одной прямой. Такой подход позволяет не только упростить математические выкладки и вычисления, но и сконцентрировать внимание детей на степени общности важнейшего физического закона и границах его применимости, и таким образом, уменьшить количество психолого-познавательных барьеров, возникающих при решении задач данной темы.

Еще один пример можно привести в связи с необходимостью находить экстремальные значения физических величин. Полное исследование функции на экстремумы доступно только учащимся 11 профильных классов во втором полугодии, а необходимость в подобных исследованиях возникает гораздо раньше. Но в ряде случаев можно обойтись более простыми приемами, например геометрическим анализом векторного выражения [154, с.142] или выделением полного квадрата в алгебраическом выражении, которым можно воспользоваться, например, для получения условия достижения максимальной полезной мощности в цепи постоянного тока:

$$P=\frac{\varepsilon^2 R}{(R+r)^2}=\frac{\varepsilon^2}{R+2r+\frac{r^2}{R}}=\frac{\varepsilon^2}{\left(R-2r+\frac{r^2}{R}\right)+4r}=\frac{\varepsilon^2}{\left(\sqrt{R}-\frac{r}{\sqrt{R}}\right)^2+4r}.$$

Из полученного выражения видно, что максимальное значение мощности будет получено при наименьшем значении знаменателя дроби, т.е. при $\sqrt{R}-\frac{r}{\sqrt{R}}=0$, т.е. при $R=r$.

Абсолютизация «плоских» сюжетов. Существует ряд познавательных затруднений учащихся, связанных с особенностями их пространственного мышления, из-за которых им трудно перекодировать информацию из плоского вида в объемный и наоборот. В немалой степени виновата в этом система преподавания, в которой при решении задач рассматриваются преимущественно одномерные или плоские (двумерные) сюжеты. Так, например, проблема при рассмотрении следующей задачи возникает уже на стадии выполнения рисунка.

Задача. *На тело массой 1 кг, находящееся на горизонтальной плоскости, действует горизонтальная сила F_1=3 Н. С какой минимальной* *горизонтальной силой надо подействовать на тело в перпендикулярном* $\vec{F}_1$ *направлении, чтобы тело начало скользить? Коэффициент трения тела о плоскость 0,5.*

Абсолютизация метода решения. Алгоритм решения задач по динамике методом проекций векторного уравнения движения на координатные оси хорошо усваивают большинство учащихся. Однако эта кажущаяся легкость вместе с отсутствием четкости в применении законов может приводить к недоразумениям уже в простейших случаях. В качестве примера рассмотрим задачу.

Задача. *Тело массой 10 г, несущее заряд –1 мкКл, находится на вершине наклонной плоскости высотой 50 см, составляющей с горизонтом угол 30°. В основании наклонной плоскости под ее вершиной закреплен заряд 2 мкКл. Тело начинает соскальзывать с наклонной плоскости без трения. Чему равна скорость тела, когда оно окажется у основания наклонной плоскости?*

Типичное заблуждение учащихся связано со стереотипом – раз задана наклонная плоскость, значит, нужно рисовать силы, координатные оси, пытаться применить для описания этой ситуации второй закон Ньютона. Большая степень детализации этой модели не позволяет школьникам ответить на поставленный вопрос, так как кулоновская сила, действующая на заряженное тело, на всем пути изменяется и по величине, и по направлению, учесть это изменение на школьном уровне невозможно. В этом случае более эффективным является применение закона сохранения энергии, позволяющего получить ответ более просто. Кроме того заслуживает обсуждения вопрос о возможности границах применимости построенной модели.

Преждевременное свертывание рассуждений. Еще один стереотип, ярко иллюстрируемый предыдущим примером, проявляется в убеждении учащихся, что решение задачи закончено, как только получен ответ на сформулированный в условии вопрос. Если рассматривать учебную физическую задачу как модель научного исследования, то ее решение не должно заканчиваться получением формального ответа. В приведенном примере, безусловно, необходимо проанализировать, как будет зависеть величина скорости заряженного тела от параметров наклонной плоскости, например, от угла наклона α. Практика показывает, что самостоятельно, по собственной инициативе подобный анализ учащиеся проводить не будут. В лучшем случае исследование будет проведено по инициативе учителя. Это связано с существованием особого психолого-познавательного барьера, который провоцируется сложившимся монологичным стилем преподавания – учитель говорит, спрашивает, учащиеся слушают, выполняют указания учителя и отвечают на поставленные учителем вопросы. Между тем, мышление исследователя по своей сути диалогично, в творческом поиске он постоянно задает вопросы самому себе, на их основе формулирует проблемы и ищет их решение.

Свертывание рассуждений может проявляться и в другом контексте. При обучении учащихся тому или иному набору действий вначале учитель подробно разворачивает цепочку рассуждений, объясняя и обосновывая каждый последующий шаг, затем, по мере усвоения, эти действия проделываются все быстрее и быстрее. Однако быстрота выполнения операций порой создает иллюзию их понимания. В обучении физике это проявляется рядом ситуаций, которые, не дифференцируя их причин, называют формализмом. Приведем наиболее типичные из них.

При решении задач на наклонную плоскость учащиеся часто допускают ошибки в выборе тригонометрической функции для нахождения проекции силы тяжести на координатные оси (*sin* или *cos*). Они честно помнят, что должен быть синус или косинус, а почему и какая именно функция объяснить не могут. Более того, если в условии задачи задать угол не у основания наклонной плоскости, а у вершины, то количество ошибок возрастает многократно.

Особенно это заметно при использовании физических законов в несоответствующих их границам применимости условиях. Например, попытка рассчитать силу взаимодействия пластин заряженного конденсатора по закону Кулона, или применить закон сохранения механической энергии для неупругого соударения, или закон сохранения импульса в векторном виде для двух тел при расчете скорости отката орудия при вылете снаряда из орудия под углом к горизонту и т.д.

Бытовое понимание (преконцепции, мисконцепции). Примерами стереотипов, сформированных в обыденной жизни, могут служить известные ситуации, когда учащиеся путают понятия вес и масса, литр и килограмм, измеряют исключительно длину, а не путь и перемещение и т.п., что связано, прежде всего, с их бытовыми повседневными представлениями. В более сложном варианте этот барьер проявляется при объяснении движения по инерции, например, при решении традиционной школьной задачи: *Почему всадник летит через голову споткнувшейся лошади? (Почему поскользнувшийся человек падает назад? И т.п.*). Формальное объяснение явления «по инерции» вступает в противоречие с определением инерции: если тело сохраняет свою скорость в инерциальной системе отсчета, то всадник должен бы продолжить движение и без лошади. При наличии психолого-познавательного барьера этого типа учащиеся выпускают из виду, что в определении явления инерции идет речь о свободном теле. Подчеркнутая парадоксальность возникшей ситуации позволяет не только обнаружить наличие ППБ, но и мотивированно, на высоком эмоциональном уровне провести работу по его устранению.

Абсолютизация числовых (цифровых данных). Практика показывает, что соотношения физических величин, фигурирующих в условии задачи, представленные в цифровом виде воспринимаются учащимися лучше, чем та же информация, представленная вербально («скорость второго тела в 2 раза меньше скорости первого», «длина спуска вдвое больше длины подъема»). Учащиеся «не видят» количественных данных условий задачи, если они представлены не в числовом виде, а в описательном. Например: *Два одинаковых маленьких шарика, подвешенных на нитях одинаковой длины, опускают в керосин. Какова должна быть плотность материала шариков, чтобы угол расхождения нитей в воздухе и в керосине был один и тот же?*

Сразу же возникает вопрос: «Как решать задачу, если ничего не дано?». Но если в этой задаче числовые данные хотя бы можно (и нужно) взять из соответствующих таблиц, то в ***задаче***: *«Шарик, подвешенный на нити, качается в вертикальной плоскости так, что его ускорения в крайних – верхнем и нижнем – положениях равны друг другу. Найти угол максимального отклонения нити от положения равновесия»* – количественный ответ получается из математической модели явления.

С другой стороны, при неверной методической работе у учащихся может сформироваться стереотипное представление о том, что количественные данные в условии задачи не играют принципиальной роли и не содержат никаких подвохов, а только лишь конкретизируют предложенную ситуацию. Приведем пример.

Задача. *Половину окружности велосипедист на треке проехал с постоянной скоростью $\upsilon_1 = 4$ м/с. Средняя скорость на всем треке была 10 м/с. Определить скорость на второй половине пути.*

Стандартное решение задачи основывается на применении определения средней путевой скорости и получении формулы:

$$\upsilon_{\text{ср}} = \frac{2\upsilon_1\upsilon_2}{\upsilon_1 + \upsilon_2},$$

согласно которой искомая скорость определяется выражением: $\upsilon_2 = \dfrac{\upsilon_1\upsilon_{\text{ср}}}{2\upsilon_1 - \upsilon_{\text{ср}}}$.

Однако при подстановке в полученную формулу числовых данных задачи получается странный ответ: $\upsilon_2 = -40$ м/с. Объяснить полученный результат проще всего с помощью последней формулы: так как модуль скорости есть величина положительная, то задача имеет смысл только если $2\upsilon_1 > \upsilon_{\text{ср}}$, что в приведенном условии не выполняется.

Таким образом, наличие некоторых психолого-познавательных барьеров можно зафиксировать уже на этапе анализа условия задачи. Причем сама формулировка условия будет играть в этом процессе не последнюю роль. Задачи, в условии которых физическая модель уже задана, дают возможность выявить только наличие тех или иных типовых операций.

Ярким примером таких задач являются задачи тестов, выполнение которых позволяет осуществить поэлементный анализ сформированных ЗУНов, т.е. они выполняют контролирующую функцию. Часто эти задачи относят к классу простых по количеству выполняемых операций при их решении. Однако любое изменение формулировки условия такой задачи может вызвать шквал непонимания, они могут стать даже очень трудными, о чем убедительно свидетельствуют исследования Бабаева В.С., которые фиксируют при этом понижение решаемости задач [14, 15, 16]. По нашему мнению, это может быть связано с тем, что они активизируют в сознании решающего ППБ, т.е. выявляются другие, более глубинные познавательные проблемы.

Это позволяет утверждать, что варьирование формулировки позволяет выявить причину затруднения – речевую, исходного мыслительного опыта или заданную преподаванием. Т.о. «голые задачи», с чрезмерно адаптированным условием (содержащим уже заданную физическую модель явления) позволяют выявить только наличие или отсутствие тех или иных «технических» навыков, умений проводить те или иные операции, зачастую формально. Любое небольшое изменение формулировки задачи создает условия «катастрофы», когда «ничего не понятно», что свидетельствует об имеющихся познавательных проблемах. В этом смысле задача выступает как средство диагностики познавательного затруднения, а при варьировании формулировки может позволить выявить тип и причину познавательного затруднения, а следовательно, способствовать работе по его устранению.

Рассмотрим следующую ***задачу:*** *В точках А и В находятся моторная лодка и катер, движущиеся с заданными постоянными скоростями* $\vec{v}_л$ *и* $\vec{v}_к$ *в направлениях, указанных на рисунке 3.15. Определить графически, каким будет наименьшее расстояние между лодкой и катером.*

Эта нетрудная в принципиальном плане задача требует, тем не менее, преодоления серьезных познавательных затруднений учащихся, связанных прежде всего с тем, что в силу повседневного бытового опыта у большинства сформирован стереотип рассмотрения движения в системе отсчета, связанной с землей.

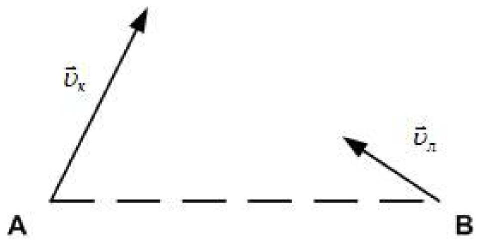


Рис.3.15.

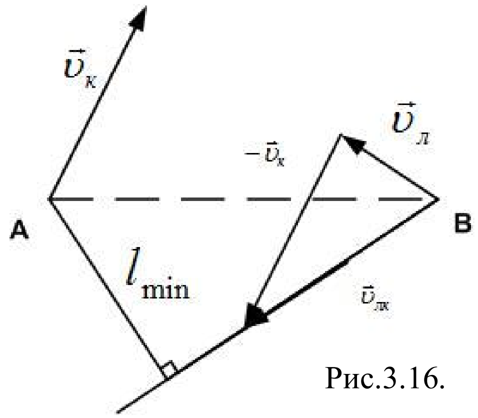


Рис.3.16.

Учащиеся легко могут найти геометрически минимальное расстояние между неподвижным наблюдателем и прямолинейно движущимся объектом, но в данном случае движущихся объектов два, и нахождение минимального расстояния даже только геометрически в системе отсчета, связанной с землей, представляет собой большую проблему. Типовая ошибка, которую допускают учащиеся, – находят точку пересечения траекторий и утверждают, что катер и лодка столкнутся. В этом смысле данная задача служит хорошим средством диагностики, обнаружения этого стереотипа и сигналом для работы над ним.

Предложение перейти в систему отсчёта, связанную с одним из движущихся объектов, например, с катером (см. рис. 3.16), сразу же сводит ситуацию к известной – определению кратчайшего расстояния между точкой и прямой.

Поскольку данная задача носит принципиально качественный характер (математические выкладки не требовались), это позволяет полностью сосредоточиться на применении принципа относительности, что в свою очередь приводит не только к обнаружению типичного психолого-познавательного барьера, но и возможности его преодоления. Чтобы убедиться в эффективности проделанной работы, можно предложить учащимся проверить решение, рассмотрев эту же ситуацию в системе отсчета, связанной с лодкой.

Приведенные примеры убедительно демонстрируют возможности учебных физических задач в диагностике психолого-познавательных барьеров некоторых типов. Выявление их наличия, адекватная идентификация и определение причин представляют собой серьезную педагогическую проблему, которая требует более тщательного и специального изучения. Исследование этой проблемы представляет собой большой интерес, а результаты могут иметь широкое практическое применение в массовом образовании и при подготовке учителей физики.

3.2.2. Методика профилактики и преодоления психолого-познавательных барьеров на основе решения учебных физических задач

«И ум с самого начала нужно воспитывать так, чтобы противоречие служило для него не поводом для истерики, а толчком к самостоятельной работе, к самостоятельному рассмотрению самой вещи» [114].

И.С. Ильенков

Рассматриваемый подход к обучению физике, основанный на современной методологии решения физических задач, предоставляет богатые возможности для профилактики и преодоления ППБ. Продемонстрируем, какой эффект дают принципы построения современной методики обучения решению задач (*принцип обучения моделированию реальных процессов, принцип адекватного применения физических понятий, методологических принципов, фундаментальных и частных физических законов; принцип адекватного применения математического аппарата и качественных методов анализа физических явлений*) при целенаправленном их использовании для профилактики и преодоления ППБ. Прежде чем приступить к их детальному обсуждению, следует сделать важные замечания:

- на практике диагностика и процесс преодоления выявленных ППБ, как правило, переплетаются и не разделяются по времени. Поэтому в дальнейшем при обсуждении методики преодоления ППБ мы будем, по возможности, указывать также и признаки их обнаружения;

- сформулированные принципы, как правило, также реализуются одновременно, поэтому при изложении мы будем как подчеркивать ведущую роль какого-либо из них, так и указывать на проявление других.

❖ ***Реализация принципа обучения моделированию реальных процессов***

Если рассматривать моделирование как ведущую идею решения физических задач, необходимо остановиться на таком важном аспекте, как свойства математических моделей, основными среди которых считают следующие [42]:

- *Адекватность* предполагает воспроизведение моделью с необходимой полнотой и точностью всех свойств объекта или явления, существенных для целей данного исследования.
- *Простота* предполагает соответствие количества учитываемых факторов, возможностей имеющегося математического аппарата и задач проводимого исследования.
- *Оснащенность* предполагает принципиальную возможность получения интересующих утверждений с помощью выбранных математических методов.
- *Продуктивность предполагает* возможность получения с помощью модели новых знаний об исследуемом объекте.
- *Устойчивость предполагает, что малое изменение параметров и функций, описывающих модель, не должно влиять на результат исследования.*
- *Наглядность* предполагает возможность выявления определенного содержания даже при первичном знакомстве с построенной математической моделью, что позволяет сразу же наметить план решения задачи и даже предсказать результат решения.
- *Универсальность* предполагает возможность применения одной и той же модели к объектам принципиально различной природы.

- *Иерархичность* предполагает возможность описания явлений с помощью моделей, различающихся по степени полноты, адекватности и простоты, которые могут быть *обобщены,* структурированы и упорядочены в определенную последовательность.

Иерархия моделей объектов

А) Построение моделей объектов по принципу «снизу вверх».

Одной из особенностей процесса решения задач является неоднократное переформулирование условий и требований задачи в ходе поиска решения. Если «взять задачу и записать её упрощённое условие, то чем будет являться переформулированная задача для основной задачи? Все они (переформулированные задачи) являются её моделями, следовательно, переформулирование задачи является способом её моделирования» [306]. Однако такая последовательность действий «от простого к сложному» не всегда оказывается эффективной. Направление переформулирования должно определяться выбранной иерархией моделей (сверху вниз, снизу вверх). Выбор направления моделирования диктуется целями обучения на данном конкретном этапе и исследовательским потенциалом, заложенным в конкретной задачной ситуации. К тому же в психологии обосновано, что информация лучше усваивается в иерархически организованном виде [85].

Понимая иерархичность как структуру, состоящую из нескольких уровней, для формирования физического понимания и работы над ППБ на школьном уровне можно использовать:

- иерархию используемых моделей объектов;
- иерархию моделей рассматриваемых процессов;
- иерархию временных масштабов;
- иерархию уровней методологии, используемых для решения задачи.

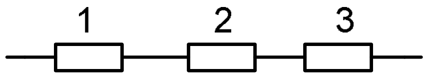
Иерархия математических моделей [100] при обучении решению задач чаще строится по принципу «снизу – вверх», что позволяет поэтапно изучать все более и более реалистичные модели, которые получаются в результате постепенного уточнения некоторой первоначальной модели. При этом математическое описание изучаемого объекта соответственно усложняется, а каждая новая модель обобщает предыдущие, включает их в себя в качестве частного случая. Уточнение первоначальной модели происходит за счет дополнительных слагаемых, уравнений, которые позволяют учесть в окончательной модели важные и существенные факторы, но не должны приводить к кардинальному изменению физической модели.

Одним из способов является добавление элементов к исходной модели. Наглядно это можно продемонстрировать на примере «схемных» задач. Задача формулируется следующим образом:

Задача. *Определите сопротивление участка электрической цепи, считая сопротивления всех резисторов равными R и пренебрегая сопротивлением соединительных проводов.*

Электрическая схема представляет собой не что иное, как графическую модель реального участка электрической цепи. Основной теоретической моделью служит представление об идеальном проводе, с нулевым электрическим сопротивлением, что позволяет считать все его точки имеющими одинаковые потенциалы и изображать эквивалентную схему предложенного к рассмотрению участка электрической цепи, соединяя и разъединяя точки цепи, имеющие равные потенциалы. Это модельное представление противоречит одному из условий существования тока на участке цепи, прописанном во всех школьных учебниках: ток в проводнике протекает при наличии разности потенциалов на его концах. Получается, что ток в идеальном проводнике протекать не должен. Это противоречие в школьной практике снимается путем многократных упражнений, в результате которых учащиеся привычно пренебрегают сопротивлением проводов, не осознавая смысл этого модельного представления. Но это является источником ППБ, предотвратить негативное влияние которого можно с помощью иерархично выстроенной системы задач. Учащимся предлагается серия похожих сюжетов-схем, каждая последующая отличается от предыдущей только одним дополнительным элементом. Рассмотрим эту работу поэтапно.

1 этап. Расчет сопротивления простейшего участка цепи по схеме, являющейся базовой для дальнейшего моделирования.



$R_0 = 3R$ Рис.3.17

2 этап. Здесь добавляется новый элемент – идеальный проводник, соединяющий две точки электрической цепи, в результате чего потенциалы этих точек станут одинаковыми. Т.е. резисторы 1 и 2 окажутся закороченными, и ток по ним не пойдет.

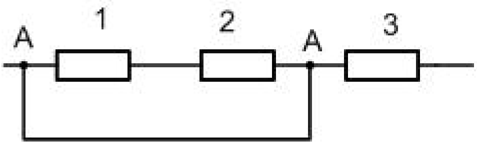


Рис.3.18а

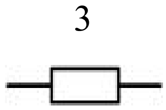


Рис.3.18б

$R_0 = R$

Большинство учащихся также справляется с этим заданием, однако при этом дают, как правило, почти бытовое объяснение («электрический ток пойдет там, где сопротивление меньше») – ППБ исходного ментального опыта. Обнаруживается этот ППБ в ходе дальнейшего моделирования.

3 этап. К предыдущей модели добавлен еще один идеальный проводник. Учащиеся, у которых проявляется вышеназванный ППБ, попадают в тупик и не могут справиться с этим заданием. Рассуждения о прохождении тока по наименьшему сопротивлению не срабатывают. К успеху приводит использование метода равных потенциалов (а это следствие закона сохранения энергии), что оказывает сильное эмоциональное впечатление на учащихся и создает дополнительную мотивацию к освоению приемов моделирования

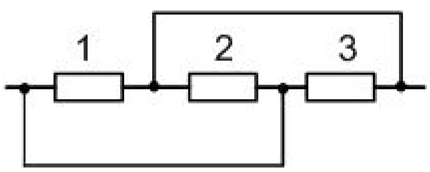


Рис.3.19а

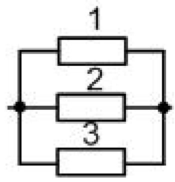


Рис.3.19б

$$R_0 = \frac{R}{3}$$

4 этап. Усложняем модель – добавляем резистор 4.

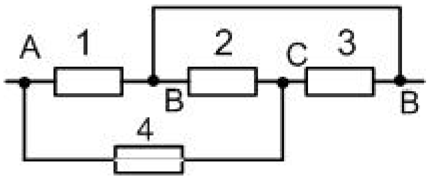


Рис.3.20 а

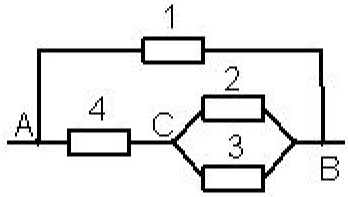


Рис. 3.20 б

$$R_0 = \frac{3}{5}R$$

Теперь потенциалы точек электрической цепи, соединенных проводом АС, уже не одинаковы. Несмотря на то, что схема сложнее предыдущих, освоенный с помощью предыдущих заданий метод позволяет учащимся достаточно легко начертить эквивалентную схему. Задание диагностично, дает возможность проверить эффективность работы по устранению выявленного ППБ. Кроме того, оно ярко демонстрирует роль условия идеальности проводника, что определяет границы применимости модели.

5 этап. Дальнейшее усложнение модели приводит к новому неожиданному результату – эквивалентная схема не проясняет ситуацию (изученный метод не работает!).

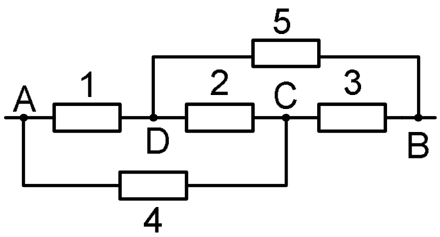


Рис.3.21а

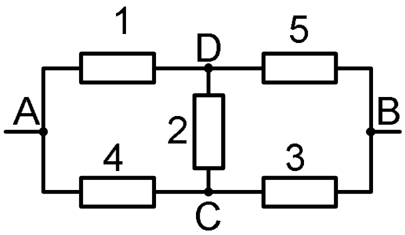


Рис.3.21б

$$\varphi_C = \varphi_D$$

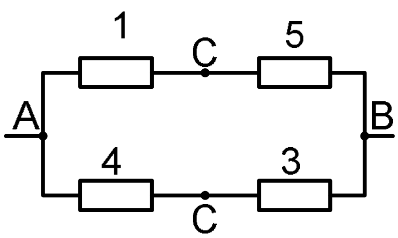


Рис.3.21в

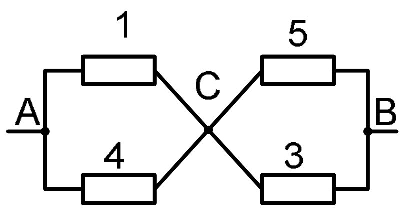


Рис.3.21г

$$R_0 = R$$

Такой прием направлен на снижение отрицательного влияния ППБ технологического типа. Однако, анализируя получившуюся новую схему, можно заметить в ней зеркальную симметрию относительно прямой АВ, соединяющей точки входа-выхода тока. Точки, расположенные симметрично относительно нее, имеют равные потенциалы, а следовательно, эквивалентная схема может быть еще упрощена.

Подчеркнем, что «играя» с учащимися в построение моделей, нельзя забывать о границах их применимости. Условие идеальности соединительных проводов уже обсуждалось. Теперь необходимо выяснить, изменится ли что-нибудь в решении задач, если резисторы будут иметь разные сопротивления. В ходе обсуждения учащиеся приходят к выводу, что эквивалентные схемы в задачах 1 – 4 не изменятся, другими будут формулы для расчета. Для задачи 5 величина сопротивлений резисторов является существенным условием.

Если резисторы имеют одинаковые сопротивления или выполняется соотношение $\frac{R_1}{R_4} = \frac{R_5}{R_3}$, «мост» оказывается уравновешенным, ток через резистор 2 не течет, и результирующее сопротивление этой цепи можно рассчитать с помощью одной из двух эквивалентных схем.

Обратим внимание, что объект рассмотрения усложнялся на каждом этапе за счет добавления новых элементов, но для рассмотрения каждого из этих объектов требовалось построить упрощенную модель – эквивалентную схему. Это ярко иллюстрирует то, что этапы моделирования при решении задачи не проявляются изолированно, а могут переплетаться.

Таким образом, постепенно усложняя исходную модель и выходя на более высокий уровень методологии (применяя методологический принцип симметрии), можно получить дополнительные новые знания о мостовых схемах и условиях их компенсации.

Далее можно начать новый цикл моделирования на основе полученной мостовой схемы и продолжить работу над выявлением и устранением ППБ. Например: 1) обсудить вопрос о том, каковы будут показания амперметра с очень малым сопротивлением, включенного в перемычку моста; если познавательные барьеры устранены и понимание достигнуто, то учащиеся сами приведут два ответа – с одинаковыми и различными сопротивлениями резисторов; 2) предложить решить количественную задачу следующего типа:

Задача*. Какой силы ток будет показывать амперметр с очень малым сопротивлением в цепи, схема которой изображена на рисунке 2.7, если $R_1=R_2=R_3=5$ Ом, $R_4=10$ Ом, а напряжение на участке цепи АВ равно 35 В?*

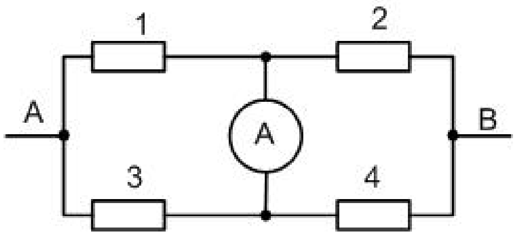


Рис.3.22.

При решении этой задачи ярко проявляются два основных заблуждения учащихся. Во-первых, очень часто учащиеся полностью пренебрегают сопротивлением амперметра и поэтому считают, что он в точности соединяет точки с одинаковыми потенциалами. Но тогда получается противоречие – ток через амперметр течь не должен. Если же ток течет, то тогда точки включения должны иметь разные потенциалы, а амперметр сопротивление, но тогда расчет схемы становится очень громоздким и сложным, и практически недоступным в массовой школе. Но в данном случае используется модель идеального проводника, соединяющего две точки электрической цепи и выравнивающего их потенциалы.

Во-вторых, считают, что обе схемы на рис. 3.21в и рис. 3.21г эквивалентны цепи на рис.3.22, хотя потенциалы точек С и D будут одинаковы только при наличии проводника, соединяющего их (в данном случае амперметра, который нельзя просто удалить), т.е. эквивалентной является только схема 3.21г.

Для проверки эффективности работы по устранению выявленных ППБ можно предложить расчет показаний амперметра с малым сопротивлением в схеме (рис. 3.23), решение которой строится на тех же идеях.

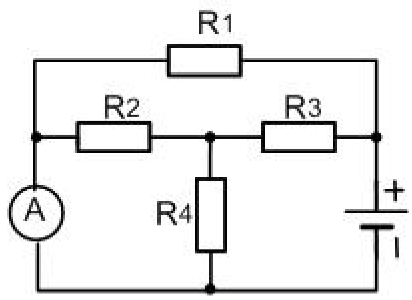


Рис.3.23.

Б) Построение иерархии моделей по принципу «сверху вниз»

Простейшая модель, доступная для понимания школьникам, которую можно выстроить по этому принципу, – это модель движения тела под действием силы тяжести вблизи поверхности земли в отсутствие сопротивления воздуха (свободное падение). В данном случае имеем дело с иерархией моделей процесса, построенной по принципу «сверху вниз».

На примере одной сложной задачи выясняется, как зависит вид движения от начальных условий и составляются уравнения движения тела, например, брошенного с некоторой высоты H с начальной скоростью υ_0, направленной под углом α к горизонту, в координатном виде

$$x = \upsilon_0 \cos\alpha\, t\,,\quad y = H + \upsilon_0 \sin\alpha t - \frac{gt^2}{2}\,.$$

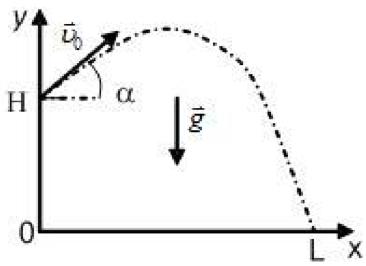
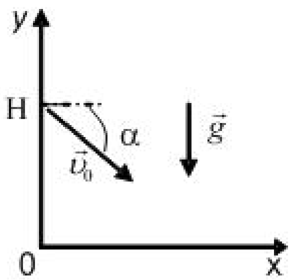
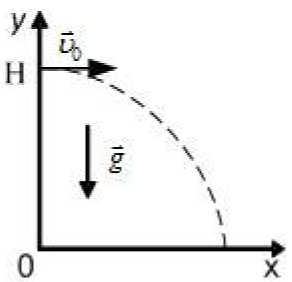
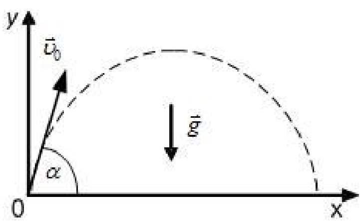
Анализ полученных выражений, проведенный по принципу «А что изменится, если…» [183] (см. таблицу 5), проведенный путем последовательного упрощения исходной модели, позволяет достичь ряда педагогических эффектов и успешно бороться с ППБ ситуативного усвоения информации, убеждая учащихся в эффективности и экономичности теоретических знаний.

Главным в такой работе является добиться понимания, что вид кинематических уравнений зависит от начальных условий движения (H, υ_0, α). модели, поэтому точная количественная формулировка условия задачи и доведение решения до конца на уроке в данном случае не обязательны. Тем не менее, следует обсудить с учащимися, на какие вопросы можно было бы ответить, воспользовавшись построенными моделями.

Такой прием позволяет охватить за короткое время большой объем сюжетных задач, демонстрируя учащимся универсальные возможности математической модели. Отработка же «технических» навыков в применении этих моделей требует большего времени и самостоятельной работы учащихся.

Похожая идея использования обучающего цикла для выявления и устранения мисконцепций считается эффективной и в американских школах, где в термин «мисконцепция» вкладывается смысл, близкий термину «формализм знаний» [266].

Таблица 5

Рисунок	Начальные условия	Уравнения	Возможные вопросы
	$x_0=0;\ y_0=H;$ $v_{0x}=v_0\cos\alpha;$ $v_{0y}=v_0\sin\alpha;$ $g_x=0;\ g_y=-g$	$v_x=v_0\cos\alpha;$ $v_5=v_0\sin\alpha-gt;$ $x=v_0\cos\alpha\cdot t;$ $y=H+v_0\sin\alpha\cdot t-gt^2/2$	Какова максимальная дальность полета? Какова максимальная высота подъема? Какова форма траектории? Какова скорость тела в верхней точке траектории? Какова скорость тела в момент падения? Под каким углом α следует произвести выстрел, чтобы дальность полета была наибольшей? Сколько времени пройдет от момента выстрела до момента падения тела на землю?
	$x_0=0;\ y_0=H;$ $v_{0x}=v_0\cos\alpha;$ $v_{0y}=-v_0\sin\alpha;$ $g_x=0;\ g_y=-g$	$v_x=v_0\cos\alpha;$ $v_y=-v_0\sin\alpha-gt;$ $x=v_0\cos\alpha\cdot t;$ $y=H-v_0\sin\alpha\cdot t-gt^2/2$	
	$x_0=0;\ y_0=H;$ $v_{0x}=v_0;$ $v_{0y}=0;$ $g_x=0;\ g_y=-g$	$v_x=v_0;$ $v_y=0;$ $x=v_0t;$ $y=H-gt^2/2$	
	$x_0=0;\ y_0=0;$ $v_{0x}=v_0\cos\alpha;$ $v_{0y}=v_0\sin\alpha;$ $g_x=0;\ g_y=-g$	$v_x=v_0\cos\alpha;$ $v_y=v_0\sin\alpha-gt;$ $x=v_0\cos\alpha\cdot t;$ $y=v_0\sin\alpha\cdot t-gt^2/2$	

В) Иерархия временных масштабов

Учет иерархии временных масштабов может присутствовать и в самых простых школьных задачах при изучении процессов, характер изменения которых во времени либо не определен, либо требует для получения решения использования слишком сложного математического аппарата. Иногда иерархия временных масштабов и соответствующая этому иерархия математических моделей возникает в результате сравнения относительной роли различных факторов, определяющих свойства системы [42]. При этом одинаково важно уметь строить модели как в пренебрежении малыми промежутками времени (интегральный подход), так и с учётом конкретных временных интервалов (дифференциальный подход). Пользуясь всего лишь методом размерности и иерархией характерных временных масштабов протекающих процессов, можно, например, в общих чертах показать принципиальное различие в поведении нейтрального газа и плазмы и понять, почему плазму считают особым – четвертым состоянием вещества. Строгая теория плазмы заведомо выходит за рамки курса физики средней школы, последовательное изучение этих вопросов составляет предмет специальных курсов вузов, однако основные выводы в общих чертах могут быть получены при изучении физики в школе в классах профильной направленности.

Любопытным примером, позволяющим продемонстрировать иерархичность временных масштабов на простейшей модели в классах любого профиля, может служить такая школьная задача.

Два маятника, длины которых l_1 *и* l_2 *соответственно (рис. 3.24), причём,* $l_1 \neq l_2$ *начинают движение в одинаковой фазе. Через какое время колебания этих маятников снова совпадут по фазе?*

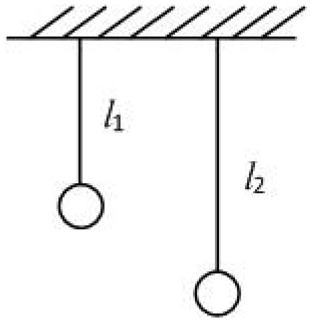


Рис.3.24.

Совпадение колебаний по фазе означает выполнение условия $\Delta\varphi = 2\pi k$, где k=0,1,2… Так как $\varphi = \omega t$, то для маятников разность фаз колебаний $\Delta\varphi$ будет равна $\Delta\varphi = (\omega_2 - \omega_1)\Delta t = 2\pi k$, откуда следует, что совпадение фаз колебаний двух разных маятников будет повторяться с периодом, равным

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{g}{l_2}} - \sqrt{\frac{g}{l_1}}}.$$

И если рассматривать этот процесс в течение времени $\tau >> T$, то, не проводя детализации процесса, можно считать эту систему из двух маятников одной колебательной системой с периодом колебаний T.

❖ ***Реализация принципа адекватного применения физических понятий, методологических принципов, фундаментальных и частных физических законов***

Выяснение свойств модели объекта

Физическое понятие отражает некоторые, но не все свойства объектов, поэтому является своего рода моделью. В процессе изучения физики и приобретения новых знаний вдумчивые школьники начинают понимать, что некоторые из часто используемых моделей обладают довольно странными свойствами. Например, плотность «материальной точки» и коэффициент упругости «абсолютно твердого тела» бесконечно велики, а потенциалы всех точек идеального проводника равны, но ток по нему течет и т.д. Использование же модели в несоответствующих условиях свидетельствует о наличии тех самых психолого-познавательных барьеров, не позволяющих увидеть недостаточность привычного хода рассуждений.

В качестве примера рассмотрим такую типичную школьную модель, как невесомая нерастяжимая нить. Неформальное осознание смысла этой модели произойдет, если включить ее в ситуацию, в которой можно обнаружить границы ее применимости. Традиционная школьная практика, как правило, ограничивается только типовыми ситуациями, провоцируя и усиливая проявления различных психолого-познавательных барьеров.

Пример 1. *Определить силу натяжения привязанной к стене нити, к которой прикладывают горизонтальную силу величиной 5 Н.* Это типовая школьная задача, приведенная практически во всех задачниках, предназначена для отработки третьего закона Ньютона, на основании которого дается ответ – 5 Н.

Пример 2. *Определить силу натяжения нити, которую тянут в противоположные стороны, прикладывая силы по 5 Н.* Преимущество данного сюжета заключается в большой наглядности ситуации – перетягивание каната видели все. Методическая же ценность заключается в демонстрации эквивалентности двух способов растягивания – один конец закреплен, а за второй тянут, или тянут с одинаковыми силами в противоположные стороны. Силы натяжения, возникающие и в первом, и втором случае, будут одинаковыми.

Пример 3. *Определить силу натяжения нити, которую тянут в противоположные стороны силами 5 Н и 7 Н.* Введя небольшое изменение в сюжет задачи, сразу же сталкиваемся с противоречиями. Во-первых, сразу же получается, что, согласно 3 закону Ньютона, силы натяжения нити у противоположных концов должны быть различны. Поскольку прикладываемые силы не равны, то, согласно второму закону Ньютона, нить должна приобрести ускорение. Если считать нить невесомой, то ее ускорение должно быть бесконечно велико, что, естественно, не подтверждается опытом. То есть нить обязательно должна иметь конечную массу.

$$ma = F_2 - F_1.$$

Воспользовавшись для определения силы натяжения, как и в предыдущих случаях, третьим законом Ньютона, получаем, что сила натяжения, возникающая с одного конца нити, равна 5 *Н*, а с другого – 7 *Н*, т.е. неизбежно в разных точках нити будет различной.

Обоснование равенства силы натяжения во всех точках нити в случае ее невесомости можно провести с помощью следующей задачи.

Пример 4. *Груз массой М поднимают при помощи прикрепленного к нему жесткого стержня массы m, к которому приложена сила F. Определите силы взаимодействия стержня и груза.*

Записав уравнения движения груза и стержня в проекции на вертикальную ось: $ma = F - mg - F_1$, $Ma = F_2 - Mg$, и воспользовавшись третьим законом Ньютона, согласно которому $F_1 = F_2$ – силы, с которыми взаимодействуют стержень и груз, получаем ответ:

$$F_1 = F_2 = \frac{MF}{m + M}.$$

Анализ полученной формулы позволяет сделать важные выводы относительно исходной модели:

- чем меньше m по сравнению с M, тем меньше различаются прикладываемая сила F и силы упругости $F_1=F_2$;
- если масса стержня равна нулю, то силы упругости, возникающие в нем, одинаковы на обоих концах;
- если разбить стержень на части, легко показать, что при нулевой массе стержня силы упругости одинаковы по всей его длине.

Нетрудно видеть, что получить те же результаты можно, проведя аналогичные рассуждения для невесомой нити.

Построение модели явления

Поняв характер и природу изучаемого явления и заменив исходный реальный объект одной из его возможных математических моделей, мы делаем первый, но наиболее верный шаг в его описании. Важнейший шаг в построении математической модели – это перевод формулировки вербальной модели явления, построенной на основе физических законов, на математический язык. Для этого этапа определяющим является выбор языка, т.е. физических понятий и величин, в терминах которых формулируется вербальная модель явления. В этом смысле математические выражения могут быть поняты как модели физических явлений, а физические модели – как объекты математических отношений.

«Умение правильно выбрать математическую модель находится на грани науки и искусства. Оно требует не только математических и физических знаний, но и вкуса и чувства меры. Следует помнить, что идеализация «мстит за себя», порождая парадоксы и недоразумения. Только систематическая и глубокая работа позволяет освоить культуру физического моделирования» [69]. Принципиальная ограниченность моделирования и невозможность разделения физического и математического этапа моделирования приводят к тому, что свойства изучаемого объекта могут быть описаны не одной, а множеством моделей. «Одними и теми же моделями могут описываться совершенно разные по своей природе объекты, подчиняющиеся разным фундаментальным законам, и, наоборот, данному закону могут отвечать принципиально разные модели» [157]. При этом возникают следующие ситуации:

- одно явление может быть описано с помощью различных физических моделей.
- одна и та же физическая модель может быть описана разными математическими языками (разные математические модели).
- одна и та же математическая модель может применяться к описанию явлений различной природы.

Описание явлений с помощью различных физических моделей.

Разные случаи построения разных физических моделей одного и того же явления описаны в параграфе 1.3 при анализе применения методологического принципа толерантности при решении физических задач и в монографии [182], поэтому здесь приведем только один пример.

Задача. *Два сосуда, наполненных воздухом при давлениях 0,3 МПа и 0,6 МПа, имеют объемы 3 и 5 л соответственно. Сосуды соединяют трубкой, объемом которой можно пренебречь по сравнению с объемом сосудов. Считая температуру постоянной, найти установившееся давление в системе.*

Решение данной задачи может быть проведено на основе частных эмпирических законов. Записав для каждой порции газа, содержащейся в соответствующем сосуде, закон Бойля-Мариотта: $p_1V_1 = p_1'(V_1 + V_2)$, $p_2V_2 = p_2'(V_1 + V_2)$, где p_1' и p_2' – парциальные давления, которые оказывают первая и вторая порции газа в объединенном сосуде после открывания крана, и воспользовавшись законом Дальтона: $p = p_1' + p_2'$, получаем ответ:

$$p = \frac{p_1V_1 + p_2V_2}{V_1 + V_2}.$$

Вторая модель основана на молекулярно-кинетических представлениях о давлении газа как результате действия ударов совокупности молекул о стенки сосуда. Из основного уравнения МКТ следует формула $p = nkT$, которая показывает, что давление газа при прочих равных условиях определяется концентрацией частиц газа. Естественно, что при открывании крана изменится концентрация частиц, а следовательно, и давление газа. Записав соответствующие уравнения для каждой порции газа отдельно и для газа в объединенном сосуде:

$$p_1 = \frac{N_1}{V_1}kT, \quad p_2 = \frac{N_2}{V_2}kT, \quad p = \frac{N_1 + N_2}{V_1 + V_2}kT,$$ получаем тот же ответ.

<u>Описание физической модели с помощью различных математических моделей.</u>

Благодаря исключительной сложности и многообразию свойств физического мира ни одна математическая конструкция не может дать абсолютного и исчерпывающего его описания, поэтому одно и то же физическое явление может быть описано с помощью различных математических моделей. В этом случае важным свойством математической модели является ее простота, наглядность и соответствие уровню и глубине рассмотрения физической ситуации. К сожалению, в практике преподавания именно только различные математические подходы к решению физических задач часто трактуются как разные способы их решения, и именно их достаточно подробно описывают в литературе, поэтому подробно останавливаться на них не будем, перечислим только некоторые:

- координатный и геометрический способы описания механических явлений, каждый из которых имеет свои методические особенности, достоинства и недостатки;
- описание цепей переменного тока с помощью векторных диаграмм и алгебры комплексных чисел;
- нахождение экстремальных значений физических величин с помощью исследования функции и путем выделения полного квадрата из математического выражения (решение задачи о нахождении условия выделения максимальной полезной мощности в цепи постоянного тока);
- вычисление работы переменной силы путем интегрирования и геометрическим способом, вычисляя площадь под графиком зависимости $F(S)$ и т.д.

Каждая математическая модель обладает своими методическими достоинствами и недостатками. Необоснованное преобладание того или иного способа при решении физических задач провоцирует возникновение ряда ППБ и тормозит возможное интеллектуальное развитие учащихся.

Применение математической модели для описания физических явлений различной природы.

Универсальность математической модели является показателем ее высокого качества и имеет огромное гносеологическое значение, так как дает возможность рассматривать физическую ситуацию в целом, осуществлять обобщение знаний из разных областей физики, обосновывать единство физических законов, т.е. позволяет в единичном видеть общее и с позиций общего оценивать особенное. По нашему мнению, на основе универсальности математических моделей может быть построена методическая работа по преодолению психолого-познавательного барьера между учебными дисциплинами физики и математики, который является одной из причин низкой мотивации и успеваемости учащихся при изучении физики. Такими универсальными моделями являются линейная и квадратичная функции, пропорция, квадратное уравнение, соотношения сторон и углов в треугольниках, тригонометрические функции, система линейных уравнений, уравнение гармонического колебания, формулы сокращенного умножения и т.д. Универсальным является подход к рассмотрению явлений, возникающих при переходе физической системы из одного состояния в другое, если не требуется детализация самого процесса перехода (применение законов сохранения, газовых законов осуществляется по принципу «было-стало»). Осознание учащимися универсальности математических моделей может способствовать преодолению познавательных затруднений и нахождению решения проблем в нестандартной ситуации.

В качестве примера рассмотрим задачи, в которых требуется выяснить зависимость периода колебаний какой-либо системы от ее параметров в случаях, когда природа ее колебаний определяется не только простыми механическими процессами, но и процессами иной природы. При известной условности модели можно считать, что в таких системах возникают колебания, описываемые известным уравнением $x''=-\omega^2 \cdot x$.

В процессе решения ряда таких задач в рамках школьной физики достаточно получить выражение для силы (различного происхождения), которую при известных допущениях можно считать квазиупругой, или в случае замкнутой системы воспользоваться законом сохранения энергии. Комплекс таких задач приведен в работах [182, 191], а одна из них рассмотрена в параграфе 3.1.4.

Решения этих задач известны, поэтому останавливаться на них не будем. Более интересным в связи с использованием универсальности математических моделей для работы над преодолением психолого-познавательных барьеров является следующий сюжет.

Задача.. *Санки массой m и длиной L скользят по гладкому льду со скоростью v. Неожиданно лед заканчивается, и санки въезжают на асфальт, после чего они останавливаются, заехав на асфальт лишь на ¾ длины. Коэффициент трения санок о лед равен μ. Найти время торможения санок.*

Нетрудно видеть, что торможение санок происходит под действием силы трения скольжения, величина которой меняется в процессе движения по линейному закону. Тогда уравнение движения в проекции на направление движения имеет вид: $ma_x = -\mu \frac{m}{L} gx$, откуда видно, что вторая производная от координаты a_x пропорциональна самой координате, взятой с противоположным знаком, что соответствует общему виду уравнения гармонического колебания: $\ddot{x} = -\omega^2 x$, в котором для данного случая $\omega = \sqrt{\frac{\mu g}{L}}$.

Несмотря на парадоксальность результата – ведь в описанной ситуации санки никаких колебаний не совершают, а двигаются замедленно до полной остановки, представления об универсальности математической модели позволяют получить ответ на вопрос задачи. При гармоническом колебании в механических системах скорость изменяется от максимального значения до нуля за ¼ периода, следовательно, и в данном случае искомое время может быть найдено как

$$t=\frac{1}{4}T=\frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{L}{\mu g}}.$$

Следует дополнительно отметить, что приведенное условие задачи содержит данные, не вошедшие в ответ, что дает возможность продолжить работу с математической моделью для анализа физической ситуации. Так, например, можно выяснить, при каком условии санки въедут на асфальт на ¾ длины, что изменится, если начальная скорость санок будет другой и т.д.

❖ ***Принцип применения адекватного математического аппарата и качественных методов исследования.***

Проиллюстрируем, какой педагогический эффект дает принцип оптимального сочетания количественных и качественных методов анализа физических явлений, на примере вывода основного уравнения молекулярно-кинетической теории, занимающем особое место в школьном курсе физики. Методологическое значение этого вывода заключается в том, что впервые строится количественная микроскопическая модель изучаемого объекта (координаты и скорости отдельных молекул), на основании которой делается предсказание о поведении макроскопических характеристик системы (давление и температура). Однако, как отмечается в [53], при проведении вывода этого уравнения часто допускается серьезная методическая ошибка, связанная с неоднократным усреднением результата: «средний» результат удара одной молекулы умножается на «среднее число молекул, движущихся вдоль данного направления». Между тем, грамотный подход заключается в суммировании результатов действия отдельных молекул, а не их усреднении.

Корректный вывод основного уравнения кинетической теории идеального газа должен удовлетворять следующим условиям:

- должна быть четко оговорена используемая модель идеального газа, описан характер движения молекул и их столкновений со стенками сосудов и друг с другом;
- следует рассмотреть результат соударения одной молекулы со стенкой и выразить передаваемый импульс через индивидуальные характеристики этой молекулы;
- аккуратно и только один раз усреднять результат ударов молекул о стенку путем суммирования по всем молекулам газа.

Следует отметить, что в практике обучения методологически правильная реализация этой идеи наталкивается на целый ряд методических трудностей учителей и психолого-познавательных барьеров учащихся:

1) это самый длинный и объемный вывод формулы в школьном курсе физики, требующий времени на объяснение и усвоение, и как следствие, психологически он воспринимается как самый трудный и учащимися, и учителями. Поэтому в существующих в настоящее время программах по физике вывод этого уравнения как обязательный предусмотрен только для классов физико-математического профиля. В других профилях уравнение изучается без вывода, в готовом виде, что, конечно же, не дает возможности учащимся осознать его глубокий методологический смысл;
2) проведение вывода уравнения требует актуализации и хорошего усвоения большого количества знаний по механике (понятие давления и формула для его расчета, закон сохранения импульса, второй и третий законы Ньютона, понятие абсолютно упругого удара), хорошего понимания физического смысла понятий, характеризующих микроскопическое состояние вещества (число Авогадро, масса молекулы, молярная масса, концентрация), четкого осознания смысла модели идеального газа, сформированных элементарных умений по решению задач (нахождение проекций векторных величин на координатные оси, выражение проекций в алгебраическом виде через модули соответствующих величин). Анализ показывает, что количество востребованных элементов знаний и действий, необходимых при выводе этого уравнения, очень велико, а к ним еще

требуется добавить новые идеи и рассуждения. Для многих учащихся такое сочетание оказывается непосильным, так как имеющиеся у них некоторые психолого-познавательные барьеры в освоении перечисленных базовых элементов не позволяют сосредоточиться на главном.

Разработанная нами методическая система обучения решению физических задач [182] позволяет найти элегантный и оптимальный для учащихся с разной подготовкой путь решения этих проблем. Рассмотрим подробнее последовательность методических действий в рамках этой системы.

1 этап. Актуализация элементарных знаний учащихся (давление, сила давления, расчет давления, молекулярное строение газов, характер движения молекул). Обсуждаются вопросы о причинах давления газа на стенки сосуда, его особенностях. Далее учитель просит учащихся предположить, от каких величин могло бы зависеть давление газа. Выдвигаемые предположения нужно попытаться обосновать из качественных соображений: «Почему вы так считаете?». Как правило, учащиеся называют массу молекулы, общее число молекул, объем сосуда, температуру газа, скорость молекул и т.д. Поскольку ставится задача выяснить, как зависит давление газа от его молекулярного строения, из составленного перечня величин путем обсуждения выбираются только микроскопические параметры: масса молекулы, концентрация (число частиц в единице объема), скорость молекул, а затем с помощью метода размерностей можно составить общий вид формулы, выражающей эту зависимость.

Размерность исходных величин: $[m_0]=M$; $[n]=L^{-3}$; $[\upsilon]=L\cdot T^{-2}$.

Размерность искомой величины: $[p]=M\cdot L^{-1}\cdot T^{-2}$.

Нетрудно видеть, что $p \sim nm_0\upsilon^2$. Метод анализа размерностей позволяет установить характер зависимости только с точностью до постоянного коэффициента, величина которого должна быть определена другим путем.

Такая учебная работа доступна учащимся, и поэтому может и должна проводиться в классах любого профиля. Более того, в классах базового и гуманитарного профилей это может стать единственным обоснованием основного уравнения МКТ. После этого учитель, представляя уравнение в готовом виде, уже может объяснить учащимся, каким и почему будет коэффициент пропорциональности и о какой скорости идет речь. В классах других профилей необходимо реализовать следующие этапы.

2 этап. На этом этапе используется решение задач как средство пропедевтики вывода основного уравнения МКТ. Поскольку при любом выводе используется ряд стандартных положений и приемов, необходимо сделать так, чтобы для учащихся они были также очевидны и понятны. Для этой цели хорошо подходят задачи, объектом рассмотрения в которых являются молекулярные пучки, испытывающие столкновение с преградой. В отличие от модели идеального газа в модели молекулярного пучка все частицы движутся с одинаковыми скоростями. Построение модели процесса столкновения строится по принципу ее детализации, усложнения, поэтому задачи подаются учащимся единым блоком в определенной последовательности.

Задача. *Какое время τ потребуется для того, чтобы на поверхность стекла нанести слой серебра толщиной $d=5{,}0$ мкм, используя для этого атомарный пучок, в котором атомы серебра, имеющие концентрацию $n=1{,}0\cdot10^{18}$ м$^{-3}$, движутся со скоростью $v=0.39$ км/с ?*

При решении этой задачи учащиеся знакомятся с понятием «молекулярный (атомарный) пучок» и учатся рассчитывать число молекул в пучке. Полезно задать дополнительный вопрос к задаче: с какой силой действует атомарный пучок на поверхность стекла?

Задача. *На стенку площадью S налетает поток молекул со средней скоростью v. Число молекул в единице объема, движущихся по направлению к стенке n_0, масса каждой молекулы m_0. Найти действующую на стенку силу, если молекулы движутся перпендикулярно стенке и удары молекул о стенку абсолютно упруги.*

Эта задача – еще один шаг к цели. По сравнению с предыдущей задачей изменяется один элемент условия: удар становится абсолютно упругим.

Задача. *На пути молекулярного пучка стоит «зеркальная» стенка. Найти давление, испытываемое этой стенкой, если скорость молекул в пучке* v*=1000 м/с, концентрация* $n=5\cdot 10^{17}$ *м*$^{-3}$*, масса молекулы* $m_0=3{,}32\cdot 10^{-27}$ *кг. Рассмотреть несколько случаев [71]:*

а) стенка расположена перпендикулярно скорости пучка и неподвижна ($p = 2nm_0\upsilon^2$*); б) пучок движется по направлению, составляющему со стенкой угол* α*=45°* *(*$p = 2nm_0\upsilon^2\sin^2\alpha$*); в) стенка расположена перпендикулярно скорости пучка и движется навстречу молекулам со скоростью* u*=50 м/с (*$p = 2nm_0(\upsilon + u)^2$*).*

Решив эту задачу, учащиеся убеждаются, что при ответе на каждый вопрос получается формула, отличающаяся от предсказанной на 1-м этапе только числовым коэффициентом, который зависит от конкретных условий протекания явления. При этом учащиеся практически выведут основное уравнение МКТ с одним упрощением – все молекулы двигаются с одинаковыми скоростями. Все «технические» действия и приемы, необходимые для вывода, но загромождающие главную идею и вызывающие затруднения у учащихся, в ходе решения задач были неоднократно применены и отработаны, а, следовательно, теперь уже будут не активизировать психолого-познавательные барьеры, а служить основой формирования новых знаний.

3 этап. Непосредственно вывод основного уравнения кинетической теории идеального газа. При условии проведения профилактической работы по устранению или минимизации действия ППБ усвоение нового, трудного для школьников материала облегчается и делается более осмысленным, а учитель получает возможность уделить больше внимания такой проблеме, как учет различных скоростей молекул газа и выбрать наиболее грамотный вывод основного уравнения МКТ.

Приведем пример вывода основного уравнения кинетической теории идеального газа, при котором не вводится никаких численных коэффициентов, связанных с характером движения молекул газа [53].

Поскольку давление газа не зависит от формы сосуда, выберем сосуд сферической формы радиуса R. На рис.3.25 изображено сечение сосуда плоскостью, проходящей через его центр и через траекторию какой-либо выделенной молекулы между ее двумя последовательными соударениями со стенкой сосуда, которые считаем абсолютно упругими.

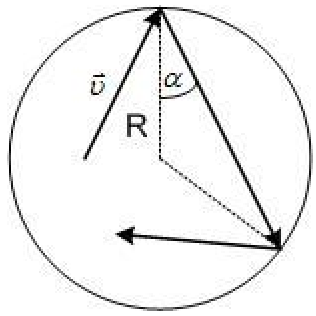


Рис.3.25

Так как рассуждения проводятся для модели идеального газа, то можно считать, что столкновения выделенной молекулы с другими молекулами отсутствуют. При каждом столкновении стенке передается по нормали к ней импульс, равный $2m\upsilon\cos\alpha$.

Расстояние, проходимое молекулой между двумя последовательными соударениями со стенкой, равно $2R\cos\alpha$ (см. рис. 3.25 . Поэтому за время t молекула нанесет по стенке $\upsilon t/2R\cos\alpha$ ударов и передаст по нормали к ней следующий импульс:

$$2m\upsilon\cos\alpha\cdot\frac{\upsilon t}{2R\cos\alpha}=\frac{m\upsilon t}{R}.$$

Видно, что эта величина не зависит от направления движения молекулы. Чтобы учесть действие множества хаотично движущихся молекул и вычислить их давление на стенку сосуда, нужно просуммировать импульсы, передаваемые ими стенке, и результат разделить на время t и площадь поверхности сосуда: $p=\frac{m}{4\pi R^2}\sum_{i=1}^{N}\upsilon_i^{\ 2}$.

Заменив сумму квадратов скоростей всех молекул произведением полного числа молекул N на среднее значение квадрата их скорости $p=\frac{m}{4\pi R^2}\cdot N\langle\upsilon^2\rangle$ и учитывая, что объем сферического сосуда равен $V=\frac{4}{3}\pi R^3$, получаем окончательный результат: $p=\frac{1}{3}nm\langle\upsilon^2\rangle$.

Отметим, что в этом выводе коэффициент 1/3 появляется естественным образом вследствие трехмерности физического пространства, а не в результате усреднения квадрата проекции скорости $\upsilon_x^{\ 2}$ и без предположения о равенстве средних значений кинетической энергии движения вдоль разных направлений. В этом заключается большое методическое достоинство описанного подхода к выводу основного уравнения кинетической теории идеального газа. Обучение через задачи, применяемое в этом случае, дает и другие положительные эффекты: минимизируется действие ППБ; так как основные элементы знаний уже известны учащимся, для учеников создается психологически более комфортная атмосфера на уроках; появляется возможность разнообразить форму урока изучения нового материала [174, 175, 176, 177].

Таким образом, при условии правильного построения методики решения физических задач, происходит разрешение методических и психологических проблем, связанных и с освоением физического содержания, с освоением элементов математического моделирования, и с возникновением психолого-познавательных барьеров, что убедительно демонстрируют приведенные примеры.

3.2.3. Физические задачи как средство мотивации к преодолению психолого-познавательных барьеров

Как уже отмечалось, психолого-познавательные барьеры, неизбежно проявляющиеся в мышлении человека в ходе любой его деятельности, в том числе учебной и научной, выполняют две функции – ограничительную и стимулирующую, т.е. мотивационную. Негативное влияние ППБ при обучении физике и решении физических задач чаще описывалось в литературе в виде затруднений учащихся, и именно в этом смысле подвергалось научному и методическому анализу [138, 224, 236]. Позитивное значение ППБ в жизни человека описано в философском, психологическом и общепедагогическом смыслах [72, 125, 328], методический анализ и разработка возможности использования ППБ для целей обучения практически отсутствуют. В контексте нашего исследования особое значение имеет именно мотивационная функция психолого-познавательных барьеров, которую они могли бы выполнять в ходе обучения физике. Главное мотивирующее действие оказывает сам характер предлагаемой работы, который побуждает человека к активности. Обеспечение мотивации начинается с правильного соединения на уроке различных методов: словесных, наглядных, практических, с организации самостоятельной работы учащихся.

Одной из приоритетных целей современного образования является развитие умения ставить и решать исследовательские задачи. Важнейшим условием реализации научного исследования является подлинный интерес к предмету исследования и удовлетворение любопытства самого исследователя, которые, собственно, и движут процесс исследования, позволяющий получать новые результаты. «Наименее близкий духу науки мотив – это желание самоутверждения, желание доказать себе или другим, что ты можешь довести задачу до конца. Другой мотив — стремление к самовыражению, т.е. к наиболее полному проявлению своей индивидуальности. Но самый важный побуждающий мотив – это любопытство, для естествоиспытателя – желание узнать, как устроена природа...» [55].

Особая важность метода исследования в обучении подчеркивалась отечественными педагогами и психологами [194, 199, 209, 210, 250, 257, 267, 332]. Однако использование богатейших возможностей физики как науки для формирования навыков исследовательской деятельности в практике обучения вызывает определенные и вполне объективные затруднения.

Обычно проблема решается тремя основными путями:

- исследовательская деятельность организуется за пределами урока в виде учебных исследований учащихся;
- имитация исследовательской деятельности ученых на значительно упрощенном содержании;

- обучение элементам исследовательской деятельности.

В работе [195] отмечается, что большинство учителей, понимая роль исследований в учебном процессе, редко использует их на практике, называя ряд причин: «не хватает времени на уроке», «нет времени для подготовки таких уроков в виду большой нагрузки», «недостаточно оборудования» и т.д. Более глубокий анализ причин показывает неготовность учителей к организации исследовательского обучения: 53% опрошенных испытывают затруднения в выборе содержания и тематики исследования, 52% – в обосновании методов исследования, 46% – в обобщении и оформлении полученных результатов, 47% – нуждаются в дополнительной подготовке для организации учебных исследований учащихся. Наиболее сложной, но актуальной задачей является организация учебных исследований на уроке как основной форме обучения в современной системе школьного образования. Очевидно, что на уроке гораздо меньше возможностей для исследовательского обучения, чем во внеурочных формах занятий. Однако для выполнения требований ФГОС необходима организация исследований именно на уроке, т.к. работы в рамках ученических научных обществ выполняют немногие, только наиболее способные к такой деятельности школьники, а факультативные занятия также посещает только наиболее мотивированная часть учащихся.

По нашему мнению, в силу ограниченности учебного времени в рамках урока полноценное учебное исследование, да еще и осуществляемое учащимися в самостоятельном режиме, не может быть регулярным, поэтому в урок могут быть включены только элементы умений, необходимых для исследовательской деятельности. Однако именно на уроках физики может и должна проводиться систематическая подготовка учащихся к проведению учебных исследований, что возможно при реализации прогрессивных методических идей. Один из самых эффективных вариантов организации учебного исследования во время урока физики основывается на широком применении учебных физических задач, что обусловлено тем, что:

1) учебная физическая задача сама по себе представляет собой модель научного исследования – теоретического, экспериментального, вычислительного;
2) процесс мышления ученого происходит в двух направлениях – индуктивного открытия и дедуктивного доказательства. Индуктивный процесс ведет к открытию связующего принципа, дедуктивный – к его проверке. При решении физической задачи могут быть реализованы и дедуктивные, и индуктивные стратегии решения, что позволяет развивать логические и интуитивные стороны мышления.
3) Индуктивное исследование при решении задач (имеется в виду не метод математической индукции, применяемый при решении ряда задач!) – это выход на обобщение применяемых методов решения, получение выводов более высокого уровня. Исследования и наблюдения психологов показывают склонность учителей к увлечению методикой индуктивного исследования порой в ущерб дедуктивному методу, без которого утрачивается критическое мышление и способность превращать разрозненные подробности в ценностный опыт. Чтобы решение ряда задач приобрело исследовательский статус, необходимо, чтобы в основу его организации была заложена более глубокая идея, чем принцип «от простого к сложному». Например, как показано в предыдущем параграфе, если решение серии задач выстраивать на основе иерархии математических моделей по принципу «снизу вверх», то с точки зрения типа процедуры как раз и получается индуктивное исследование.
4) Дедуктивное исследование при решении задач – это применение самых общих представлений для анализа физической ситуации, которыми являются методологические принципы физической науки. Сложность его проведения заключается в том, что освоение ведущих методологических идей не может произойти ни одномоментно, ни путем информирования учащихся об их наличии, пусть даже и неоднократного. Это длительный процесс, осуществлять который необходимо регулярно, с самых первых

шагов изучения физики, с помощью специально организованной деятельности по решению физических задач.

5) При должном выборе методов решения задачи полный цикл исследования может быть завершен на одном уроке. Методика исследовательского обучения позволяет воспроизвести полную структуру цикла мыслительного акта, поэтому в процесс обучения обязательно должно быть включено звено порождения проблемы, создания условий для возникновения у ученика вопроса или проблемы. По меткому выражению Дж. Дьюи, мышление не является случаем самовозгорания, оно не возникает на почве «общих» принципов. «Общее внушение ребенку (или взрослому) подумать, независимо от существования в его личном опыте затруднения, смущающего и выводящего из равновесия, является настолько же бесплодным советом, как совет поднять себя за ушки от сапог» [97, с.138].

Решение учебной физической задачи позволяет не только устранять или минимизировать негативное действие ППБ, но и активизировать их положительную, мотивационную функцию. Формулировке и принятию вопроса или проблемы учащимся к разрешению предшествует активизация в его сознании психолого-познавательных барьеров, которые вызывают состояние напряжения, неудобства и желание избавиться от этого дискомфорта. Создание учителем условий для возникновения вопроса как раз и представляет собой активизацию мотивационной функции ППБ. В этой связи существует серьезная проблема: как сделать так, чтобы ученик в качестве избавления от неудобного состояния не уходил от решения задачи, а наоборот, стремился ее решить. Например, открытым остается вопрос, что мешает ученику и порой вообще не позволяет ему приступить к решению задачи («Не знаю, не буду. Ставьте 2!»).

В этой связи нельзя не отметить важнейшее условие, при котором мотивирующая функция ППБ будет проявляться и способствовать изучению предмета. «Не следует браться за неопределенные проблематические работы. Нужно приобрести опыт и овладеть техникой, решая не очень сложные задачи. Существует важнейшее явление: работа, которая «получилась», которую удалось довести до конца, приносит гораздо больше пользы развитию качеств научного работника, чем десятки работ, которые пришлось бросить на середине из-за чрезмерных трудностей. Кроме того, следует начинать с «достоверных» задач, т.е. с таких задач, которые не требуют введения недоказанных или недоказуемых предположений, а являются следствием полученных ранее результатов» [217]. Эти слова как нельзя лучше подтверждают справедливость идеи о необходимости применения учебных физических задач в обучении и указывают на то, что при организации задачного обучения следует позаботиться о создании как посильных трудностей для учащихся, так и успешности решения физических задач. Только при этом условии однажды возникший интерес к исследованию не угаснет в самом начале и позволит провести учащегося к новым достижениям.

Каково же должно быть физическое содержание задач, применяемых на уроках с целью активизации мотивирующей функции ППБ и учитывающих вышеперечисленные условия? Продемонстрируем некоторые возможности значительного образовательного потенциала существующих учебных физических задач путем небольшой коррекции их формулировок и адаптации для этой цели и известных методических приемов.

- ***Применение анализа поведения реальных объектов на основе решения физических задач.***

Использование упрощенных учебных задач, с уже заданными физическими моделями и зачастую предопределенными математическими моделями, вполне целесообразно и предназначено для освоения какой-либо ключевой идеи или приема. Но учащимся может оставаться непонятным, какое отношение это может иметь к окружающему миру. Задачи же с неадаптированным содержанием не всегда доступны для анализа учащимися в силу объективного наличия ППБ исходных когнитивных моделей. Поэтому включение задачи в реальный контекст не должно сводиться к формулировке задачи, а достигается соответствующим обсуждением и составлением иерархии моделей. Необходимость и возможность использования учебных физических задач для поддержания мотивации к учению и развитию познавательного интереса с помощью анализа поведения реальных объектов обусловлена следующими факторами:

- яркая демонстрация учащимся явной полезности школьных знаний, так как аргументы о необходимости формирования правильного мировоззрения, научного взгляда на окружающий мир, особых качеств мышления для большинства учащихся (да и для многих родителей тоже) являются не слишком убедительными, прежде всего из-за отсроченности получения предполагаемого результата;
- в связи с сокращением времени на изучение физики и в погоне за отработкой определенных стандартами знаний, умений и навыков, а теперь и подготовкой к ЕГЭ, вопросы убедительной демонстрации практической ценности физических знаний зачастую отходят на второй план, поэтому использование и расширение личного опыта учащихся как нельзя лучше стимулируют развитие наблюдательности и любознательности учащихся;
- учащиеся даже старших классов мыслят довольно конкретно, абстрактное мышление у них еще находится в стадии формирования. Большое количество абстрактных представлений и теоретических моделей, без которых невозможно познать и понять явления природы, учащиеся не могут соотнести с их практическим смыслом;
- попытки выдвинуть для физического анализа в средней школе реальные объекты часто являются или данью занимательности преподавания, или сопровождаются очень грубым моделированием, не адекватным реальному объекту. Чем более абстрактным является объект изучения, тем менее интересен он учащимся. Чем менее абстрактный объект выбирается для рассмотрения, тем труднее его адекватно описать на уровне, доступном пониманию школьника.

Продемонстрируем эти возможности на примере задач, в которых главным объектом является автомобиль. Многие особенности функционирования автомобиля вполне могут быть достаточно строго объяснены в рамках школьного курса физики, поэтому не случайно автомобиль является объектом рассмотрения во многих школьных задачах, особенно по механике. Однако при этом ряд условий, вводимых в формулировку задачи, даже будучи правильными и необходимыми с точки зрения возможности построения адекватной модели движения, во многих случаях остаются непонятными для учащихся, так как у них нет возможности для сравнения протекания физического явления при их отсутствии и их наличии. В первую очередь это касается особенностей проявления силы трения и выяснения ее роли в движении автомобиля.

Анализ наиболее известных и распространенных школьных задачников показал, что в большинстве таких задач:

- подразумевается, что автомобиль можно принять за материальную точку (это справедливо в ряде случаев, если имеется дополнительное к стандартным для модели материальной точки условие – все колеса ведущие; однако порой это даже не оговаривается, а считается чем-то само собой разумеющимся);
- не выясняется природа силы тяги и силы сопротивления движению, что приводит к большим затруднениям учащихся, особенно если эти элементы являются ключевыми для решения задачи.

С точки зрения влияния трения разные режимы движения автомобиля на доступном школьникам уровне подробно описаны в [310], а систематично в виде решения физических задач этот вопрос освещен в работе [178], здесь мы кратко остановимся на наиболее показательных моментах.

Для наилучшего понимания все «автомобильные задачи» удобно разбить на смысловые блоки.

1. *Равномерное движение автомобиля*. Решение задач этого блока направлены на то, чтобы на качественном уровне разобраться с причинами движения автомобиля, так как в большинстве традиционных задач вопрос о природе силы тяги автомобиля просто не ставится. К тому же зачастую подразумевается (но, к сожалению, не оговаривается

составителями задач в условии!), что речь идет о полноприводном автомобиле (со всеми ведущими колесами).

При анализе таких сюжетов важно обратить внимание учащихся, что внешними силами, которые заставляют двигаться автомобиль вперед, являются силы трения покоя, действующие на его ведущие колеса. Они, собственно, и являются силами тяги (рис.3.26). Соответственно в автомобиле с передним приводом они приложены к передним колесам, в автомобиле с задним приводом – к задним колесам, а в полноприводном – ко всем колесам. Максимальная величина каждой силы трения определяется произведением коэффициента трения покоя покрышки о поверхность дороги и нормальной силы реакции опоры, приложенной к соответствующему колесу. Это приводит к тому, что увеличение мощности мотора гарантирует увеличение силы тяги только в определенных пределах, превышение которых может привести просто к проскальзыванию колес.

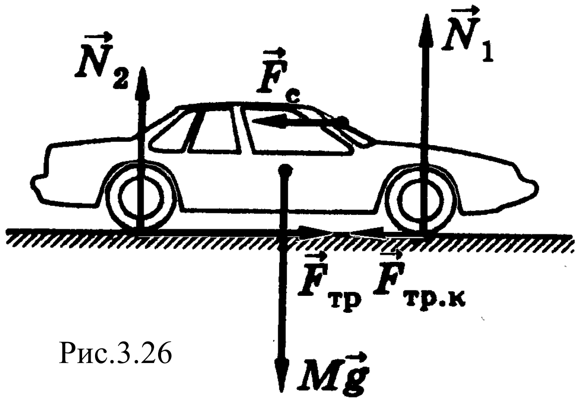


Рис.3.26

2. *Торможение автомобиля*. Эти сюжеты встречаются наиболее часто.

Задача. *На обледеневшем участке шоссе коэффициент трения между колесами и дорогой в десять раз меньше, чем на необледеневшем. Во сколько раз нужно уменьшить скорость автомобиля, чтобы тормозной путь на обледеневшем участке шоссе остался прежним?[61, № 2.1.28].*

В данной формулировке подразумевается, что торможение осуществляется путем блокирования всех ведущих колес. В этом случае модель движения автомобиля почти не отличается от движения бруска по горизонтальной поверхности, который можно принять за материальную точку, а решение получается сразу из соотношения:

$$S = \frac{\upsilon^2}{2a} = \frac{\upsilon^2}{2\mu g}.$$

Следует отметить, что если при решении подобной задачи не обсуждать вопрос о том, от чего зависит величина тормозного пути, имеющий важное практическое значение, то упоминание автомобиля в данном сюжете будет лишь данью занимательности преподавания.

Кроме того, полученный результат может показаться несколько парадоксальным: получается, что длина тормозного пути не зависит от массы автомобиля при прочих равных условиях. Этот вывод противоречит наблюдаемым фактам (остановить тяжелое транспортное средство гораздо труднее), однако противоречие снимается, если вспомнить, в рамках какой модели рассматривалось явление в предложенной задаче. Как будет показано далее, при движении автомобиля с ускорением происходит перераспределение нагрузки между колесами, к тому же и коэффициент трения покрышки о дорогу немного изменяется в зависимости от нагрузки на колесо, а следовательно, приводит к изменению величины силы трения и более сложной зависимости тормозного пути от трения [310].

Более приближенной к реальной ситуации и практически значимой является задача о сравнении тормозного пути автомобиля при полном блокировании колес и на пределе проскальзывания. Простые расчеты показывают, что при прочих равных условиях эффективнее тормозить вторым способом. Это обстоятельство несколько проясняет проблему, поставленную в первой задаче - в действительности торможение с заблокированными колесами стараются не применять.

3. *Равноускоренное движение автомобиля.* Гораздо больше затруднений у учащихся вызывают сюжеты, в которых необходимо учесть природу силы тяги, действующей на автомобиль. Принципиальную роль в движении автомобиля играет сила трения покоя. Шины ведущих колес автомобилей как бы «отталкиваются» от асфальта, и в отсутствие пробуксовки сила, толкающая автомобиль вперед, – сила трения покоя. Именно она направлена по ходу движения.

4. *Движение на поворотах.* Сила трения в местах соприкосновения ведущих колес с дорогой – это единственная внешняя горизонтальная сила (исключая силы сопротивления), действующая на автомобиль. Только она и может сообщить автомобилю необходимое ускорение и при наборе скорости, и при торможении, и при повороте. Но величина силы трения ограничена максимальным значением, а ее направление в горизонтальной плоскости может быть различным, и может не совпадать с направлением скорости. В этом случае удобно разложить вектор силы трения на две составляющие - тангенциальную и центростремительную. Тангенциальная составляющая отвечает за изменение скорости по величине и может обеспечивать как ее увеличение, так и уменьшение. Центростремительная составляющая обеспечивает изменение направления скорости, т.е. прохождение поворотов.
5. *Задачи, в которых автомобиль нельзя считать материальной точкой.*

Принимать автомобиль за материальную точку допустимо, если автомобиль имеет полный привод, т.е. все колеса являются ведущими. Динамика движения полноприводного и заднеприводного автомобилей существенно отличается и друг от друга, и от динамики полноприводного автомобиля. Это связано, прежде всего, с особенностями распределения нагрузки между передней и задней осями автомобиля. Распределение нагрузки не является постоянной характеристикой машины, а зависит от характера ее движения. Перераспределение нагрузки в процессе движения обусловлено несовпадением точек приложения силы тяжести и сил, действующих на машину со стороны дороги. Поскольку величина силы трения зависит от силы реакции, действующей на колеса со стороны дороги, это имеет порой решающее значение для управления автомобилем при разгоне, торможении и поворотах. В этом блоке задач на школьном уровне можно рассмотреть следующие аспекты:

- показать, что модель материальной точки к анализу движения автомобиля применима далеко не всегда (объяснить на качественном уровне и подтвердить простейшими расчетами распределение нагрузки на колеса при торможении, разгоне, повороте).

В результате решения этого блока задач учащиеся убеждаются, что при ускорении уменьшается сцепление передних покрышек с дорогой, а задних – увеличивается, при торможении увеличивается сцепление передних покрышек, а при поворотах колеса внутренней стороны больше склонны к скольжению, чем внешние. Таким образом, становится понятно, что изменение сцепления колес с дорогой, возникающее из-за перераспределения нагрузки на колеса автомобиля, может приводить скольжению некоторых колес, что значительно усложняет управление автомобилем и является очень опасным. Причем в этом случае принципиально важным является то, какая именно пара колес является ведущей.

- Рассмотреть, как влияет вид привода автомобиля и перераспределение нагрузки на колеса в процессе движения на возможность подъема в гору, откуда можно увидеть, что труднее всего преодолевать подъемы автомобилю с передними ведущими колесами. Опытные водители знают, что если подъем не поддается, то на автомобиле с передним приводом эффективнее пройти его «задом наперед».

Заметим, что указанные аспекты, иллюстрирующие тонкие моменты проявления силы трения, не являются чем-то экзотическим для школьной физики, а довольно часто используются составителями конкурсных, экзаменационных и олимпиадных задач. В качестве еще одного примера приведем задачу из третьей части ЕГЭ по физике.

Задача. *Грузовой автомобиль со всеми ведущими осями массой $M=4$ т с прицепом, масса которого $m=1$ т, движется равноускоренно вверх по склону под углом $\alpha=\arcsin 0{,}1$ к горизонту. Коэффициент трения между шинами грузового автомобиля и дорогой $\mu=0{,}2$. Какова максимально возможная сила натяжения троса, связывающего грузовик с прицепом? Силой трения качения, действующей на прицеп, и массой колес пренебречь.*

Самым трудным для учащихся оказывается понять, куда направлена сила трения, и зачем в условии сказано обо всех ведущих осях. При правильном понимании этих элементов ситуация сводится к типовой задаче на движение тел с невесомой и нерастяжимой связью, решение которой не вызывает затруднений.

Применение данной системы «автомобильных» задач позволяет разрешить целый ряд педагогических и методических проблем: углубление понимания действия сил сухого трения, их роли в движении транспортных средств, более детальное знакомство с устройством и особенностями движения автомобилей разных типов, что имеет важное практическое значение и неизменно привлекает внимание и интерес учащихся. Освоение особенностей физики движения автомобиля с помощью физических задач может составить хорошую основу для грамотного и безопасного управления автомобилем в дальнейшем. Например, можно обсудить с точки зрения физики одно из правил дорожного движения, в котором водителю рекомендуют проходить повороты при неизменной (по модулю) скорости, то есть, не притормаживая и не ускоряясь.

- ***Применение решения задач для определения погрешности натурного эксперимента***

Решение учебной физической задачи хорошо согласуется с экспериментальными и компьютерными технологиями, предоставляя теоретическое обоснование экспериментальным процедурам проверки теоретической модели явления, выбора методов измерений, объяснение результатов вычислительного эксперимента. Например, с помощью математического моделирования может быть разрешена типичная школьная проблема о погрешности натурного эксперимента, если она сформулирована и поставлена в виде задачи [147].

Как среди имеющихся наборов вольтметров и амперметров с заданными значениями сопротивлений R_v и R_a и ценами деления шкал ΔU_v и ΔI_a, , определяющими погрешность измерения тока и напряжения, выбрать пару и определить, по какой схеме ее включить, чтобы погрешность измерения неизвестного сопротивления R_x была наименьшей?

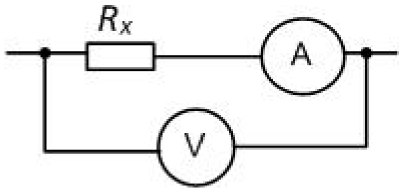


Рис.3.27

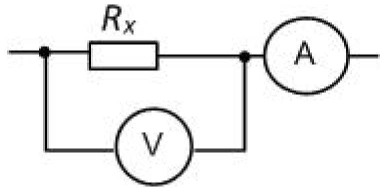


Рис.3.28

Умения оценивать погрешности измерения различных физических характеристик реальных систем должны закладываться еще при изучении курса физики средней школы во время выполнения традиционных лабораторных работ. Неожиданное и парадоксальное с точки зрения учащихся применение компьютера в учебном процессе у многих из них активизирует мотивационную функцию ППБ.

В эксперименте обычно используется источник постоянного напряжения U и собирается одна из двух цепей, схемы которых показаны на рис.3.27 и 3.28. Поскольку всегда $R_a \ll R_v$, то легко видеть, что схема на рис. 3.27 обеспечивает высокую точность измерений при $R_x \gg R_a$, а схема на рис. 3.28 – при $R_x \ll R_v$. Только первая схема подходит для измерения больших сопротивлений $R_x \geq R_v$, и только вторая – для измерения малых сопротивлений $R_x \leq R_a$. При выполнении условия $R_a \ll R_x \ll R_v$ обе схемы дают примерно одинаковую погрешность измерений. Обыденный опыт не дает учащимся критериев, с помощью которых можно было бы понять, насколько велико или мало должно быть то или иное сопротивление. Для более точной оценки, какая из схем предпочтительнее, и формирования представлений об относительности понятий «много»-«мало», необходимо провести более аккуратный анализ.

Может быть предложена такая последовательность действий:

1. Пользуясь законом Ома для однородного участка цепи, получить выражение для относительной ошибки в определении сопротивления $\varepsilon = \dfrac{\Delta R_x}{R_x}$ для обеих схем:

$$\varepsilon_1 = \frac{I_a \cdot \Delta U_v + U_v \cdot \Delta I_a}{I_a(U_v - I_a R_a)}$$ - для схемы 1 (рис.3.27)

$$\varepsilon_2 = \frac{I_a \cdot \Delta U_v + U_v \cdot \Delta I_a}{U_v(I_a R_v - U_v)} \cdot R_v$$ - для схемы 2 (рис.3.28)

Как видно из этих формул, наличие погрешностей измерений приводит к различным значениям ε_1 и ε_2. Это ставит вопрос о выборе схемы, обеспечивающей меньшую относительную ошибку.

2. Чтобы сравнить величины ε_1 и ε_2, необходимо выразить их через характеристики приборов R_v, R_a, ΔU_v, ΔI_a и подаваемое на концы схем напряжение U. В результате получаем:

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta U_v + (R_x + R_a) \cdot \Delta I_a}{UR_x} \cdot (R_x + R_a)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{[(R_x + R_v) \cdot \Delta U_v + R_x R_v \cdot \Delta I_a] \cdot (R_x R_a + R_x R_v + R_a R_v)}{UR_x R_v^2}$$

Из полученных выражений следует, что в обоих случаях относительная ошибка измерений обратно пропорциональна приложенному напряжению U. Поэтому поспешный вывод о том, что точность измерения будет всегда выше при использовании приборов с наименьшими значениями ΔU_v и ΔI_a в общем случае неверен: например, может оказаться, что более высокая точность может быть достигнута при использовании приборов, допускающих бо́льшие значения приложенного напряжения, хотя и имеющие бо́льшие значения ΔU_v.

3. Сравнить относительные погрешности ε_1 и ε_2

$$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{[\Delta U_v + (R_x + R_v) \cdot \Delta I_a] \cdot (R_x + R_a) \cdot R_v^2}{[(R_x + R_v)\Delta U_v + R_x R_v \cdot \Delta I_a] \cdot (R_x R_a + R_x R_v + R_a R_v)}$$

и выразить полученное отношение через безразмерные параметры $\gamma = \frac{R_a}{R_v}$ (γ<<1), $\Gamma = \frac{R_x}{R_v}$ и величину $\Delta I_v = \frac{\Delta U_v}{R_v}$:

$$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{[\Delta I_v + (\Gamma + \gamma) \cdot \Delta I_a] \cdot (\Gamma + \gamma)}{[\Delta I_v(\Gamma + \gamma) + \Gamma \cdot \Delta I_a] \cdot [\Gamma(1 + \gamma) + \gamma]}. \quad (3.13)$$

Соотношение (2.17) соответствует всем предельным случаям, которые были установлены выше из качественных соображений. В частности, при условии $R_a << R_x << R_v$ имеем Γ<<1 и, учитывая, что γ<<1, получаем $\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \approx 1$.

Это означает, что в данном случае обе схемы обеспечивают практически одинаковую точность измерения. Однако соотношение (3.13) позволяет выяснить, какая все же из двух схем позволит более точно определить R_x при условии, что его величина лежит в интервале между R_a и R_v, в зависимости от параметра $\gamma = \frac{R_a}{R_v}$.

4. Построить графики зависимости $\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}$ от параметра Γ, лежащего в интервале $\gamma<\Gamma<1$, для различных значений γ.

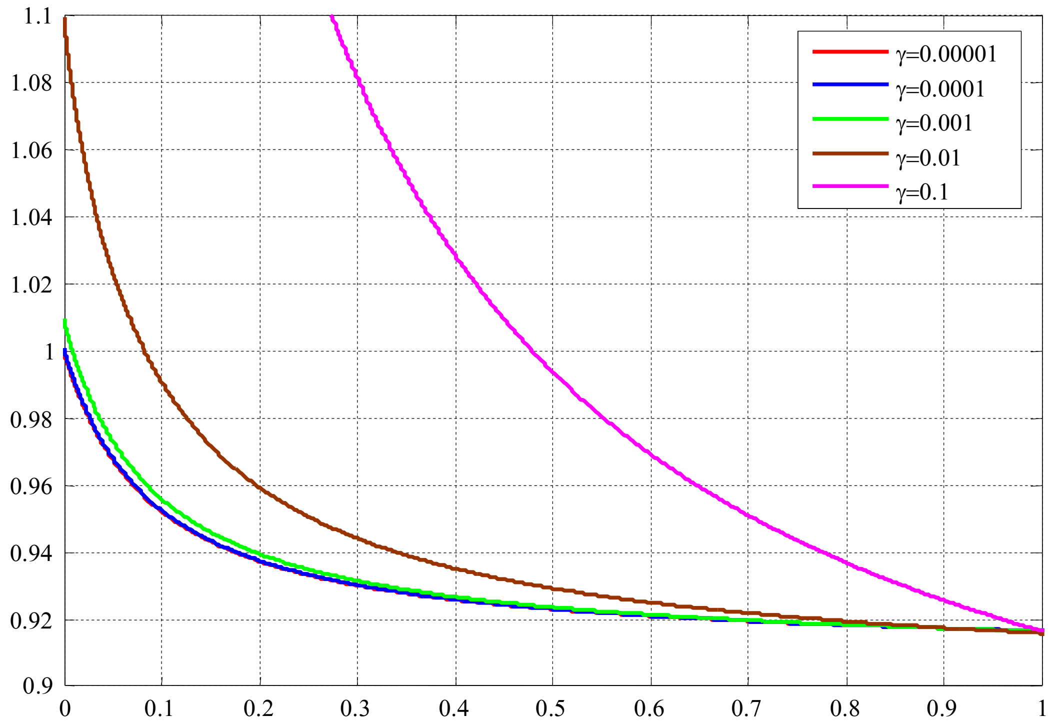


Рис.3.29

Использование для этой цели простейших операций пакета Matlab очень удобно и вполне доступно школьникам: введение программы расчетов несложное, не требует никаких дополнительных математических знаний и больших временных затрат, а, меняя масштаб координатных осей, можно детально анализировать построенные графики в разных диапазонах Г. Примеры полученных таким образом графиков при разных значениях ΔI_a приведены на рис. 3.29.

❖ ***Применение компьютера для моделирования физических явлений при решении физических задач***

Использование готовых компьютерных моделей

Проведенный методический анализ возможностей использования готовых компьютерных моделей показал, что наибольший эффект дает их сочетание с решением физических задач, что определяется сущностью исследовательского метода в обучении. Суть такого подхода заключается в том, чтобы формулировка физической задачи как построение физической модели явления, и ее решение как построение и анализ математической модели явления, с необходимостью возникали в ходе анализа поведения компьютерной модели. При этом разные модели будут иметь разные дидактические возможности при осуществлении тех или иных этапов исследования, поэтому следует отчетливо понимать, формированию какого из них отдается приоритет при использовании конкретной компьютерной модели. Подробно эта идея рассмотрена в работе [181].

Приведем пример реализации этой идеи в применении к наиболее распространенным компьютерным моделям – из программы «Открытая физика» и опубликованным для свободного доступа на сайте http://www.fcior.edu.ru.

Модель «Термодинамические циклы»

Модель представляет собой диаграмму замкнутого цикла, изображенную в осях (p,V). Вид циклического процесса и его размеры можно менять. При этом автоматически

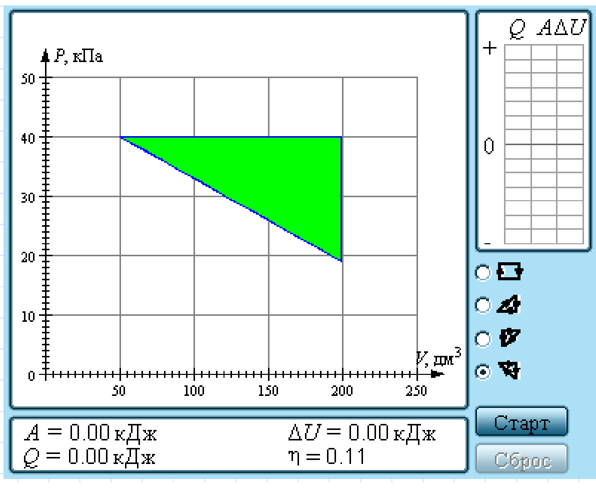


Рис. 3.30

вычисляется работа газа за цикл и КПД (рис. 3.30).

Порядок действий на уроке может быть следующим. Для начала учащимся предлагается «поиграть» с моделью и понаблюдать, как меняется КПД цикла при различных изменениях параметров.

Затем задание конкретизируется: предлагается выбрать треугольный цикл и расположить его по-разному на предложенной координатной плоскости (рис. 3.31, 3.32). Модель предлагает три варианта расположения треугольника на плоскости. При этом площадь цикла должна быть одинаковой во всех трех случаях. Разные группы учащихся могут выбрать треугольные циклы разной площади и расположить их между различными значениями давлений и объемов. Удобно, если трем группам даны одинаковые циклы, ориентированные на координатной плоскости так, как в данной модели. В результате выполнения этого задания возникает проблема: «Почему одинаковые по площади циклические процессы имеют разный КПД?»

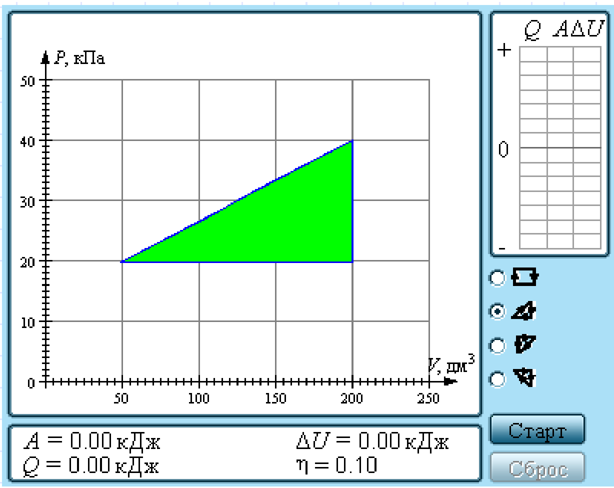


Рис. 3.31

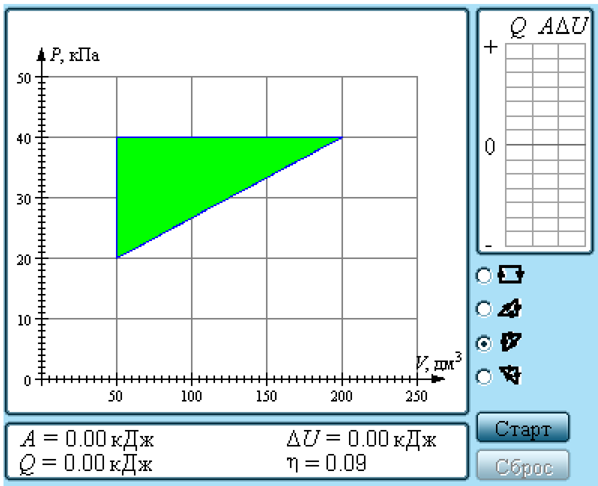


Рис. 3.32

Ответы, полученные с помощью модели, нуждаются в теоретическом обосновании. Например, предлагается рассчитать КПД теоретически, но учитывая не конкретные значения давления и объема, а их кратные соотношения. Кратность соотношений давлений и объемов можно менять, например, рассчитать КПД цикла, учитывая что $p_2=2p_1$, а $V_2=4V_1$. Причем расчеты для разных моделей могут оказаться разными по сложности (например, модель на рис. 3.30 требует очень аккуратного анализа). Таким образом, при организации учебного исследования на основе этой компьютерной модели акцент переносится на построение и исследование математической модели процесса.

Моделирование физических явлений с помощью компьютера

Наиболее адекватное включение современных компьютерных технологий в обучение физике связано с проведением комплексных теоретических, экспериментальных и вычислительных исследований компьютерных моделей и правильной интерпретацией полученных результатов, что естественным образом опирается на решение физических задач. Большое количество таких задач, которые можно использовать для проведения учебного исследования, представлено в [150, 151, 193, 117, 311 и др].

Примером достаточно серьезного исследования может стать типовая «школьная» задача о перемещении лодки при переходе человека с носа на корму, которая может быть рассмотрена на уроке (рис. 3.32). При этом не учитывается движение воды вместе с лодкой и вязкие свойства жидкости, аналогично тому, как не учитывается вязкость воздуха при рассмотрении движения тел в однородном поле тяжести, в частности при движении снарядов. Применимость же модели невязкой жидкости в силу сложности аналитического решения в школе никогда не обсуждается [193].

Можно выделить следующие этапы работы с этой задачей:

1. Рассмотрение традиционного решения задачи.

В пренебрежении силами вязкости никаких горизонтально направленных внешних сил на систему «лодка-человек» не действует. В этом случае горизонтальная составляющая импульса системы остается постоянной. Учитывая, что до начала движения человека эта составляющая была равна нулю, можно утверждать, что в течение всего процесса перехода человека с носа на корму она остается равной нулю, а, следовательно, изменение положения центра масс системы по горизонтали также равно нулю.

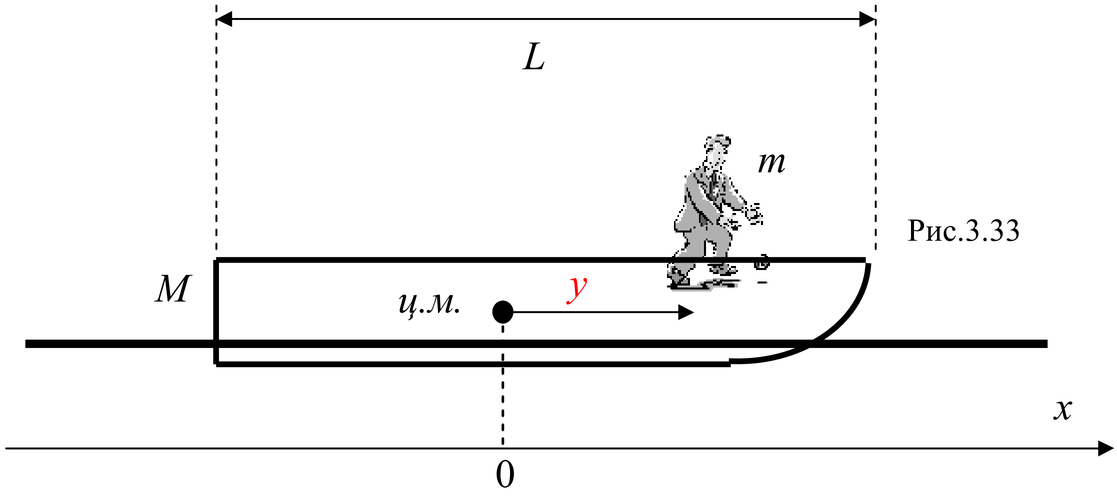


Рис.3.33

Введем связанную с землей систему координат, начало которой совпадает с начальным положением центра масс лодки, и следующие обозначения: X_1 – конечная координата центра масс лодки, x_0 и x_1 – начальная и конечная координата человека относительно центра масс лодки. Тогда начальная и конечная координата центра масс всей системы вычисляются обычным образом:

$$(M+m)R_0 = mx_0\,,$$

$$(M=m)R_1 = MX_1 + m(X_1 + x_1)\,.$$

Поскольку центр масс не изменяет своего положения, то R_0=R_1, и для конечной координаты центра масс лодки получаем выражение:

$$X_1 = \frac{m}{m+M}(x_0 - x_1)\,, \tag{3.14}$$

где $|x_0 - x_1| = l$ – длина лодки, а $|X_1| = s$ – пройденный лодкой путь.

2. Уточнение модели путем учета силы вязкого трения.

Сила вязкого трения при малых скоростях движения лодки пропорциональна ее скорости υ: $F_{\text{тр}} = -\alpha\upsilon$, где α – коэффициент, характеризующий вязкость жидкости, размеры и форму лодки. Поскольку теперь имеются внешние горизонтальные силы, горизонтальная составляющая импульса системы изменяется по закону: $\dfrac{\Delta P}{\Delta t} = F_{\text{тр}}$.

Учитывая, что при малых Δt $\upsilon = \frac{\Delta X}{\Delta t}$, где X – текущая координата центра масс лодки, получим: $\frac{\Delta(P + \alpha X)}{\Delta t} = 0$, что означает, что изменение величины $P + \alpha X$ со временем не происходит.

Следовательно, $$P_1 + \alpha X_1 = P_0 = 0. \quad (3.15)$$

3. Анализ полученного равенства.

При α=0 последняя формула дает результат, совпадающий с традиционным решением. Однако при α≠0 получается, что после того, как лодка остановится (P_1=0), она займет первоначальное положение (X_1=0), что противоречит результату (3.14). Причем эти рассуждения остаются справедливыми при сколь угодно малом α. Если сделать предположение, что в конечном состоянии импульс отличен от нуля (P_1≠0), то получается, что нулю должен быть равен коэффициент α, а это противоречит реальному явлению. При наличии сколь угодно малой вязкости движение лодки тормозится, и она, в конце концов, должна остановиться.

Таким образом, усложнение модели введением вязкости приводит к появлению парадокса: результаты решения для идеальной (не вязкой) жидкости и для жидкости со сколь угодно малой вязкостью получаются качественно различными. Целью дальнейшего исследования и является разрешение возникшего парадокса.

4. Поиск разрешения парадокса. С помощью метода анализа размерностей и оценок параметров задачи получается интересный вывод, что «невязкая» вода может оказаться вязкой при изменении параметров модели.
5. Компьютерное исследование модели.

Более детальный анализ задачи можно провести, если решить дифференциальное уравнение, описывающее происходящий в задаче процесс: $(m + M)\frac{dV}{dt} = -\alpha\upsilon$.

Конкретные результаты зависят от моделирования процесса перемещения жука по листу. Если считать, что на каждом временном интервале жук движется с постоянным ускорением, могут быть получены аналитические формулы. Но даже в простейшем случае они оказываются достаточно громоздкими и неудобными для исследования, поэтому использование численных методов решения дифференциальных уравнений с помощью стандартных математических пакетов, например Matlab, оказывается более эффективным. А в применении к школьной практике – это единственный путь. Подробные расчеты приведены в [151, 193].

На рис. 3.34 приведены результаты численного расчета для случая, когда жук «разгоняется» по листу в течение 0,1 с, достигая скорости 0,05 м/с, затем в течение 1 с движется с постоянной скоростью, после чего «тормозит» за время 0,1 с. На верхнем графике на рис. 3.33 изображена зависимость смещения листа от времени. Отрицательный знак смещения соответствует тому, что лист смещается в сторону, противоположную направлению скорости *жука.* Горизонтальная прямая на верхнем графике соответствует значению смещения, рассчитанному по формуле (3.14). Как видно из графика, максимальное (по модулю) смещение меньше почти в два раза, чем это получается в пренебрежении вязкостью воды. Второй график показывает зависимость скорости листа от времени. Видно, что скорость листа после остановки жука быстро (по сравнению с временем движения жука) спадает до пренебрежимо малой величины.

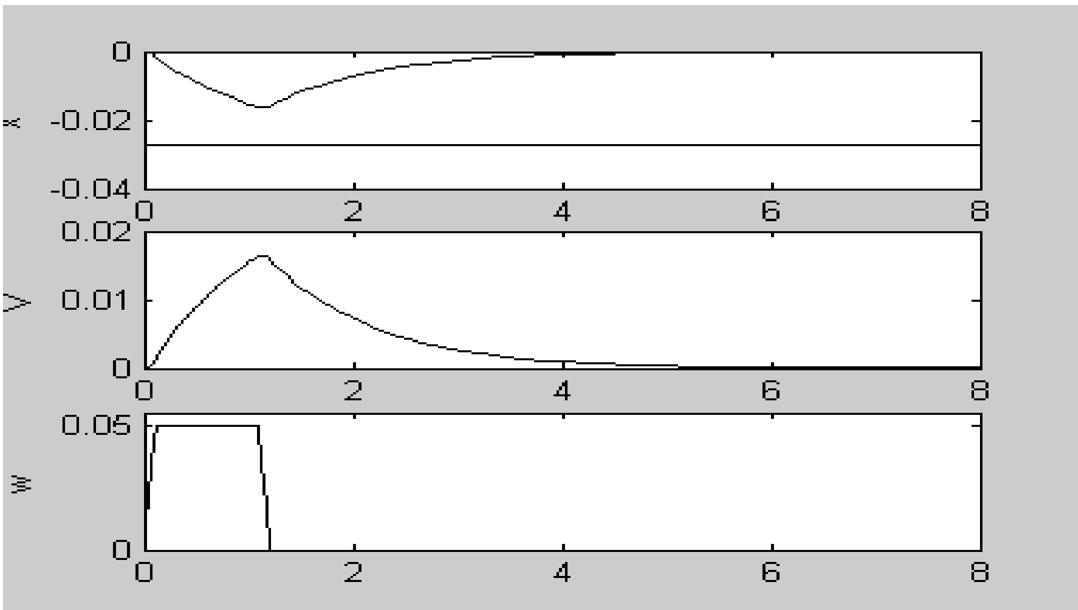


Рис. 3.34

Проведенная работа имеет не только большое познавательное, но и психологическое значение для учащихся, так как демонстрирует, что вполне возможно самостоятельно задавать вопросы компьютеру и получать на них ответы, важно только научиться анализировать и интерпретировать полученные вычислительные результаты. Причем, не страшно допустить ошибку, так как она не будет иметь катастрофических последствий, что, безусловно, способствует преодолению психолого-познавательных барьеров.

Выводы по главе 3

1. В данной главе представлены результаты исследования возможностей реализации образовательного потенциала учебных физических задач, который понимается как совокупность имеющихся, но практически не используемых в обучении физике ресурсов. Неиспользуемые ресурсы выявлены в рамках концепции «образование как учебная модель науки» при рассмотрении физической задачи как дидактической единицы обучения физике и доказана возможность их реализации при условии создания и внедрения современной методической системы обучения решению физических задач.
2. Доказано, что в современных условиях необходим более широкий взгляд на саму задачу и процедуры работы с ней, и поэтому функции учебных физических задач должны существенно трансформироваться. В качестве цели обучения теперь они должны обеспечить освоение не набора технологических операций, а действий, направленных на моделирование и осмысление реальных природных явлений. Кроме функции предъявления физических знаний, они должны выполнять функцию их формирования. При этом быть не только средством развития мышления и формирования деятельности, но средством выявления и преодоления психолого-познавательных барьеров различного типа.
3. Предложена методическая система, состоящая из двух взаимосвязанных частей: **системы методов решения физических задач** и **системы методов *обучения* решению физических задач**. Методы решения задач