Обучение школьников системе принципов научной методологии. Методический аспект

Михаил Станиславович Красин,
доцент кафедры общей физики Калужского государственного университета им. К.Э. Циолковского, кандидат педагогических наук, krasin-ms@yandex.ru

• школьное образование • система методологических принципов • задачный подход к обучению • методологическая культура •

Взаимосвязь предметной и методологической составляющих образовательного процесса

В обучении можно условно выделить предметную и методологическую составляющие. Каждая из них играет важную роль в развитии личности учащихся. Предметная составляющая решает задачу передачи сведений из определённой области научных и прикладных знаний и формирования, в совокупности с предметными знаниями из других областей, целостного представления о научной картине мира. Методологическая составляющая направлена на обучение способам рациональной организации деятельности, развитие методологической культуры личности. Процессы формирования предметных и методологических знаний и умений невозможно разделить в педагогическом пространстве и времени ввиду их соподчинённости и взаимосвязи. Те элементы методологических знаний, которые относятся к методологии науки, определившей содержание учебного предмета, очевидно, принадлежат области предметных знаний. Усвоение любых методологических знаний происходит только в процессе их применения для решения конкретных учебных задач на определённом учебном предмете и конкретных проблемных ситуаций в определённой предметной области.

Необходимость гармоничного сочетания предметной и методологической подготовки учащихся в современной школе обусловлена возрастающими требованиями современного общества и к профессиональной компетентности своих граждан, и к их способности переключаться на другие виды профессиональной деятельности, комплексно подходить к решению возникающих проблем, используя знания из различных областей и освоенные способы рациональной организации деятельности, т.е. способности эффективно применять методологические знания и умения.

Целесообразность систематизации и структуризации принципов научной методологии для обучения им учащихся школьного возраста

Важным компонентом методологических знаний являются принципы научной методологии. Усвоение норм и идей, заложенных в методологических принципах и других методологических регулятивах деятельности, требует не меньше времени, чем усвоение знаний предметных. Поэтому обучение школьников умению руководствоваться методологическими принципами при организации своей деятельности следует начинать одновременно с началом обучения предметным знаниям и умениям.

В связи с этим возникает проблема разработки системы методологических принципов, сформулированных в максимально обобщённой форме, в соответствии с общеобразовательным статусом школьного образования, но при этом доступной для понимания учащихся. Один из вариантов решения этой проблемы описан автором в более ранних работах[1]. В систему наиболее общих методологических принципов были включены девять принципов. Их названия и основные идеи применения отражены в таблице 1.

В процессе системного обучения умению организовывать деятельность в соответствии с нормами и идеями основных методологических принципов имеются возможности для ознакомления с идеями и правилами применения норм других методологических принципов.

Для примера рассмотрим формулировку и решение ***задачи 1 «Комбинезоны полярников»:*** *«При измерении температуры поверхности одинаковых с виду комбинезонов, в которые были облачены два полярника, на первом из них она оказалась выше, чем на втором. Какой комбинезон теплее?»*[2]. Если не сделать дополнительных уточнений, то можно считать правильным любой из ответов: *«Более тёплый комбинезон у первого полярника», «Более тёплый комбинезон у второго полярника», «Оба комбинезона одинаково тёплые»*. Отличие температур поверхности комбинезонов могло быть обусловлено не только различиями их способности к теплоизоляции, но и множеством иных причин: один из полярников перед измерением температуры выполнял более интенсивную физическую работу, находился под лучами солнца и т.д.

В ходе решения таких задач учитель формирует у учащихся умение выслушивать мнение оппонента, терпимо относиться к иным интерпретациям событий или предлагаемым способам организации деятельности, искать различные варианты решения проблем, отстаивать справедливость собственного мнения. Таким образом, при выяснении возможности получения различных вариантов ответов на вопросы некоторых задач создаются условия для донесения до учащихся идей *принципа толерантности* (он рассматривается в качестве одной из форм реализации методологического *принципа относительности* на этапе решения проблемы выбора правильного ответа), а также методологических *принципов причинности и объяснения* на этапе выявлений причинно-следственных связей исследуемого объекта с другими. Взаимосвязь между различными методологическими принципами частично отражена в таблице 2.

Таблица 1

Основные нормирующие и эвристические идеи, заложенные в методологических принципах

Методологические принципы	Основные идеи
Принцип объяснения	Объясняй понятно для себя и для других
Принцип причинности	Ищи причины, оценивай последствия
Принцип системности	Ищи систему, действуй системно
Принцип развития	Учитывай изменяемость объектов, ищи возможность пренебречь изменениями
Принцип простоты	Упрощай действия
Принцип симметрии и сохранения	Учитывай симметрию и сохраняющиеся элементы, действуй по аналогии
Принцип относительности	Учитывай относительность знаний, явлений, результатов и мнений
Принцип согласия с практикой	Не противоречь результатам наблюдений и экспериментов
Принцип соответствия	Найди в новом место для проверенного старого

1 **Красин М.С.** Система принципов организации деятельности учащихся в новой школе // Вестник Нижегородского ун-та им. Н.И.Лобачевского: Научный журнал. 2011. № 3. С. 43–48; **Красин М.С.** Обучение школьников способам деятельности контексте развития их методологической культуры // Школа Будущего. 2013. № 1. С. 18–25.

2 Калейдоскоп «Кванта». А так ли вам знакомы явления переноса? // Квант. 2002. № 3. С. 33.

Таблица 2

Взаимосвязь принципов научной методологии

Методологические принципы, выделенные в качестве основных	Методологические принципы, нормы и идеи которых в отдельных аспектах перекликаются с принципами, выделенными в качестве основных
Принцип объяснения	Принципы обоснованности, наглядности, доступности, формализации, математизации, единой научной картины мира (ЕНКМ), простоты непротиворечивости, толерантности и др.
Принцип причинности	Принципы причинности, историзма, детерминизма, ЕНКМ, простоты, толерантности и др.
Принцип системности	Принципы системности, систематичности, суперпозиции, элементности, цикличности, детерминизма и др.
Принцип развития	Принципы развития, саморазвития, диалектического противоречия, ЕНКМ
Принцип простоты	Принципы простоты (экономии действий), красоты (эстетической простоты), ЕНКМ (глобальной простоты), относительности, симметрии и сохранения, суперпозиции и др.
Принцип симметрии и сохранения	Принципы симметрии, инвариантности (сохранения), простоты, красоты и др.
Принцип относительности	Принципы относительности явлений и свойств в различных системах отсчёта, дополнительности (относительности свойств при использовании различных средств и методов измерения), конкретности истины (относительности истины), толерантности (относительности мнений), простоты и др.
Принцип согласия с практикой	Принципы наблюдаемости, подтверждаемости (верификации), опровергаемости (фальсификации), наглядности, простоты и др.
Принцип соответствия	Принципы соответствия (согласия с ранее проверенными теориями), ЕНКМ, простоты, конкретности истины и др.

Задачный подход как основной метод формирования методологических знаний и умений

Основным методом обучения учащихся школьного возраста нормам и идеям принципов научной методологии следует признать задачный метод, который позволяет приступать к обучению умения организовывать деятельность, ориентируясь на эти методологические принципы, одновременно с началом обучения решению учебных задач по предмету.

Уже на первом уроке обучения решению задач по предмету учитель знакомит школьников с необходимостью *систематизации* сведений о задачной ситуации; обучает правилам *формализации* этих данных; советует по возможности использовать язык *математики* для записи свойств исследуемых объектов и отношений между ними, показывает как можно это сделать; учит руководствоваться *принципом простоты* при записи краткого условия и разработке модели задачной ситуации, призывает к выявлению *причинно-следственных* связей между рассматриваемыми явлениями; комментируя ответы учащихся на поставленные вопросы и найденные ими решения, указывает на необходимость обоснованности этих решений, согласия их с известными теориями и результатами наблюдений и экспериментов.

В дальнейшем, по мере появления подходящих условий, подготовленных заранее учителем или возникших спонтанно, положения методологических принципов раскрываются всё более широко и подробно. Такие условия имеются и могут быть созданы при обучении на любом предмете, в любом классе. Важно, чтобы при этом изучаемые методологические нормы не выглядели в представлениях учащихся дополнительно навязанными учителем требованиями, а принимались ими как полезные рекомендации и подсказки, как советы, направленные, в первую очередь, на упрощение и оптимизацию конкретной проблемной ситуации, чтобы их практическая ценность была очевидна для учащихся.

Способы раскрытия метапредметного характера методологических знаний

Можно выделить следующие способы организации педагогического взаимодействия учителя с учащимися, направленного на формирование у них понимания метапредметной сущности методологических норм и идей:

• Своевременные прямые указания учителя на возможность применения методологических регулятивов, использованных в конкретной ситуации, для решения задач в других разделах изучаемой науки, других областях знаний, других сферах деятельности.

• Спланированное эвристическое подведение учащихся к пониманию универсальности методологических правил с помощью специально подобранных цепочек задач предметного, межпредметного и метапредметного содержания.

• Системная деятельность учителя по ознакомлению учащихся с нормами и идеями методологических принципов и созданию условий для приобретения ими личного опыта успешного применения методологических знаний при решении различных проблемных ситуаций.

• Системная, согласованная деятельность педагогического коллектива образовательного учреждения, направленная на развитие методологической культуры учащихся.

Советы для учащихся по применению норм и идей методологических принципов при решении задач и примеры заданий

Рассмотрим конкретные рекомендации для учащихся по организации методологически корректных действий при решении учебных задач, а также примеры задач, при решении которых создаются условия для получения сведений о методологических принципах и формирования умения их применять. В качестве примеров приводятся задачи по физике, рассчитанные на учащихся 7–11-х классов, что обусловлено профессиональной компетентностью автора.

К изучению принципа объяснения

• При составлении объяснений следует ориентироваться на того, для кого эти объяснения предназначаются.

• Чтобы объяснение было понятно для наиболее широкого круга людей, следует использовать общепринятую терминологию, стандартные условные обозначения и там, где возможно, язык математики.

• Краткая запись условия задачи (точнее, краткое описание задачной ситуации) способствует лучшему её пониманию как самим решающим, так и теми, кто интересуется её решением.

• Любое объяснение должно быть обосновано. В формулировании ответов на вопросы качественной задачи необходимо делать ссылки на физические законы, следить за логической непротиворечивостью аргументов. При описании решения расчётных задач, в том числе с использованием возможностей компьютера, необходимо делать записи не только математических формул и (или) команд на языке программирования, но и словесных пояснений. При описании хода решения экспериментальных задач следует составлять такой отчёт о проделанной работе, который позволит получить представление об особенностях используемых приборов, устройстве и принципе действия экспериментальной установки, ходе измерений и вычислений, границах погрешности измерений.

Необходимость наличия пояснений выполненных мыслительных и практических действий отмечается в критериях оценки работ школьников на физических олимпиадах и на экзамене ЕГЭ, при описании решений задач части С. Необходимость обоснованного выбора метода измерений с учётом возможной погрешности измерений можно проиллюстрировать с помощью **задачи 2** «**Сравнение скоростей**». *Прогуливаясь по аллее с коляской младшего брата, девочка заметила, что, когда она начала идти* *в одну сторону, на часах её мобильного телефона высвечивалось время 12.40. Когда она разворачивалась с коляской на другом конце аллеи, часы мобильника показывали 12.43, а когда она вернулась обратно, на часах было 12.47 (рис. 1.). Чему равно отношение скоростей движения девочки в одну сторону аллеи и обратно?*

Рис. 1. Показания часов мобильного телефона в моменты начала и окончания движения вдоль аллеи

Возможное решение. Очевидно, что отношение скоростей движения будет обратно пропорционально измеренным интервалам времени движения на каждом участке. Как правило, учащиеся приводят вариант решения, в котором не учитывается погрешность полученных данных:

$$\frac{\upsilon_1}{\upsilon_2} = \frac{12ч47мин - 12ч43мин}{12ч43мин - 12ч40мин}.$$

Откуда $\frac{\upsilon_1}{\upsilon_2} = \frac{4}{3}$.

Однако, в реальности вероятность того, что соотношение скоростей движения было именно таким крайне мала. Можно заметить, что интервалы движения лишь немного превышают погрешность округления показаний времени, высвечиваемых на экране часов. Числовое значение времени высвечивается на экране с точностью до минуты, значит, и погрешность высвечиваемого на экране значения может составлять почти минуту.

В связи с этим возможны различные варианты ответов. Рассмотрим первый предельный случай развития событий. *Могло оказаться, что, когда девочка в первый раз посмотрела на часы и увидела 12.40, время с точностью до секунды было 12 ч 40 мин 00 с, во второй раз, когда на экране высвечивалось 12.43, время было 12 ч 43 мин 59 с, а в третий раз — 12 ч 47 мин 00 с. Тогда с точностью до секунды время движения девочки в одну сторону было равно 4 минуты, а обратно 3 минуты. В таком случае*

$$\frac{\upsilon_1}{\upsilon_2} = \frac{3}{4}.$$

Второй предельный случай. *Могло оказаться, что начальное время было 12 ч 40 мин 59 с, время при развороте — 12 ч 43 мин 00 с, а конечное — 12 ч 47 мин 59 с. Тогда с точностью до секунды время движения девочки в одну сторону было равно 2 минуты, а обратно 5 минут, получаем*

$$\frac{\upsilon_1}{\upsilon_2} = \frac{5}{2}.$$

Следовательно, истинный ответ находится в интервале значений

$$\frac{3}{4} \le \frac{\upsilon_1}{\upsilon_2} \le \frac{5}{2}.$$

В процессе методологической рефлексии результатов решения важно подчеркнуть:

1) при такой точности измерений было бессмысленно проводить эксперимент, т.к. полученный результат не позволяет даже сравнить скорости на уровне больше-меньше;
2) чтобы ответ был более точным, требовалось с меньшей погрешностью измерять время движения, например, воспользоваться секундомером;
3) желательно было повторить опыт несколько раз, чтобы уменьшить влияние случайных ошибок, например, девочка могла ошибиться, считывая показания часов.

К изучению принципа причинности

• Для получения представления об исследуемой ситуации полезно выяснить причины, которые привели к её возникновению. *Например, для выяснения характера движения тела, определить силы, действующие на него.*

• Характерной ошибкой при выявлении причинно-следственных связей оказывается перемена местами события-причины и события-следствия.

• Анализируя проблемную ситуацию, важно учитывать, что одно и то же явление может иметь различные причины.

• При разработке упрощённой модели задачной ситуации важно отсеивать ненужные для решения сведения. В качестве одного из основных критериев для выявления «лишних» данных выступает факт отсутствия причинно-следственных связей между этими сведениями и исследуемыми процессами.

• При решении задач межпредметного содержания полезно учитывать влияние на исследуемую ситуацию самых разнообразных факторов, в том числе технологических, климатических, географических, а также биологические особенности жизнедеятельности живых организмов и причины социального характера при условии вовлечённости людей в рассматриваемую задачную ситуацию.

Задача 3.«Нашествие монголов». *Монгольские завоеватели тщательно планировали свои набеги. Обычно они начинали военные действия летом. Почему Батый напал на Русь зимой? Ведь в это время года монгольские лошади не могли питаться травой на полях, покрытых снегом?*

В качестве ответов могут быть отмечены следующие причины выбора зимнего времени для нападения: зимой не будет нанесён урон урожаю на полях, ведь целью набега было не разрушение русских княжеств, а их порабощение (причина социальная, геополитическая); зимой уже убран урожай и его легче забирать сразу из амбаров, в том числе зерно для коней (причина социальная, грабительская); зимой замерзают русла рек, которые удобно использовать в качестве дорог на покрытой лесами и перегороженной засеками территории Древней Руси (причина геофизическая, военно-тактическая). При методологическом анализе найденных ответов вполне уместным оказывается совет учителя, основывающийся на идеях методологических принципов причинности и системности: перед принятием важного решения постарайтесь учесть влияние самых различных факторов и возможные последствия.

• При анализе собственной деятельности по решению задач полезно выявлять и устранять причины возникновения проблемных ситуаций, в том числе: незнание теоретических сведений о предмете исследования (чтобы устранить проблему необходимо изучить по учебным пособиям или в общении с компетентными людьми); незнание правил действия при решении задач подобного типа (значит надо узнать или разработать самостоятельно необходимые алгоритмические предписания), субъективная нестандартность формулировки задачной ситуации (поэтому полезно научиться сводить нестандартную ситуацию к одной или нескольким стандартным, например, с помощью системы эвристических приёмов организации мыслительной деятельности).

К изучению принципа системности

Приступая к планированию системы действий, важно учитывать, что любая деятельность состоит из системы сменяющихся фаз и этапов деятельности. В самом общем виде её можно представить в виде последовательности: фаза проектирования деятельности, фаза реализации разработанной системы действий, фаза анализа деятельности[3]. Так системность процесса познания отражает слова замечательного отечественного физика А.Б. Мигдала: «Наблюдение — теория — эксперимент — и снова всё сначала — такова бесконечная, уходящая ввысь спираль, по которой движутся люди в поисках истины»[4]. В несколько иной формулировке под названием принципа цикличности научного познания (В.Г. Разумовский) эта система действий может быть представлена в виде схемы: «факты $\rightarrow$ модель $\rightarrow$ следствия $\rightarrow$ эксперимент $\rightarrow$ факты»)[5].

• Для получения целостного представления об объекте исследования следует постараться выявить его всевозможные связи с другими объектами.

Задача 4. «Скольжение гантели». *Два одинаковых маленьких шарика соединены жёстким стержнем длиной ℓ. Стержень стоит вертикально, вплотную к вертикальной плоскости. При смещении нижнего шарика вправо на небольшое расстояние система приходит в движение в плоскости рисунка. Найдите скорость υ нижнего шарика*

[3] **Новиков А.М., Новиков Д.А.** Методология. М.: СИНТЕГ, 2007. 668 с.

[4] **Мигдал А.Б.** Как рождаются физические теории. М.: Педагогика. 1984. С. 6.

[5] Физика в школе. Научный метод познания и обучения / В.Г. Разумовский, В.В. Майер. М.: ВЛАДОС, 2004. 463 с.

в момент времени, когда верхний шарик окажется на высоте h над горизонтальной плоскостью. Считайте, что при движении шарики не отрываются от плоскостей, трением можно пренебречь. **Возможное решение.** Учёт кинематических связей шариков с ограничивающими их движение плоскостями позволяет сделать вывод, что верхний шарик будет двигаться вертикально вниз, а нижний — горизонтально в направлении от стенки (рис. 2.).

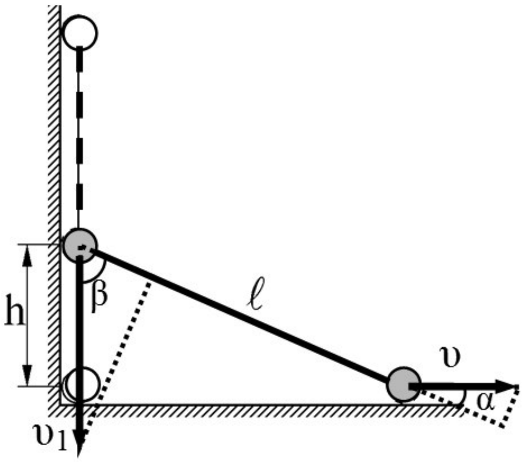

Рис. 2. Движение гантели

Кинематическая связь шариков с нерастяжимым стержнем приводит к выводу о том, что для неизменности длины стержня проекции скоростей шариков на направление вдоль стержня должны быть одинаковыми в любой момент времени, т.е. $\upsilon \cos\alpha = \upsilon_1 \cos\beta$.

Учитывая взаимосвязь между углами в прямоугольном треугольнике и формулы приведения получаем, что $\upsilon \cos\alpha = \upsilon_1 \sin\alpha$.

Дополнительную взаимосвязь между скоростями находим из закона сохранения механической энергии:

$$mg\ell - mgh = \frac{m\upsilon^2}{2} + \frac{m\upsilon_1^2}{2} - 0.$$

С учётом соотношений:

$\cos^2\alpha + \sin^2\alpha = 1$ и $\sin\alpha = \frac{h}{\ell}$, находим:

$\upsilon = \frac{h}{\ell}\sqrt{2g(\ell - h)}$.)

• Идеи принципа системности заложены и в эвристическом приёме «разбиение на части», согласно которому можно мысленно или реально разделить рассматриваемое тело на несколько более простых тел, представить процесс как несколько простых процессов, разделённых во времени или в пространстве, разделить сам процесс решения задачи на решение более простых подзадач.

Задача 5 «Тяжёлая верёвка». *Гибкая верёвка массой m подвешена так, что вблизи точек подвеса углы между касательными к верёвке и вертикалью соответственно равны α и β (рис. 3.).*

Рис. 3. Верёвка на двух подвесах

Определите силу натяжения верёвки в нижней точке.

Для решения можно рассмотреть силы, действующие на верёвку (рис. 4.) и записать условие равновесия верёвки в проекции на вертикальное и горизонтальное направления:

$F_1 \cos\alpha + F_2 \cos\beta = mg \quad F_1 \sin\alpha = F_2 \sin\beta$.

Но в эти уравнения не входит сила натяжения F_O верёвки в нижней точке. В соответствии с идеями принципа системности, представим верёвку как систему из двух частей и рассмотрим равновесие одной из частей. Условие равновесия левой части верёвки в проекции на горизонтальное направление имеет вид $F_1 \sin\alpha = F_O$ (рис. 5.). В итоге получаем

$$F_O = \frac{mg}{ctg\alpha + ctg\beta}.$$

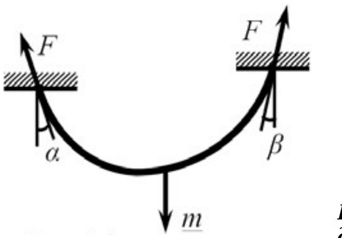

Рис. 4. Силы, действующие на верёвку

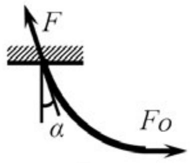

Рис. 5. Силы, действующие на левую часть

• Выявление разнообразных взаимосвязей как внутри объекта исследования, так и его взаимосвязей с иными объектами, должно сопровождаться систематизацией получаемых сведений. История науки знает немало примеров, когда удачно проведённая систематизация различных сведений позволяла сделать великие открытия, находить мощные инструменты для повышения эффективности дальнейших исследований. Это и систематизация химических элементов на основе величины заряда ядра (периодическая система Д.И. Менделеева), и систематизация звёзд на основе взаимосвязи спектр — светимость (диаграмма Герцшпрунга-Рессела) и систематизация биологических видов, проведённая Карлом Линнеем, которая позволила биологии в достаточно короткий срок стать биологической наукой.

• Важным и полезным способом упрощения исследуемой ситуации, основанным на идеях методологического принципа системности является *принцип наложения (суперпозиции).*

Задача 6. «Добыча платины». *Маленькие зелёные человечки обнаружили кремниевую планету с платиновым ядром. Радиус ядра в 2 раза меньше радиуса планеты.*

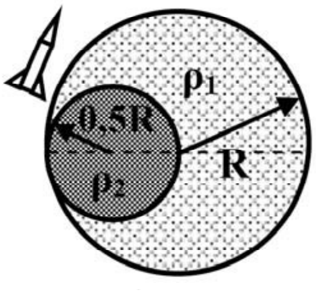

Рис. 6. Ракета возле планеты со смещённым ядром

При этом ядро смещено от центра так, что его край расположен возле края планеты (см. рис. 6.). Человечки стали добывать платину и отправлять её ракетами к себе на родину. Ракета мгновенно ускорялась до минимально необходимой стартовой скорости возле поверхности планеты, а затем летела дальше с выключенными двигателями до базового корабля, расположенного на большом расстоянии от планеты. Во сколько раз стартовая скорость первой ракеты с платиной была больше стартовой скорости последней ракеты с платиной, если известно, что зелёные человечки забрали всю платину, на месте которой осталась пустое пространство, что они максимально экономили топливо, но могли без особых энергозатрат перемещать ракету по поверхности планеты? Учесть, что энергию гравитационного взаимодействия между двумя точечными телами или однородными шарами рассчитывают по формуле

$$E = -G\frac{m_1 m_2}{r}.$$

Возможное решение, доступное для школьников, заключается в замене необходимости вычислять энергию гравитационного взаимодействия ракеты с неоднородным телом, вычислением суммы (или разности) её взаимодействия с двумя однородными шарами. Эта идея отражена на рис. 7. и 8.

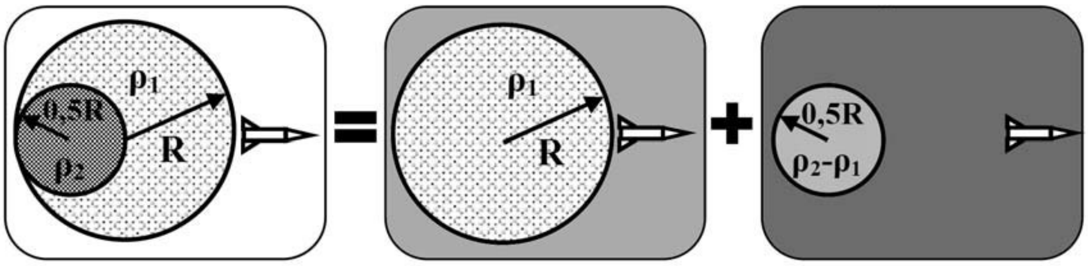

Рис. 7. Первый старт ракеты с платиной

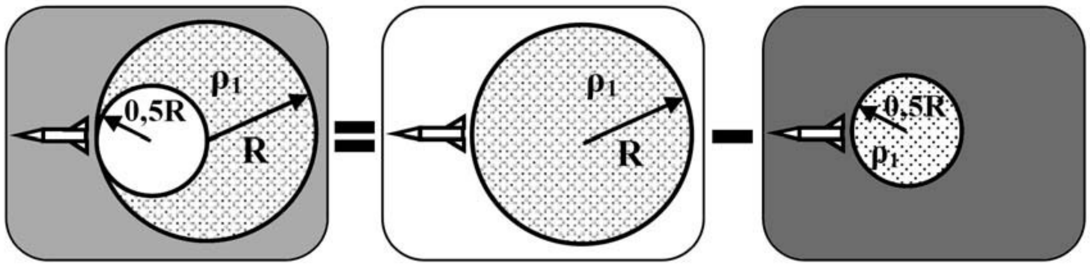

Рис. 8. Последний старт ракеты с платиной

В этом случае расчётные формулы, полученные с помощью закона сохранения энергии, будут иметь вид:

$$\frac{m\upsilon_1^2}{2}+(-G\frac{m\rho_1\frac{4}{3}\pi R^3}{R})+(-G\frac{m(\rho_2-\rho_1)\frac{4}{3}\pi(0,5R)^3}{1,5R})=0.$$

$$\frac{m\upsilon_2^2}{2}+(-G\frac{m\rho_1\frac{4}{3}\pi R^3}{R})-(-G\frac{m\rho_1\frac{4}{3}\pi(0,5R)^3}{0,5R})=0.$$

Разделив одно уравнение на другое легко получить искомый ответ.

• Достижению результата действий способствует системная организация деятельности. *Например, знаменитый астроном Тихо Браге, организовал системную работу нескольких коллективов учёных, каждый из которых занимался точными измерениями координат только одной планеты, при обработке полученных сведений И. Кеплер смог открыть законы движения планет. Под руководством Т. Эдисона, сделавшего сотни значимых изобретений, трудилось множество небольших коллективов изобретателей, выполняющих исследования в ограниченной области. Именно такой подход лежит и в основе организации деятельности многих современных индустриальных корпораций.*

• Для формирования прочных знаний и умений необходимо систематическое их применение.

• Наиболее простой способ найти решение очередной проблемы — вспомнить систему действий, которые привели к успешному решению схожей задачи, поэтому полезно запоминать алгоритмические предписания и эвристические приёмы[6], позволяющие находить решения задач определённого типа.

К изучению принципа развития

• Количественные изменения какого-либо свойства объекта исследования могут привести к его качественным изменениям, в том числе: изменению агрегатного состояния вещества, изменению химического состава, переходу в сверхпроводящее состояние, переходу в состояние насыщения или выходу из него, остановки тела, движение которого замедлялось под действием силы трения, отрыву тела от поверхности другого тела вследствие увеличения или уменьшения скорости, выходу из строя технического устройства из-за превышения уровня предельно допустимых для него воздействий, изменения функционального состояния живого организма вследствие усталости и т.д.

Задача 7. «Сжатие пара». *В сосуде под поршнем находится 3 моль водяного пара при температуре 100°С и давлении 90кПа. Каким станет давление под поршнем, если объём пара изотермически уменьшить на 40%?*

• **Возможное неправильное решение.** Применив к данному процессу закон Бойля-Мариотта, получаем итоговую расчётную формулу

$$p_1=p_0\frac{V_0}{(1-0,4)V_0}=\frac{5}{3}p_0.$$

Если подставить числовые данные, то получается p_1 = 150 кПа. Однако, следует обратить внимание, что температура водяного пара равна 100°С. При такой температуре его давление не может превышать 100 кПа (давление насыщенного пара при этой температуре). Следовательно, как только давление пара станет равным 100 кПа, оно перестанет изменяться, вследствие того, что пар начнёт конденсироваться. Таким образом, итоговое давление будет 100 кПа, при этом треть всего пара сконденсируется. Одним из способов реализации идей принципа развития выступает эвристический приём «разделение процессов во времени». К нему прибегают в тех случаях, когда в исследуемой ситуации обнаруживают наличие нескольких процессов, существенно отличающихся друг от друга по скорости развития.

Задача 8 «Квадрат протонов и позитронов». *В вершинах квадрата со стороной a удерживаются два протона и два позитрона, так, что одинаковые частицы находятся в противоположных вершинах (рис. 9).*

В некоторый момент заряды перестают удерживать. Определите скорости частиц

[6] **Красин М.С.** Решение сложных и нестандартных задач. Эвристические приёмы поиска решений. М.: Илекса, 2009. 360 с.

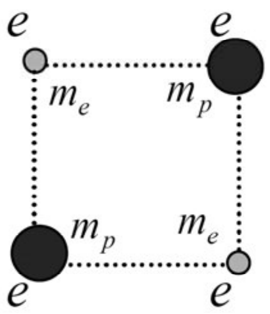

Рис. 9. Квадрат из протонов и позитронов

после того, как они разлетятся на большое расстояние. Частицы можно рассматривать как классические точечные массы, перемещающиеся в электрических полях друг друга. Гравитационным воздействием частиц можно пренебречь[7].

При решении данной задачи школьники довольно уверенно заявляют о необходимости совместного применения законов сохранения энергии и импульса. При записи закона сохранения энергии для начального и конечного моментов разлёта частиц получается формула

$$4\kappa\frac{e^2}{a}+2\kappa\frac{e^2}{\sqrt{2}a}=m_e\upsilon_e^2+m_p\upsilon_p^2.$$

Попытка использовать закон сохранения импульса к успеху не приводит из-за симметричности расположения и движения частиц. Решить проблему удаётся, если воспользоваться идеями принципа развития и обратить внимание на различия в скорости разлёта частиц. Масса позитрона примерно в 1800 раз меньше массы протона, а силы электромагнитного взаимодействия между частицами в начальный момент одинаковы, следовательно, позитроны начинают двигаться с ускорением примерно в 1800 раз большим, чем протоны. В результате, очень быстро позитроны разлетаются на столь большое расстояние, что силы их взаимодействия друг с другом и с протонами становятся пренебрежимо малы. Протоны же к этому времени ещё не успевают удалиться друг от друга на заметное расстояние. Для упрощения расчётов можно считать, что сначала разлетаются позитроны, и лишь затем протоны, положение которых не изменялось во время удаления позитронов. Такое моделирование ситуации позволяет записать ещё одно уравнение, выражающее закон сохранения энергии, например, для этапа разлёта протонов

$$k\frac{e^2}{\sqrt{2}a}=2\frac{m_p\upsilon_p^2}{2}.$$

Дальнейшее решение не представляет сложности.

• Изменения могут иметь периодический характер. Если суметь выразить эту особенность с помощью математических формул, то можно найти решение проблемы.

Задача 9. «Прыгающий мяч». *Мяч падает с высоты H на горизонтальную плоскость. При каждом отскоке его скорость уменьшается в n раз. Найдите путь, пройденный мячом от начала движения до остановки.*

Очевидно, что процесс движения мяча имеет периодический характер. Попытаемся выявить закономерность убывания высоты подъёма мяча. Из закона сохранения механической энергии, находим скорость мяча в момент первого столкновения с плоскостью

$$\upsilon_1=\frac{1}{n}\upsilon_0=\frac{1}{n}\sqrt{2gH}.$$

После первого отскока от плоскости скорость мяча станет равной

$\upsilon_1=\frac{1}{n}\upsilon_0=\frac{1}{n}\sqrt{2gH}$, а высота отскока $h_1=\frac{\upsilon_1^2}{2g}$.

С учётом предыдущего соотношения

$$h_1=\frac{H}{n^2}.$$

Рассуждая аналогично, получаем, что после второго столкновения мяч подпрыгнет на высоту

$$h_2=\frac{h_1}{n^2}=\frac{H}{n^4}.$$

Следовательно, путь, пройденный мячом можно вычислить по формуле

$$s=H+\frac{2H}{n^2}+\frac{2H}{n^4}+\ldots$$

или

$$s=H+\frac{2H}{n^2}\left(1+\frac{1}{n^2}+\frac{1}{n^4}+\ldots\right).$$

Заметим, что в скобках записана сумма бесконечной геометрической прогрессии с первым

[7] По мотивам задачи У193 из пособия **Гнэдиг П., Хоньек Д., Райли К.** Двести интригующих физических задач / Пер. с англ. М.: Бюро Квантум, Техносфера, 2005. 272 с. (Библиотечка «Квант». Вып. 90).

членом этой прогрессии $b_1 = 1$ и знаменателем

$$q = \frac{1}{n^2}.$$

Сумму такой прогрессии вычисляют по формуле

$$S = \frac{b_1}{1-q}.$$

Следовательно, сумма данной прогрессии равна

$$S = \frac{n^2}{n^2-1}.$$

Подставив это значение в формулу для расчёта пути, получаем

$$s = H + \frac{2H}{n^2} \cdot \frac{n^2}{n^2-1} \text{ или } s = H\frac{n^2+1}{n^2-1}.$$

• Изменениями объекта можно пренебречь, если рассматривать его свойства за очень малый интервал времени или при очень малых перемещениях в пространстве. Приём быстрого проведения эксперимента в условиях изменяющейся ситуации широко используется как в физических исследованиях, так и в других видах научной и практической деятельности. Часто к нему прибегал выдающийся российский физик-экспериментатор лауреат Нобелевской премии П.Л. Капица[8]. Вот как он в 30-х годах XX века решил проблему создания сверхсильных магнитных полей.

Задача 10. «Сверхсильное магнитное поле». *Проблема заключалась в том, что с помощью электромагнита с железным сердечником получить необходимые значения индукции магнитного поля не удавалось из-за достижения железом магнитного насыщения, после которого увеличение силы тока в катушке не приводило к усилению магнитного поля. Использование катушки без сердечника требовало столь больших значений силы тока, что провода катушки быстро нагревались и плавились. Интенсивное охлаждение проводов катушки оказалось технически невозможно. Тогда Капица предложил пропускать через катушку сверхбольшой ток в режиме короткого замыкания за очень короткий промежуток времени! Электрический разряд через провода катушки не приводил к их перегреву и механическому разрушению оборудования, т.к. продолжительность тока составляла менее 0,01 секунды. Так удалось получить магнитные поля, примерно в десять раз превосходившие прежние.*

Рассказ об открытии П.Л. Капицы не случайно выделен в виде задачи. Своевременно сообщаемые сведения из истории развития науки и техники с изложением методов решения проблем тоже являются одной из важных форм обучения решению задач и развития методологической культуры учащихся. Следует также отметить, что идея возможности пренебрежения изменениями за очень малый промежуток времени или при очень малом перемещении лежит в основе метода дифференцирования-интегрирования и в частности реализуется в тех задачах, когда искомую величину находят по «площади под графиком» функциональной зависимости одной изменяющейся величины от другой.

К изучению принципа простоты

• На этапе анализа задачной ситуации и разработки её первоначальной модели следует учитывать только наиболее существенные, по мнению исследователя, свойства реальных объектов и разрабатывать наиболее *простую модель* ситуации. При необходимости в дальнейшем она может быть уточнена или изменена полностью, но начинать лучше с самого простого. *Например, при определении массы камня взвешиванием целесообразно пренебречь архимедовой силой воздуха и силой притяжения к Луне*.

• Если для разрабатываемой модели проблемной ситуации оказывается недостаточно данных, то надо самостоятельно определять эти данные, сначала выбирая наиболее *простые* из возможных.

Задача 11. «Мальчик и щенок» *Расстояние между мальчиком и щенком равно 10 м. Щенок бежит со скоростью 2 м/с. Через сколько времени щенок добежит до мальчика?*

Анализ задачной ситуации показывает её неопределённость. Во-первых, нет сведений о направлении движения щенка, во-вторых, нет сведений о поведении мальчика, который тоже может двигаться. Но тогда можно получить множество ответов. При ре-

[8] **Кедров Б.М.** Капица: жизнь и открытия. М.: Московский рабочий, 1979. 152 с.

шении на это обстоятельство следует указать. Но если на такой вопрос приходится отвечать в тестовой форме, которая предусматривает только один ответ, то выбирать следует самый простой вариант развития событий: щенок бежит к мальчику, стоящему на месте, и указывать ответ 5 с.

• При исследовании проблемной ситуации полезно постараться найти такую позицию, такую систему отсчёта, в которой ситуация выглядит наиболее *просто*.

• Если разработанная модель исследуемой ситуации оказалась субъективно слишком сложной для её решения, то надо ещё больше упростить эту модель, дополнительно пренебрегая некоторыми свойствами объектов и заменяя сложные функциональные зависимости на более простые. Решение упрощённой задачи может либо сразу дать вполне приемлемый ответ на решение исходной задачи, либо дать общее представление об ожидаемом результате и подсказать направление действий по его достижению при решении исходной задачи.

Задача 12. «Колебания бусинки». *По тонкому кольцу из диэлектрика равномерно распределён электрический заряд Q. Через центр кольца проходит ось, перпендикулярная его плоскости. Маленькая бусинка, имеющая массу m и заряд q противоположного знака с зарядом кольца, может свободно скользить по оси. Определите период малых колебаний бусинки относительно центра кольца. Радиус кольца равен R.*

Возможное решение. В условиях ничего не сказано о расположении кольца относительно Земли, это создаёт неопределённость в установлении влияния силы тяжести на движение бусинки. Руководствуясь принципом простоты, будем считать, что силой тяжести по сравнению с силами электрического взаимодействия можно пренебречь. Изобразим на рисунке кольцо и бусинку, смещённую на некоторое расстояние x от центра кольца (рис. 10).

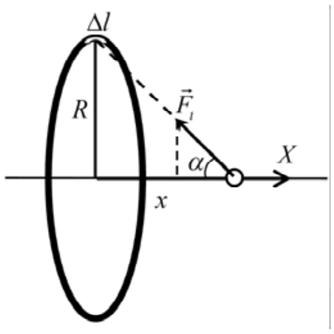

Рис. 10. Сила, с которой бусинка притягивается к элементу кольца, длиной Δl

Из соображений симметрии понятно, что сила притяжения бусинки к кольцу будет направлена вдоль оси симметрии кольца. Чтобы можно было воспользоваться законом Кулона, мысленно разобьём кольцо на большое число N одинаковых небольших участков. Размеры каждого участка пусть будут значительно меньше расстояния от него до бусинки, т.е. $\Delta l << \sqrt{R^2 + x^2}$.

Заряд каждого такого участка дуги равен

$$Q_i = \frac{Q}{N}.$$

Сила взаимодействия каждого участка с бусинкой равна

$$F_i = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{|q|\cdot|Q_i|}{R^2 + x^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{|q|\cdot|Q|}{N(R^2 + x^2)}.$$

Результирующая всех сил притяжения бусинки к каждому из участков кольца будет равна сумме проекций на ось X каждой силы взаимодействия между бусинкой и соответствующим участком кольца.

$$F = \sum_{i=1}^{N} F_i \cos\alpha.$$

При этом $\cos\alpha = \dfrac{x}{\sqrt{R^2 + x^2}}$

Так как все силы одинаков по модулю, то сумма проекций всех сил, с учётом направления действия, будет равна

$$F_x = -N\cdot\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{|q|\cdot|Q|}{N(R^2 + x^2)}\frac{x}{\sqrt{R^2 - x^2}},$$

т.е. $F_x = -\dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{|q|\cdot|Q|\cdot x}{(R^2 + x^2)^{\frac{3}{2}}}.$

Получилась сложная зависимость силы, стремящейся вернуть бусинку к середине кольца, от смещения бусинки. Чтобы упростить математическую модель явления, учтём, что $x << R$, поэтому величиной x^2 по сравнению с R^2 можно пренебречь и считать, что возвращающая сила, действующая на бусинку, прямо пропорциональна её смещению

$$F_x = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{|q|\cdot|Q|\cdot x}{R^3}.$$

Такая зависимость характерна для гармонических колебаний. Поэтому, используя аналогию с колебаниями груза на пружине ($F_{упр_x} = -k \cdot x$), получаем, что период колебаний бусинки равен

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k^*}}\text{, где } k^* = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{|q|\cdot|Q|}{R^3}.$$

Откуда $T = 4\pi\sqrt{\dfrac{m\pi\varepsilon_0 R^3}{|q|\cdot|Q|}}$.

Кроме идей принципа простоты при решении данной задачи оказались востребованными идеи принципа системности, при разбиении кольца на части, и принципа симметрии и сохранения, при определении направления равнодействующей электрических сил и использовании метода аналогии.

• Полезно выявлять аналогию между решаемой проблемной ситуацией и ситуациями, успешно решёнными ранее. Если аналогия ситуаций найдена, то поиск необходимых действий на основе аналогии с действиями, выполненными ранее, становится более простым.

• Если не удалось сразу решить проблемную ситуацию, можно попробовать начать аккуратно записывать собственные мысли, формулы, изображать модели исследуемых объектов с помощью схематичных, но красивых рисунков или других наглядных и красивых моделей.

• На этапе проверки правильности выполненных действий, логических или математических выводов полезно проверять их справедливость на более *простых* частных случаях.

• На этапе составления объяснения надо стараться сделать его как можно более *простым,* кратким, но убедительным, итоговые результаты представить в *простой и красивой* форме.

К изучению принципа симметрии и сохранения

Если исследуемый объект имеет симметричную форму (возможны: центральная, осевая, зеркальная симметрии, симметрия параллельного переноса, симметрия поворота и другие), то некоторые свойства этого объекта можно найти из соображений симметрии. *Например, центр масс однородного плоского равностороннего треугольника, очевидно, находится в точке пересечения его медиан, биссектрис и высот*.

• Соображения симметрии иногда существенно упрощают проблемную ситуацию, если удаётся представить рассматриваемый несимметричный объект как результат суперпозиции нескольких симметричных объектов.

Задача 13. «Звёздочка-дизайнер». *Звёздочка любила рисовать замысловатые геометрические фигурки на клётчатой бумаге, а потом вырезать их и развешивать по комнате. Однажды она нарисовала такую сложную фигуру, как показано на рис. 11.*

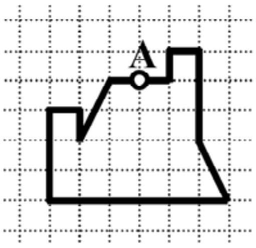

Рис. 11. Плоская фигура

Изобразите примерное расположение этой фигуры, после того как Звёздочка её подвесила на нити, прикреплённой к точке А. Поясните своё решение.

Возможный ход рассуждений отображён на рис. 12. Фигуру можно представить как суперпозицию трёх фигур, одна из которых обладает свойством симметрии и будет располагаться горизонтально в равновесии при отсутствии других частей, а две другие части одинаковые, но размещены несимметрично. Поэтому момент силы тяжести, действующей на левый выступ, оказывается больше момента силы правого, из-за чего свободно повешенная фигурка наклоняется в левую сторону.

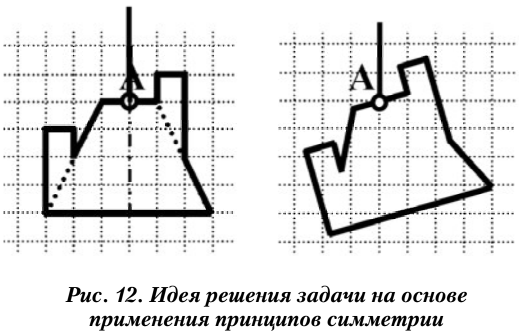

Рис. 12. Идея решения задачи на основе применения принципов симметрии и суперпозиции

• Некоторые физические процессы обладают свойством симметрии (динамической симметрии). Для таких процессов характерна аналогия в особенностях их развития до и после определённого события или они отличаются свойством обратимости. *Например, движение тела, брошенного под углом к горизонту симметрично до и после его абсолютно упругого столкновения с неподвижной вертикальной преградой (рис. 13.), отметим также симметрию процесса плавления (кристаллизации) вещества, обратимость хода светового луча в оптической системе, обратимость равноускоренного движения и т.д.*

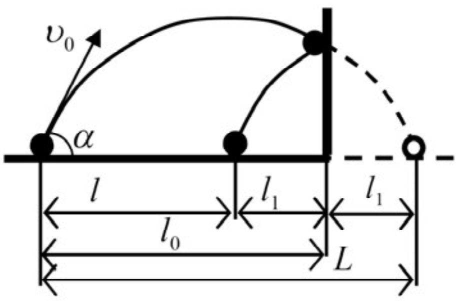

Рис. 13. Идея решения задачи методом «зеркального отражения»

• Симметрия физических законов в пространстве и во времени получила выражение в формулировках законов сохранения, которые позволяют определять состояния исследуемых объектов в нужное время и в конкретной области пространства, не прибегая к подробному рассмотрению промежуточных состояний. *В числе фундаментальных законов можно отметить: закон сохранения полной механической энергии, закон сохранения импульса, закон сохранения электрического заряда, уравнение теплового баланса, первый закон термодинамики, закон сохранения энергии для электрических и магнитных явлений, закон сохранения массового числа, закон сохранения момента импульса и др.*

• Кроме учёта фундаментальных законов сохранения существенную помощь в поиске решения задачи могут оказать частные законы сохранения каких-либо характеристик объектов.

Задача 14. «Брусок в баке». *В кубическом баке с длиной стороны a, доверху наполненном водой, находится брусок. Высота и ширина бруска совпадают с внутренними размерами бака, а его толщина равна b. Масса бруска равна m, плотность воды ρ. Определите минимальную работу, необходимую для того, чтобы вытащить брусок из воды.*

Для решения данной задачи важно учесть, что полностью вытаскивать брусок из бака не требуется, т.к. по мере подъёма бруска уровень воды в баке понижается. Допустим, что в тот момент, когда брусок вынут из воды, высота слоя воды в баке станет равна h. Эту высоту находим на основании частного закона сохранения объёма $a^3 - a^2b = a^2h$, откуда $h = a - b$. Теперь записываем фундаментальный закон сохранения энергии (в данном случае в форме закона изменения механической энергии). С учётом положения центров масс бруска и воды в начальный и конечный моменты получаем

$$mg\frac{a}{2} + \rho(a^3 - a^2b)\frac{a}{2} + A = mg(\frac{a}{2} + h) + \rho \cdot a^2h \cdot \frac{h}{2}.$$

Совместное решение полученной системы уравнений позволяет найти ответ.

Отметим, что при решении физических задач могут сохраняться: масса, объём, количество вещества, электроёмкость конденсатора, индуктивность катушки, жёсткость пружины, электродвижущая сила и внутреннее сопротивление источника тока, сопротивление резистора, электрохимический эквивалент и т.п.

К изучению принципа относительности

• Согласно физическому принципу относительности, можно применять одни и те же физические законы в любой инерциальной системе отсчёта, поэтому всегда полезно попытаться найти такую систему отсчёта, в которой задачная ситуации выглядит наиболее просто. При переходе из одной системы отсчёта в другую важно учитывать изменения некоторых кинематических характеристик объектов.

Задача 15. «Наблюдательный Шпунтик». *Винтик и Шпунтик ехали на автомобиле собственного изготовления. Винтик рулил, а Шпунтик сидел сзади и смотрел на кусочки грязи, вылетающие из-под колёс автомобиля. Вдруг он заметил, что от самой задней точки поверхности колеса оторвал-*

ся кусочек грязи и, подлетев вверх, через некоторое время снова упал точно на то же место колеса. В этом месте колесо было запачкано краской и заметить его не составляло труда. С какой постоянной скоростью двигался автомобиль, если его колёса не проскальзывали по дороге? Радиус колеса равен 30 см, ускорение свободного падения считать равным 10 м/с^2, число π = 3. Следует учесть, что в Цветочном городе не разрешается ездить со скоростью более 25 км/ч.

Возможное решение. Так как проскальзывания колёс нет, то скорость их вращения равна скорости движения автомобиля υ_0. Относительно автомобиля скорость кусочка грязи в момент отрыва была направлена вертикально и равна скорости вращения колеса, а, значит, равна скорости автомобиля. Движущийся с постоянной скоростью автомобиль можно считать инерциальной системой отсчёта. Следовательно, относительно автомобиля кусочек двигался вертикально с постоянным ускорением, равным ускорению свободного падения. Поэтому время полёта камня системе отсчёта «автомобиль» можно вычислить по формуле равноускоренного движения

$$t = \frac{2\upsilon_0}{g}.$$

За время полёта кусочка грязи автомобиль проехал расстояние, кратное длине внешней поверхности колеса $l = N2\pi R$, где N — натуральное число. Следовательно,

$$\frac{N2\pi R}{\upsilon_0} = \frac{2\upsilon_0}{g}.$$

Откуда $\upsilon_0 = \sqrt{N\pi \cdot gR}$, Значит, скорость может быть равна $\upsilon_0 = 3\sqrt{N}\ м/с$. Учитывая принятое ограничение скорости, получаем допустимые значения скорости $3\ м/с$, $3\sqrt{2}\ м/с$, $3\sqrt{3}\ м/с$ и $6\ м/с$).

- Согласно физическому принципу эквивалентности, для того, чтобы закономерности, справедливые в инерциальной системе отсчёта, можно было использовать системе отсчёта, движущейся с постоянным ускорением $\vec{a}_{CO}$ относительно инерциальной, следует допустить, что в этой системе отсчёта на каждое тело действует сила инерции, равная $\vec{F}_И = m(-\vec{a}_{CO})$. А поскольку и сила тяжести, и сила инерции пропорциональны массе тела, то удобно считать, что в неинерциальной системе отсчёта вместо этих двух сил действует одна эквивалентная сила тяжести равная

$$\vec{F}_{ЭКВ} = m\vec{g} + \vec{F}_И = m(\vec{g} - \vec{a}_{CO}) = m\vec{g}_{ЭКВ}.$$

***Задача 16. «Маятник в лифте»**. В лифте к потолку на тонкой нерастяжимой нити длиной L подвешен маленький шарик, массой m. В начальный момент шарик отводят в сторону на небольшой угол α и отпускают. Когда нить занимает вертикальное положение, лифт начинает двигаться с постоянным ускорением a, направленным вверх. На какой максимальный угол отклонится нить от вертикали? Через сколько времени нить снова примет вертикальное положение?*

Возможное решение. Кинетическую энергию шарика в нижней траектории находим из закона сохранения механической энергии

$$mgL(1-\cos\alpha) = \frac{m\upsilon_1^2}{2}.$$

Как только лифт начинает ускоренное движение вверх, то «эквивалентная сила тяжести» стала равной $m(g + a)$. Лифт начал своё движение как раз в тот момент, когда шарик проходил нижнюю точку своей траектории. Скорость шарика была направлена горизонтально, значит в системе отсчёта «движущийся лифт» кинетическая энергия шарика тоже была равна

$$\frac{m\upsilon_1^2}{2}.$$

Тогда, согласно закону сохранения энергии, можно записать:

$$\frac{m\upsilon_1^2}{2} = m(g+a)L(1-\cos\beta).$$

Учитывая, что

$$1-\cos\alpha = \sin^2\frac{\alpha}{2},$$

и при малых углах синус угла равен значению угла в радианах, получаем, что

$$\beta = \alpha\sqrt{\frac{g}{g+a}}.$$

Время, через которое нить снова примет вертикальное положение, равно половине нового периода колебаний:

$$\tau = \frac{1}{2}T = \pi\sqrt{\frac{L}{g+a}}.$$

• При переходе в систему отсчёта, вращающуюся с угловой скоростью ω, удобно считать, что на любое тело, в этой системе отсчёта дополнительно действуют центробежная сила

$$\vec{F}_{ЦБ} = m(-\vec{a}_{ЦС}),\ (F_{ЦБ} = m\omega^2 R)$$

и кориолисова сила

$$\vec{F}_{кор} = m\vec{a}_{кор}\ \ (\vec{a}_{кор} = \vec{\omega}\times\vec{\upsilon}\ ).$$

(Объяснение правил учёта этих сил требует подробных пояснений, поэтому в данной статье их не будем приводить.)

• Согласно физическому принципу дополнительности, следует учитывать, что получение экспериментальных данных об одних физических величинах неизменно связано с изменением данных о других величинах, дополнительных к первым. Например, для описания одних свойств объектов микромира используют волновые представления, а для описания других свойств — корпускулярные, которые являются дополнительными по отношению к волновым. Поэтому, чтобы получить целостное представление об изучаемом объекте, иногда необходимо использовать несколько разных по содержанию, дополняющих друг друга подходов к их исследованию, а для объяснения свойств объекта иногда применять взаимоисключающие «дополнительные» понятия. Математическую взаимосвязь между дополнительными характеристиками микрообъектов выражают соотношения неопределённостей. Учёт этих соотношений иногда позволяет находить наиболее простые решения задач, связанных исследованием объектов микромира.

Задача 17. «Электрон не в ядре». *При β-распаде атомного ядра образуется электрон. Докажите, что электрон именно образуется при распаде, а не вылетает из ядра.*

Возможное решение. Из соотношения неопределённостей следует, что неопределённость координаты Δr и неопределённость импульса Δp микрообъекта связаны соотношением

$$\Delta p \Delta r \geq \frac{h}{2\pi}.$$

Минимальные неопределённости получаются при соотношении

$$\Delta r \cdot \Delta p \approx \frac{h}{2\pi}.$$

Предположим, что электрон входит в состав ядра, тогда его максимальная координата не может превышать размеры ядра $r_0 \approx 10^{-16}\,м$. Значит и неопределённость координаты электрона не должна превышать это значение. Тогда неопределённость импульса оказывается равной

$$\Delta p \approx \frac{h}{2\pi \cdot \Delta r} \approx \frac{h}{2\pi \cdot r_0}.$$

Минимальный импульс не может быть меньше своей неопределённости, следовательно

$$p_{\min} \approx \frac{h}{2\pi \cdot r_0}.$$

Учитывая, что

$$\frac{h}{2\pi} \approx 10^{-34}\,Дж \cdot с,$$

получаем: $p_{\min} \approx 10^{-18}\,Н \cdot с$. Оценим минимальную скорость с которой электрон может двигаться, находясь в ядре. Следуя принципу простоты, сначала воспользуемся нерелятивистской формулой $p_{\min} = m_e \cdot \upsilon_{\min}$. Считая, что масса электрона приблизительно равна $m_e \approx 10^{-30}\,кг$, получаем: $\upsilon_{\min} \approx 10^{12}\,м/с$. Полученная оценка величины скорости превышает скорость света в вакууме, что запрещено теорией относительности. Уточнение с помощью релятивистских соотношений даёт тот же порядок числового значения минимально допустимой скорости электрона в ядре. На основании этого можно сделать вывод, что электрон не входит в состав ядра атома и образуется уже во время его распада.

• Согласно принципу толерантности (терпимости) надо учитывать возможность наличия нескольких различных, а иногда взаимоисключающих, правильных решений задачи, поэтому не следует принимать первое из найденных решений за единственно верное, полезно попытаться отыскать и другие возможные решения, чтобы учесть все варианты или выбрать из них наиболее подходящие (См. задачи 1, 2, 11).

• Согласно принципу конкретности (относительности) истины, следует, что любые закономерности справедливы при определённых условиях. *Например, силу всемирного тяготения можно вычислять по формуле*

$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$$

только в том случае, если взаимодействующие тела можно представить в виде материальных точек или в виде шаров с центрально симметричным распределением массы. В других случаях использование этой формулы приводит к ошибочному ответу.

К изучению принципа согласия с практикой

Теоретические выводы, полученные в результате решения задачи, желательно проверять экспериментально. При этом иногда оказывается достаточным мысленного воспроизведения опыта.

Задача 18 «Бегун». *Семиклассник пробежал 100 метров за 15 с. За какое время он пробежит 1 км?* Очевидно, что ответ: за 150 с (т.е. за 2 мин 30 с) будет неправильным, поскольку бегун наверняка устанет.

• Чем более количество экспериментальных данных подтверждает теоретические выводы, тем с большей степенью доверия следует относиться к этим выводам.

• Если результаты эксперимента (с учётом погрешности измерений) не согласуются с теоретическими выводами, то эти выводы следует признать ложными (см. задачу 2).

• Не следует использовать в объяснениях такие гипотезы и выводы, которые принципиально нельзя проверить экспериментально.

К изучению принципа соответствия

• При составлении ответов на поставленные вопросы следует использовать только известные в науке термины, законы и теории.

• Следует отбрасывать как ошибочные такие ответы на сложные задачи, из которых нельзя получить путём упрощения задачной модели ответы на уже решённые более простые задачи. Если предлагаемый способ решения сложной задачи не позволяет решать более простую задачу, получаемую путём упрощения исходной задачи, то такой способ решения вероятнее всего будет неправильным.

• Сложную расчётную формулу можно проверить методом подстановки таких конкретных значений величин, для которых ответ известен заранее или может быть выведен с помощью более простых рассуждений и расчётов (метод дополнительной конкретизации).

Задача 19. «Средняя скорость»: *Одну восьмую всего времени движения велосипедист ехал со скоростью υ_1. Оставшееся время он двигался с другой, но тоже с постоянной скоростью. Средняя скорость его движения оказалась равной υ_{CP}. Определите скорость движения велосипедиста на втором участке.*

Предположим, что была получена формула

$$\upsilon_2 = \frac{8}{7}\upsilon_{CP} - \frac{1}{7}\upsilon_1.$$

Как можно проверить её справедливость? Подставить $\upsilon_{cp} = \upsilon_1$, тогда должно быть получено, что $\upsilon_2 = \upsilon_1$. Действительно,

$$\upsilon_2 = \frac{8}{7}\upsilon_1 - \frac{1}{7}\upsilon_1 = \frac{7}{7}\upsilon_1 = \upsilon_1.$$

• Сложную расчётную формулу можно проверять методом проверки единиц измерения, согласно которому комбинация единиц измерения величин, расположенных в левой части формулы, должна совпадать с комбинацией единиц измерения величин, расположенных в правой части (метод абстрагирования от числовых значений).

• Сложную расчётную формулу можно проверять методом присвоения одной из величин, входящих в формулу, характеризующих свойства задачного объекта, пренебрежимо малого или бесконечно большого числового значения, при котором ответ становится очевидным (метод дополнительной идеализации).

Общие рекомендации по организации системного обучения школьников умению ориентироваться на нормы и идеи методологических принципов

Обращаясь к методике обучения школьников правилам применения методологических принципов, отметим, что в каждом методологическом принципе выделяют нормирующую (регулирующую) и эвристическую (подсказывающую) функции. Нормирующие положения методологического принципа выступают в качестве требований к научной корректности деятельности, правил её рациональной организации. Эвристическая суть принципа проявляется в форме подсказок на этапах выбора стратегического направления деятельности, корректировки деятельности при возникновении проблемных ситуаций, а также проверки корректности и эффективности полученных результатов. Эта особенность позволяет позиционировать для школьников методологические принципы не как догмы, строго регламентирующие деятельность, а как полезные советы, подсказки к оптимизации деятельности. Не знание названий принципов, а умение их использовать — вот основная цель методологической составляющей обучения. Впрочем, это не отрицает пользы от запоминания учащимися названий изучаемых принципов. Эвристическая направленность методологического принципа как раз и предполагает быстрое восстановление («высвечивание») в памяти его основной идеи, «ухватившись» за которую появляется возможность выстроить цепочку конкретных действий по разрешению конкретной проблемы.

В процессе формирования у учащихся целостного представления о системе методологических принципов можно условно наметить три этапа: этап знакомства, этап уточнения и тренинга, этап систематизации и обобщения.

Знакомство с нормами и идеями методологических принципов можно начинать уже на первых уроках обучения решению задач. На данном этапе учитель произносит названия и сообщает упрощённые для конкретного случая формулировки методологических принципов. На последующих учебных занятиях учитель использует названия изученных (пока до степени узнавания) методологических принципов в качестве эвристических подсказок для регулирования поисковой деятельности учащихся.

Начало этапа уточнения и тренинга можно условно отнести на конец первого — начало второго года обучения физике. На данном этапе добавляются следующие способы организации деятельности учащихся: поиск различных способов решения задачи на основе идей различных методологических принципов; решение задачи на различных уровнях методологии физики: от попытки угадать решение, исходя из идей методологических принципов, до решения задачи на уровне использования частных физических законов; выявление названий и идей методологических принципов, оказавшихся полезными при решении исследуемых задач.

Этап систематизации и обобщения методологических знаний целесообразно начинать не раньше перехода учащихся в 9 класс, учитывая их возрастные особенности. Изученные методологические принципы систематизируются. До учащихся доводятся их развёрнутые формулировки, в том числе из энциклопедических изданий. Возрастают требования учителя к оценке качества деятельности учащихся, уровню развития их методологической компетентности. На деятельностном уровне предполагается привлечение учащихся к поиску примеров решения задач с использованием тех или иных методологических принципов не только по изучаемой теме, но и из других разделов физики, других предметных областей и из практической деятельности.

Заключение

Можно заметить, что многие из приведённых здесь задач соответствуют курсу физики 7–9 классаю Это сделано для того, чтобы ещё раз указать на возможность и необходимость, по мнению автора, начинать обучение школьников умению ориентироваться на методологические принципы с началом обучения предметным знаниям. Осознание учащимися универсального характера и ценности изучаемых методологических регулятивов способствует актуализации в их представлениях изучаемых положений научной методологии и, благодаря этому, актуализации всего образовательного процесса, что, в конечном счёте, приводит не только к повышению уровня развития методологической культуры учащихся, но и повышению качества их образования в целом. ❑

[9] **Бубликов С.В., Кондратьев А.С.** Методологические основы решения задач по физике в средней школе // Учебная физика. 1998. № 5. С. 46–77.