

ПРИНЦИП ПРОБЛЕМНОСТИ В ОБУЧЕНИИ

Валентин Сергеевич Идиатулин,
кандидат физико-математических наук

В СТАТЬЕ ОБСУЖДАЕТСЯ ОТРАЖЕНИЕ УЧЕБНЫХ И НАУЧНЫХ ПРОБЛЕМ В ШКОЛЬНЫХ КУРСАХ И В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ. ОПИСАНЫ ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ И КОНКРЕТНЫЕ ПРИМЕРЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ И РАЗРЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМНЫХ СИТУАЦИЙ.

Из видов учебной деятельности наиболее всего способствуют познавательной активности такие, которые приводят субъекта учения в состояние когнитивного диссонанса, характеризуемого противоречием в знаниях, побуждающим к его устранению. Без преодоления препятствий развития мышления почти не происходит, ему способствует обучение на достаточном уровне когнитивной сложности, а также выполнение заданий, которые вызывают потребность в новом подлежащем усвоению знании. При этом разрешение противоречий формирует личностные качества учащихся, развивает мышление, которое, по сути, только и включается в проблемной ситуации. Обучение перестаёт быть развивающим, если оно не обращается к познавательным противоречиям как к источнику развития мышления.

Процесс обучения обусловлен способностями учащихся лишь частично, в основном же он определяется их эмоциональным состоянием, которое и может создавать учитель. Существуют разные подходы, но одним из действенных всё же остаётся проблемность обучения, при которой интерес к нему основан на содержании изучаемого материала.

В процессе учения причина часто кроется в ошибках учащихся. Многие ошибки обусловлены неосведомлённостью, незнанием или заблуждениями, гораздо большее их число — погрешностями запоминания и забывания. Меньше ошибок происходит в результате нарушения когнитивных процессов, последовательности действий, контроля деятельности. Различные уровни проблем-

ности зависят также от степени несоответствия знаний, умений и личностных свойств учащихся требуемому уровню. Саморазвитие способности к поиску помогает вскрыть потенциальные возможности, позволяет испытать радость, пусть маленьких, открытий, получить удовлетворение от преодоления препятствий, и в этом формировать себя.

Для развития субъекта учения необходимо не столько мышление, сколько размышление, которое можно впустить в учебный процесс, если предусмотреть растянутое во времени разрешение учебно-познавательных проблем, которое потребует подключения памяти, общения с прошлым опытом и активного поиска того нового, без которого их разрешение невозможно. Познавательная активность максимальна при нахождении учащихся в экстремальных условиях, когда эмоциональное воздействие придаёт поведению определённую направленность. Внутренняя активность не может быть всеохватной по целому ряду причин, главной из которых всегда остаётся гетерогенность контингента учащихся — то, что воодушевляет одного, не затрагивает другого. В этом повинны не только психологические различия, а также различия когнитивных стилей (вербальные, визуальные, предметно-практические), но и разные индивидуальные тезаурусы, которые отражают накопленные индивидом сведения о мире и данной учебной дисциплине.

Тезаурус описывает смысловые связи каждого усвоенного понятия и характеризует способность учащихся воспринимать поступающую информацию в двух отношениях: познавательная активность невелика как

при недостаточной подготовленности учащихся к восприятию, так и вследствие довольно большой осведомлённости. Чувство когнитивного диссонанса возникает, если учащийся уже обладает минимально необходимым тезаурусом, но оно существенно ослабевает по мере развитости умственного учебного тезауруса, в который входит не только информационное, но и интеллектуальное оснащение ума.

Преодоление этого объективного противоречия возможно при внедрении технологии обучения, которая способствует познавательной активности путём эффективного взаимодействия внешних и внутренних факторов, а также изучения подготовленности и обученности для последовательного отслеживания результативности обучения на объективной основе. Для этого необходимо создавать банки проблемных ситуаций, а также диагностирующих заданий разного уровня когнитивной сложности, охватывая ими достаточно полно учебный материал изучаемой дисциплины, поскольку ни развивающее, ни проблемное обучение невозможны без определённого репродуктивного запаса знаний.

Принцип проблемности обучения основан на понятии научной или учебной проблеме, сутью которых является противоречие. Причём не формальное противоречие следствия исходным посылкам, а противоречие диалектическое, которое затем разрешается и продвигает вперёд процесс познания. Проблемное обучение проигрывает информационному в передаче фактов, но, обучая мыслить, решает в корне недоступные тому задачи. Недостаточность методологического обоснования проблемности обучения чаще заключалась в отсутствии опоры на самые общие законы психологии познания. Обучение можно и нужно строить и понимать как возникновение и разрешение противоречий. Этот естественный для любого научного познания путь должны проходить и учащиеся.

Подготовительный этап должен быть посвящён анализу имеющихся знаний учащихся, на основе которых будет строиться каждая проблемная ситуация, так как своевременность её реали-

зации оказывается весьма важной.

Затем наступает время непосредственной подготовки противоречия: средства его выявления зависят как от вида учебного занятия, так и от характера противоречия. Это могут быть лабораторный или демонстрационный эксперимент, описание реального или гипотетического явления, мысленный анализ. На занятиях используют учебные задачи с невыделенным явно неизвестным, с неполными или избыточными данными, с противоречивыми данными, с бессмысленным формальным решением, с отсутствием решения, с множеством решений, с противоречивым, неприемлемым или неожиданным результатом и т.д.

На следующем этапе необходимо спрогнозировать вероятную реакцию учащихся на противоречие, их оценку проблемной ситуации, возможные гипотезы для её разрешения, степень их затруднения. Это позволяет проектировать пути разрешения противоречия. Его можно полностью предоставить учащимся, либо содействовать им наводящими вопросами, подсказать возможные ответы, указав направление мысли, перенести на другое занятие, давая возможность поломать голову самостоятельно, либо разъяснить все ошибки и недоразумения и обосновать правильный результат, сочтя класс достаточно эмоционально и интеллектуально подготовленным к его восприятию. Завершающий методологический анализ позволит выявить причины возникновения противоречия, механизмы его проявления, сделать необходимые обобщения и сформулировать практические выводы и рекомендации. Выработка грамотных формулировок есть активный творческий процесс, обеспечивающий развитие логического мышления¹.

Иногда неизбежно столкновение житейского опыта или так называемого здравого смысла с научными данными. Сильные сомнения в правильности результата возникают в самых простых ситуациях. Так, увеличение на один метр длины провода, опоясывающего земной шар и футбольный мяч, приводит к одинаковому радиальному зазору между новым и старым положениями. Если влажность овощей составляла 99%, то усушка до 98%, т.е. всего на один процент, ведёт к уменьшению их массы наполовину. Например, если при начальной массе 100 кг в огурцах содержалось 99 кг воды

¹ Пупляева Л.В. Развитие мышления в проблемном обучении. М.: Знание, 1979.

и 1 кг сухого вещества, то после усушки такое же его количество составит 2% от конечной массы в 50 кг.

В преподавательской деятельности получили широкое применение разные способы создания и разрешения проблемных ситуаций². Здесь и сообщение отдельным ранее неизвестным слушателям фактов, использование противоречия между ними и имеющимися знаниями, ошибочные оценки и суждения учащихся, попытка объяснения фактов на основе известных уже теорий, выдвижение и проверка гипотез, предоставление учащимся возможности самостоятельно найти решение проблемы, использовать дополнительную литературу. Успешно применяются физические парадоксы, софизмы, экспериментальные задания, занимательные задачи. В диалогической форме обучения используются сократовские беседы, включающие постановку вопроса, способствующего возникновению проблемной ситуации, наводящий вопрос и подсказку. Наводящий вопрос предназначен для актуализации памяти учащегося на решение проблемы, понижение меры её сложности до уровня, допускающего её разрешение учащимися. Дальнейшее снижение этой меры даёт неполная подсказка, не поддерживающая окончательного решения.

Понятия и их определения

Понимание важной роли построения определений в учебном процессе не находит достаточно широкого отражения в учебной и методической литературе. Нужны схемы, которые предусматривают достаточно полное и ясное описание признаков понятий, передают логику познания и способствуют познавательной деятельности учащихся. Творческий характер построения определений по таким схемам требует умственных усилий для преодоления стереотипов традиционных формулировок. Выработанное при непосредственном участии учащихся определение позволит более чётко понимать его внутреннюю логику, полнее раскрывать содержание понятия, т.е. совокупность признаков, выделяемых в классе входящих в его объём объектов.

Особенно эффективно перед введением какого-либо нового для аудитории понятия

создание проблемной ситуации вместо декларативного его изложения с последующей иллюстрацией. Любое понятие раскрывается в процессе усвоения, обсуждения и использования; его объём и содержание трудно унифицировать даже в рамках разных разделов курса, а тем более в многочисленных приложениях. Понятия углубляются, уточняются и пересматриваются, поэтому закрепление их застывшей формы даже вредит образованию. Дидактические приёмы корректного введения понятий опираются на умения соотносить получаемые знания с приобретённым личностным опытом.

Научные понятия и их определения устаревают, уточняются и пересматриваются, требуют постоянного обсуждения, хотя бы потому, что ни одно их формальное определение не способно охватить всё содержание понятия. Оно должно раскрывать сущность, которая, как правило, не лежит на виду, многопланова, иногда неоднозначна и неясна. Когда знания поверхностны, используются упрощённые представления, что приводит к противоречиям, разрешение которых заставляет вносить уточнения даже в хорошо знакомое. В обучении определение должно стать естественным итогом изучения объекта в многообразии его свойств и связей. Усвоить его можно, лишь проследив все линии развития понятия, вскрывая в них противоречия, изучая его употребление в трудах основоположников науки и современных исследователей.

Выработанное совместно с учащимися как выход из проблемной ситуации, оно надолго останется в их памяти при осознании всей его внутренней логики. Происходящая при этом вербализация понятия способствует воплощению его значения в личностный смысл. Определения понятий должны стать естественным итогом процесса изучения свойств объекта, закономерным выводом из усвоения многообразных внутренних связей и целостности системы, в которую входит понятие.

Главная цель определений во многих случаях состоит в том, чтобы довести ум легчайшим путём до желаемого понятия. Облегчает эту работу часто использование аналогий, т.е. перенесение в одну

² **Идиатулин В.С.** Принцип проблемности в когнитивной технологии обучения. Ижевск: ИЖГСХА, 2003. Библиотека журнала «Образование: Исследовано в мире». М.: OIMRU, 2005.

сферу понятий закономерностей из другой, что даёт готовый угол зрения и понятийный аппарат и иногда приводит к лучшему пониманию.

Конкретные примеры того, как раскрываются противоречия в содержании физических понятий, как создаются и разрешаются проблемные ситуации, приводятся ниже. Описанная во введении методика их конструирования и разрешения демонстрируется в разной степени детально при достаточно полном и подробном изложении сущности явлений, снимающей противоречие.

Учебные и научные проблемы

Наука формирует понятия, учебная дисциплина формулирует их определения. Частотой обычно называют число оборотов (колебаний) в единицу времени, плотностью — массу единицы объёма. Мощность определяют как работу, совершаемую в единицу времени. Такие определения очень часто используются в учебной литературе, к ним привыкли и учителя и ученики. Следуя этим образцам, перечень определений можно продолжить, принимая в определяющем выражении одну из входящих в него величин за единицу. Сила, действующая на тело единичной массы, равна его ускорению. Импульс тела единичной массы равен его скорости и т.п. Остаётся тоже перенести их в учебники. Проблема выявляется и осознаётся при попытке применить метод Сократа: не давать готовый ответ, а вскрывать противоречие в ответах ученика на вопросы, о какой конкретно единице идёт речь, какой системы единиц, дольной или кратной единице, почему именно такой, и если такой то почему она не была названа сразу, и т.д.

Определять скорость как путь, проходимый за единицу времени, не советовал ещё известный профессор О.Д. Хвольсон: «В школе вас так учат, а я вам скажу, что скорость есть скорость, путь есть путь, и ничего общего между ними нет». Только окончательно зайдя в тупик, можно прийти к непротиворечивым и осознанно содержательным определениям вводимых понятий: частота есть не число колебаний, а его отношение ко времени, за которое они происходят. Плотность вещества — это отношение его массы к занимаемому им объёму.

Мощность равна отношению работы ко времени её совершения. Таким образом, вводимые величины определяются как производные от других, с которыми они связаны, и не зависят от выбора каких либо условных единиц. Напротив, единицы величин устанавливаются на основе тех же определяющих уравнений, что и сами величины, и это уже не вызывает недоразумений: герц — это частота, при которой происходит одно колебание в секунду; ватт есть мощность, при которой за одну секунду совершается работа в один джоуль и т.д.

Векторная физическая величина в учебной и справочной литературе обычно определяется как характеризующая численным значением, единицей и направлением. Опровергающий пример — все потоки: ветер (поток воздуха), струя (поток воды), электрический ток (поток заряда), луч света (поток фотонов). Попытка применения к ним правил векторного сложения особенно просто и явно приводит к противоречию в случае равных по модулю векторов противоположного направления, когда их векторная сумма равна нулю, а действительный результат, естественно, иной. Дополнение определения вектора правилом геометрического сложения уточняет сущность этого понятия.

Для векторных физических величин проблемы связаны с их природой. Так, для сил необходимо различать векторы свободные, скользящие, приложенные, а, скажем, векторное сложение скоростей и ускорений, в отличие от сложения сил и перемещений, не имеет физического смысла, так как в каждой системе отсчёта точка имеет лишь одну скорость и одно ускорение. Смысл имеет лишь разложение этих векторов на составляющие их компоненты, о чём забывает исторически сложившаяся терминология. Иногда вводится вектор средней скорости (по перемещению). Полезно и здесь проверить правило векторного сложения. Например, движение в гору и возвращение обратно в исходную точку с различными по модулю постоянными скоростями даст равные нулю как вектор перемещения, так и — по определению — вектор средней скорости, независимо от векторной суммы скоростей.

При изучении вращательного движения полезно напомнить, что живём мы во вращающейся системе отсчёта, и озадачить

учащихся некоторыми подкреплёнными фактами утверждениями. Так, расстояние между точками может оставаться неизменным, хотя они и движутся с разными по модулю, но одинаково направленными скоростями. Относительная скорость двух точек может быть постоянна, хотя они и движутся с разными по модулю одинаково направленными ускорениями. Действительно, для находящихся почти на одном меридиане городов Хельсинки и Найроби она составляет около 230 м/с, тем не менее, расстояние между городами не изменяется. В какой же системе отсчёта наиболее чётко проявляется её физическая природа (вариант — в той, где второй город вращается вокруг первого)³?

С давних времён наука не была в согласии с человеческим опытом. Известное ещё Аристотелю очевидное утверждение о необходимости приложения силы для поддержания движения превратилось в ненаблюдаемый на опыте в обычных условиях закон движения по инерции в отсутствие сил. Со школьных времён недоумеваем: с какой силой лошадь тянет телегу, с такой же силой и телега тянет лошадь — согласно третьему закону динамики Ньютона. Кто же перетянет? Тот, кто сильнее упирается! Внутренние силы не изменяют состояние движения системы.

Усвоив этот закон, учащиеся приходят к утверждению о некорректности постановки задач о канате, который тянут с двух сторон разными силами. При замене каната динамометром, который на своей шкале показывает, с какой силой растянута его пружина, возникает практически важный вопрос — с какой же? Что покажет динамометр, если одна из сил равна нулю? Дать правильный ответ по силам любому, кто знает твёрдо, что под действием суммы приложенных сил все тела (в т. ч. и канат, и динамометр) приобретают ускорение согласно второму закону динамики Ньютона.

Про этот закон и учёные до сих пор спорят — закон это или просто определение силы. Да и действует он часто наоборот: на крутом повороте автомобиль или автобус заносит или он наклоняется (иногда переворачивается) не в сторону действия силы (трения), а прямо в противоположную, а велосипед и мотоцикл наоборот — наклоняются в сто-

рону поворота. Занос можно сразу объяснить стремлением к движению по инерции, а условие переворота стоит рассмотреть подробнее.

Наклон мотоцикла и велосипеда необходим, чтобы момент силы тяжести уравновесил момент силы трения относительно оси, проходящей через точки соприкосновения колёс с дорогой. Вращение автомобиля вокруг оси, проходящей через точки соприкосновения с поверхностью дороги внешней к повороту пары колёс, также есть результат сложения моментов сил трения и тяжести относительно этой оси. Переворачивание происходит, когда первый момент превышает второй. В его процессе момент силы тяжести уменьшается до нуля и затем меняет знак, чем ускоряет вращение. Сила трения препятствует проскальзыванию, сообщает объекту центростремительное ускорение, она пропорциональна квадрату скорости и обратно пропорциональна радиусу дуги поворота. Сбрасывая скорость и увеличивая этот радиус, можно уменьшить её момент до безопасного уровня.

Проблемную ситуацию можно подготовить, сравнив результат решения простой задачи с реальностью. Так, известны рекордные значения средней скорости разбега спринтера (около 10 м/с у мужчин и 9 м/с у женщин) и высоты прыжка с шестом (около 6 м у мужчин и 5 м у женщин). Применяв к разбегу и прыжку закон сохранения энергии ($mV^2/2=mgh$), придём к противоречию: для рекордного прыжка мужчине надо разбегаться со скоростью около 11 м/с, а рекордная скорость бега позволяет взять высоту лишь около 5 м (женщине около 4 м). Чемпион по прыжкам с шестом должен бегать быстрее чемпиона по бегу!

Чтобы не затягивать с разрешением противоречия, стоит порекомендовать изобразить траекторию разбега и прыжка на рисунке, и сразу проявится причина расхождения с реальностью — чаще всего прыгун изображается точкой, ползущей (трудно назвать её бегущей) по дорожке разбега. Далее станет ясно, что на 5 м поднимается центр масс прыгуна (4 м прыгуньи), при разбеге он уже находится на высоте около

³ Методологические, дидактические и психологические аспекты проблемного обучения физике: Тез. докл. II Всесоюз. науч.-метод. конф. Донецк: ДонГУ, 1991. С. 71–72.

1 м, и все описанные проблемы разрешены. К сожалению, для прыжка без шеста закон сохранения в такой простой форме не выполняется — упругие свойства скелетных мышц и сухожилий далеки от совершенства.

С работой и энергией связано немало недо-разумений. Так, считается, что на совершение работы всегда расходуется энергия, а на деле бывает наоборот: можно энергию отнять (охладив сосуд с водой или длинную нагретую проволоку), а работа совершится (сосуд будет разорван льдом, а проволока сократится и переместит прикрепленный груз либо растянет пружину). Очень трудно воспринимается то, что для перевода искусственного спутника Земли на более низкую орбиту необходимо увеличивать его скорость и кинетическую энергию, а не уменьшать, как это кажется само собой разумеющимся. Это объясняется зависимостью орбитальной скорости от высоты и радиуса орбиты, что прямо следует из закона всемирного тяготения.

Ещё более парадоксальным покажется утверждение, что при вхождении спутника в атмосферу благодаря сопротивлению воздуха его скорость увеличится. Если орбита близка к круговой, то скорость спутника возрастает при уменьшении её радиуса. Если она становится эллиптической, то касательный к орбите вектор скорости уже не перпендикулярен силе притяжения спутника и имеет нарастающую параллельную ей составляющую. Во всех случаях потенциальная и полная энергии спутника убывают при уменьшении радиуса его орбиты.

В школьных учебниках нет единства в формулировках закона Архимеда для жидкостей и газов: выталкивающая сила в одних определяется весом вытесненных жидкости или газа, а в других — силой их тяжести. Эту проблему можно, конечно же, разрешить при рассмотрении действия закона в движущейся ускоренно неинерциальной системе отсчёта, где эти силы различны. Однако проще вспомнить, что вес — это

сила, с которой тело действует на опору (в данном случае на жидкость), а выталкивающая сила действует со стороны жидкости

на тело, их модули равны согласно третьему закону Ньютона, поэтому выбор в пользу веса несомненен. Тем не менее, и это не всегда так — вес вытесненной жидкости пренебрежимо мал в сосуде, форма и размеры которого такие же, как у плавающего тела (подтаявший у стенок сосуда лёд) — выталкивающая сила определяется не весом, а давлением тонкого слоя вытесненной телом жидкости, которое может быть достаточно велико, как в известном гидростатическом парадоксе.

С давлением в жидкостях связано немало острых проблем. Так, с трудом удаётся воспринять информацию, что в заполненном жидкостью закрытом сосуде давление на дно возрастает вдвое после того, как маленький пузырек воздуха поднимется со дна на поверхность⁵. Действительно, в исходном состоянии давление в пузырьке равно давлению столба жидкости у дна сосуда, т.е. ρgh . Поскольку жидкость практически несжимаема, то ни её объём, ни объём пузырька не изменятся при его всплывании на поверхность, следовательно, не изменится и давление воздуха в нём. Такое же давление действует и на поверхности жидкости, на дне к нему добавится давление столба жидкости, и в итоге давление жидкости на дно сосуда станет равным $2 \rho gh$, т.е. вдвое больше исходного.

Если жидкость движется, то, согласно закону Бернулли, давление в потоке уменьшается, а из его же уравнения следует, что полное давление растёт, так как равно сумме статического, гидростатического и динамического давлений — во избежание таких недо-разумений два последних рекомендуют называть напорами. В трубе постоянного сечения давление убывает из-за трения, и скорость должна расти, но это невозможно в силу неразрывности потока. Наоборот, при торможении трением скорость будет убывать, т.е. давление расти, однако при равномерном течении оно должно оставаться постоянным, на самом же деле оно убывает, и объяснений этому пока нет⁶.

С вычислением работы в движущихся системах отсчёта связано немало парадоксов и противоречий, поскольку она не является инвариантом преобразований координат и скоростей (т.е. как и кинетическая энергия, различна в движущихся по-разному

⁴ Там же. С. 76.

⁵ Тульчинский М.Е. Качественные задачи по физике в средней школе. М.: Просвещение, 1972.

⁶ Наука и жизнь, 1983, № 6; 2003, № 5.

системах отсчёта)⁷. Так, в классической механике считается, что сила и пройденный под её действием путь, а стало быть, и работа этой силы одни и те же в разных системах отсчёта. Однако, с другой стороны, работа должна быть равна изменению кинетической энергии тела, которое различно в разных системах отсчёта, поскольку в них различна скорость тела. Противоречие разрешается тем, что часть пройденного телом пути определяет не работу силы, а является результатом движения самой системы отсчёта независимо от действия силы.

Особую роль играют проблемные ситуации, в которых обнаруживается несохранение энергии в инерциальных системах отсчёта. Так, рассмотрение свободного падения тела с некоторой высоты в системе отсчёта, движущейся с его конечной скоростью, приводит к противоречию: в начальный момент его энергия складывается из кинетической и потенциальной, а в конечный обе они обращаются в нуль. Внимательное рассмотрение показывает, что нулевой уровень потенциальной энергии в движущейся системе отсчёта за время падения тела смещается как раз на недостающую величину⁸. Стоит добавить, что в этой системе отсчёта тело падает вверх, так что работа силы тяжести при падении уже не уменьшает, а увеличивает потенциальную энергию тела.

Подобным образом несохранение энергии можно продемонстрировать и на примере соскальзывания без трения тела с наклонной плоскости. Уверовав в принцип относительности Галилея, школьник не сможет объяснить, почему при рассмотрении движения без трения скатывающихся с горы санок в системе отсчёта, движущейся с их конечной скоростью, их полная механическая энергия после скатывания стала равна нулю, а до него была вдвое больше потенциальной. В то время как в неподвижной системе отсчёта полная энергия сохранялась, при этом нулевой уровень потенциальной энергии в обеих системах остаётся один и тот же.

Эту проблемную ситуацию не разрешить без уточнения формулировки закона сохранения полной механической энергии для движения тел при наличии связей: *полная энергия сохраняется, если работа сил реакции связей равна нулю, иначе её изменение равно рабо-*

те сил реакции. Силы реакции при этом могут быть разложены на две составляющие: нормальную и касательную к поверхности связи. Касательная составляющая определяется трением (скольжения или покоя), нормальная по модулю равна и противоположна силе нормального давления тела на поверхность связи, они связаны друг с другом эмпирическим законом Кулона-Амонтона $F_{тр} = \mu F_N = \mu N$. Если есть трение, то механическая энергия не сохраняется, если трение отсутствует, то закон сохранения энергии в механике выполняется в системах отсчёта, неподвижных относительно связей, поскольку работа нормальных сил реакции равна нулю. Если же система отсчёта движется, то нормальные к поверхности силы реакции уже не перпендикулярны траектории и скорости движения, их работа не равна нулю, полная механическая энергия изменяется на значение совершенной силами реакции связей работы.

На неполном знании может быть построено противоречие при качении без проскальзывания тела вращения по горизонтальной поверхности, когда сила трения, казалось бы, должна замедлять движение, а её момент при этом ускоряет его. Противоречие разрешается необходимым введением в рассмотрение обусловленной деформациями силы трения качения, момент которой тормозит вращение, это ведёт к пониманию того, что модель абсолютно твёрдого тела здесь не применима.

Механическая энергия свёрнутой в рулон ленты при её скатывании без проскальзывания с наклонной плоскости, казалось бы, исчезает после её полного разматывания (масса движущейся части ленты уменьшается до нуля). Она обращается в ноль и для массы, закреплённой на катящемся без проскальзывания по горизонтальной поверхности невесомом обруче, в нижней точке её траектории. Первый случай физически подобен распространению волны вдоль длинного сужающегося к концу ремня пастушьего кнута, которое завершается резким хлопком при преодолении им звукового барьера. Вторым должен привести к пониманию того, что здесь невозможно выполнение условия — движения без проскальзывания, так что в какой-то

⁷ Тез. докл. III Междунар. науч.-метод. конф. Донецк: ДонГУ, 1993. С. 42–43.

⁸ Там же. С. 60–61.

момент обруч теряет контакт с поверхностью и закреплённая на нём масса переходит в свободное падение.

При обучении в школе часто закрепляется убеждение, что работа сил трения всегда отрицательна, т. е. она ведёт к уменьшению кинетической энергии движущихся тел, хотя именно благодаря трению о землю происходит ускорение и движение транспортных средств и живых существ. Так, многих ставит в тупик предложение указать направление силы трения при ходьбе человека с постоянной скоростью: если она противоположна скорости, то будет уменьшать её, если направлена в ту же сторону, то увеличит её. Разрешает противоречие наличие у человека двух ног, одна из которых отталкивается от земли в начале каждого шага, а другая упирается в неё в конце; одновременно выясняется и причина неравномерности движения пешехода. Этот же подход опровергает утверждения авторов многих учебных пособий о наличии в природе каких-то сил тяги автомобилей — это как раз и есть силы трения их ведущих колёс о землю, именно они ускоряют движение при разгоне автомобилей, уравновешивают силы сопротивления при их движении с постоянной скоростью и т. д.

Проблемную ситуацию о несохранении механической энергии в сообщающихся сосудах уместно использовать в качестве введения в рассмотрение физики колебаний и их энергии. Простой расчёт показывает, что потенциальная энергия жидкости, вначале собранной в одном из сосудов, вдвое больше её энергии в положении равновесия, когда уровень жидкости в сосудах одинаков. Ситуация разрешается тем, что идеальная жидкость в положении равновесия не остановится и будет совершать колебания. Затухание колебаний вязкой жидкости приведёт к переходу их энергии во внутреннюю. Полностью аналогичная ситуация возникает при сравнении потенциальных энергий груза и растянутой им пружины в двух положениях: первая тоже вдвое превышает вторую. Отметим, что подобным образом разрешается ситуация с исчезновением части энергии зарядов и поля в конденсаторах, поэтому разобраться с ней поможет предварительное рассмотрение

более простых для понимания механических задач.

Рассмотрим понятие идеального газа. Размеры его молекул таковы, что можно пренебречь их объёмом — при нормальных условиях для воздуха он составляет сотысячную часть объёма газа, но категорически нельзя пренебречь их поверхностью — она в тысячи раз больше ограничивающей объём газа и обеспечивает быстрое установление равновесия в результате столкновений. У газа есть внутренняя энергия, которая складывается из энергии его молекул, пропорциональных температуре газа. Если потрудиться (затратив энергию) и разделить каждую молекулу на две, не меняя их скоростей, то убедимся, что число частиц возрастёт вдвое, а средняя кинетическая энергия каждой, а следовательно, и температура газа вдвое уменьшатся⁹. Разрешает проблему только учёт внутренних движений молекул — вращений и возможных колебаний. Продемонстрируем на этом примере более подробно методику создания и разрешения проблемной ситуации.

Предметом проблемной ситуации является возбуждение внутренних степеней свободы газовых молекул, изучаемое в разделе молекулярно-кинетической теории курса физики для профильных школ. На этапе проектирования ситуации ученики уже знают, что абсолютная температура газа T является мерой средней кинетической энергии поступательного движения его молекул, которая количественно равна $(3/2) kT$, где k — есть постоянная Больцмана. При подготовке противоречия учащимся предлагается мысленно проанализировать гипотетическое явление, когда в результате некоторого воздействия каждая из молекул газа разделяется на две приблизительно равные части (например, двухатомная молекула на атомы). Если при разделении молекулы её части не получают дополнительной кинетической энергии, т. е. вся работа по разделению затрачивается на разрыв их связей, то каждая часть молекулы будет двигаться поступательно с прежней скоростью, имея вдвое меньшую массу. При этом, естественно, кинетическая энергия каждой из образовавшихся после деления новых молекул окажется вдвое меньше прежней, а полная энергия всех молекул не изменится.

Поскольку средняя кинетическая энергия поступательного движения новых молекул по-прежнему должна быть равна $(3/2) kT$,

⁹ Там же. С. 70–71.

то прогнозируемая учащимися ситуация приведёт их к выводу, что температура газа уменьшится вдвое. Этот результат некоторые из них могут посчитать само собой разумеющимся, и потребуются, вероятно, напоминание о трудностях, с которыми сталкивается человек при получении очень низких температур, особенно в сравнении с кажущейся простотой предлагаемого способа. Так или иначе, невозможность столь заметного понижения температуры даже в мысленном опыте удаётся осознать почти всем.

Возможны разные пути и способы разрешения этого противоречия. При недостатке времени в школьном курсе уместно сразу объяснить, что кроме поступательного сложные молекулы обладают и внутренними движениями, которые приближенно представимы в виде независимых вращений и колебаний, как это обычно делается в учебной литературе. На примере двухатомной молекулы можно продемонстрировать энергетический баланс: (средняя кинетическая энергия поступательного движения молекулы $3/2 kT$) + (средняя кинетическая энергия двух независимых вращений $2/2 kT$) + (средняя кинетическая энергия одного колебания $1/2 kT$) = $3 kT$, которые после разделения перейдут в среднюю кинетическую энергию двух атомов (по $3/2 kT$ для каждого, как и должно быть). Работа же по разделению атомов будет затрачена на изменение потенциальной энергии колебаний, равной в среднем их кинетической энергии. Этот баланс послужит подтверждением равномерного распределения энергии по степеням свободы (по $1/2 kT$ на каждую), а также уточнением понятия и количественного определения числа степеней свободы, учитывающего поступательное и внутреннее движения.

Полная средняя энергия двухатомной молекулы будет равна $(7/2) kT$, а молярная теплоёмкость при постоянном объёме $(7/2) R$, соответственно. Сравнение расчётных теплоёмкостей с реальными приводит к другому известному противоречию и даже поражению классической физики, которое полностью разрешается только квантовой механикой. Оно заключается в уменьшении теплоёмкости при понижении температуры до $(5/2) R$, а затем и до $(3/2) R$ и объясняется «замораживанием» сначала колебательных, а затем и вращательных степеней свободы двухатом-

ных молекул. При низких температурах kT значительно меньше квантов энергии внутренних движений и вероятность их возбуждения почти равна нулю, с ростом температуры kT сначала приближается к энергиям возбуждения вращательных движений, а в дальнейшем и к энергиям колебаний. Именно это и подтверждают зависимости теплоёмкостей двухатомных газов от температуры. Цепочку противоречий можно продолжить, рассмотрев внутриаомные возбуждения. Противоречивой становится любая физическая модель на границах области своей применимости, что часто помогает их устанавливать.

Можно начать готовить противоречие с простого вопроса: «Как зависит плотность идеального газа от температуры при изохорном процессе?» Тот, кто знает, что плотность равна отношению массы к объёму, сразу ответит, что плотность постоянна, так как неизменны в этом процессе и масса, и объём. Стоит чуть изменить содержание вопроса: «Как зависит плотность идеального газа от температуры при изотермическом процессе?», как возникает проблема: разве может что-то вообще зависеть от постоянной величины (и при этом меняться, как это происходит с объёмом и плотностью в таком процессе). Конечно же, зависимость от константы как параметра процесса возможна, но температура на изотерме неизменна. Разрешить сложившееся в сознании противоречие поможет подсказка: предложить изобразить сначала изотерму на диаграмме «объём — температура» (это знакомая вертикальная прямая). Затем построить зависимость от температуры величины, обратной объёму (тоже вертикальная прямая) и наконец величины, пропорциональной ей, т. е. плотности.

Разрушает обыденные представления утверждение о неизменности внутренней энергии помещения при повышении температуры в нём, хотя это и подтверждается уравнением состояния газа Менделеева-Клапейрона. Столь же непривычен оказывается вывод о расходовании всей энергии, потребляемой холодильником, на нагревание помещения, в котором он находится, а при установившейся в нём температуре на нагревание окружающей среды, теплоёмкость которой не ограничена.

Достаточно противоречива концепция пробного заряда. Чтобы определить локальные

характеристики поля, он должен быть точечным и малым. Но поле точечного заряда именно в ближайшей окрестности исследуемой точки неограниченно велико, т.е. заметно искажает исходное. В диэлектрике требуется учитывать влияние пробного заряда на окружающие атомы и молекулы, а также их обратное действие на заряд, которое определяется его формой и размерами. В вакууме эту проблему можно обойти, исключив самодействие заряда, хотя и там представления о локализации энергии не согласуются с существованием точечных зарядов. В этом можно убедиться на примере расчёта энергии взаимодействия двух заряженных одинаковых шариков малого радиуса до и после уравнивания зарядов при соединении их проводником.

Противоречивость результатов (энергия увеличивается) разрешается лишь с учётом собственной энергии заряженных тел, которая определяется их конечными размерами¹⁰. Проще и эффективнее такая же проблемная ситуация конструируется, когда заряд одного из шариков вначале был равен нулю, и нулю же была равна энергия его взаимодействия с другим. При этом можно обойтись и без проводника, сближая шарики до соприкосновения. После него заряд каждого из шариков станет равен половине первоначального Q , т.е. $Q/2$, а потенциальная энергия взаимодействия зарядов пропорциональна его квадрату, делённому на расстояние между шариками, что заметно больше исходной: $W_{вз} = k (Q/2)^2/r$.

Для точечных зарядов эта проблема не разрешима, а для шариков сколь угодно малого конечного радиуса следует ввести в рассмотрение их собственную энергию, которая пропорциональна квадрату заряда, делённому на радиус шарика (коэффициент пропорциональности здесь и выше есть кулоновская постоянная $k = 9 \cdot 10^9 \text{ м/Ф}$): $W_0 = Q^2/2 C = kQ^2/2 R$, где ёмкость шарика $C = R/k = 4\pi\epsilon_0 R$. С учётом собственной энергии двух шариков $W_2 = 2 W_1 = 2 k (Q/2)^2/2 R = kQ^2/4 R$ при естественном условии, что

расстояние между центрами шариков больше суммы их радиусов, полная энергия после соединения проводником уменьшится

$W_0 > W_2 + W_{вз}$, что можно объяснить частичным переходом её во внутреннюю при движении зарядов в проводнике или работой сил поля по разнесению зарядов на первоначальное расстояние.

К не менее глубоким выводам приводит разрешение противоречия, которое выявляется при рассмотрении взаимодействия движущихся зарядов или элементов тока, нарушающего, казалось бы, закон равенства действия и противодействия. Но коль скоро взаимодействие осуществляется через посредника (в данном случае электромагнитное поле), то и закон взаимодействия должен включать в себя физические свойства этого посредника, какими для электромагнитного поля являются наличие импульса и момента импульса.

Провоцированию противоречий способствуют не только упрощения, но и научные и методические погрешности, к сожалению, иногда присущие учебной литературе¹¹. Помимо примеров, приводимых в этой работе, укажем ряд других противоречивых утверждений, которые могут стать предметом посылки для разрешения учащимися проблемной ситуации.

Так, несмотря на то, что современные учебники уже давно цитируют написанную около 40 лет назад фразу Р. Фейнмана, о том, что «во многих книгах по электричеству изложение начинается с закона Кулона в диэлектрике, согласно которому сила взаимодействия двух зарядов в нём обратно пропорциональна диэлектрической проницаемости, а эта точка зрения абсолютно неприемлема», однако даже новые издания школьных и вузовских задачников предлагают учащимся использовать закон в таком виде для вычислений. Уже говорилось, что взаимодействие электрических зарядов в диэлектрике определяется их формой и размерами, а в тех редких случаях, когда расчёт даёт верный результат, он описывает не электрическое, а механическое действие посредством деформации диэлектрика¹².

Хорошо известна задача о разряде конденсатора на другой такой же или иной ёмкости — она имеется и в школьных, и в вузовских задачниках. В ней требуется определить энергию, затрачиваемую на образование искры. При равных ёмкостях она будто бы

¹⁰ Тез. Всесоюз. науч.-метод. конф. Донецк: ДонГУ, 1990. С. 20–21.

¹¹ Там же. С. 103–103.

¹² Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. М.: Мир, 1977.

уносит половину запасённой первоначально энергии. Не менее известно, что для пробоя воздуха и образования искры необходима напряжённость поля около 3 МВ/м, что вовсе не обеспечивается условиями задачи. Автоэлектронная эмиссия для вакуумного пробоя требует напряжённости порядка ГВ/м. Кроме того, возможно и безыскровое соединение проводников, поэтому задача превращается в проблему — куда исчезает до половины запасённой энергии?

Если в цепь разряда включить активное сопротивление, то расчёт джоулевых потерь на нём полностью снимает проблему, так как на сопротивлении выделяется в точности половина энергии. Однако замена проводника сверхпроводником ставит проблему заново. Эта ситуация очень похожа на ту, с которой сталкивались при рассмотрении сообщающихся сосудов с идеальной жидкостью, полная энергия которой складывается из кинетической и потенциальной энергий её свободных колебаний. Аналогично, инерционный индуктивный элемент цепи, запасая энергию магнитного поля контура, при малой индуктивности приведёт к быстрым колебаниям заряда, тока и напряжения. Открытость же контура обеспечит излучение энергии в окружающее пространство.

На занятиях по электростатике может быть сформулирован вопрос: почему наэлектризованные эбонитовая или стеклянная палочки притягивают кусочки бумаги, а клеммы заряженного аккумулятора или гальванического элемента такого действия не оказывают? Проблема разрешается при расчёте значений напряжённости и потенциала электростатического поля, необходимого для преодоления силы тяжести даже столь малых предметов.

Проблемными окажутся предположения о возможном притяжении одноимённо заряженных тел, о действующей на заряд силе в отсутствие поля в точке, в которую он помещается, и действии наэлектризованной палочки на магнитную стрелку, которые разрешаются рассмотрением явлений, объясняемых электростатической индукцией.

Можно продемонстрировать экспериментальную ситуацию: лампочка от карманного фонарика, соединённая последова-

тельно с обычной лампой накаливания, перегорает при включении этой цепи в сеть, но может светить, не перегорая, если её подключить последовательно к уже горячей лампе накаливания. Возникающая при этом проблема становится отправной точкой для обсуждения вопроса о существенной зависимости сопротивления проводников от температуры.

В соответствии с первым законом Фарадея, масса выделившегося на электродах вещества пропорциональна силе тока и времени электролиза. Затраченная же на это энергия пропорциональна ещё и приложенному напряжению, поэтому представляется возможным, что она может оказаться небольшой при достаточно малом напряжении между электродами. Это кажется вступающим в противоречие с законом сохранения энергии, например, при электролизе воды, когда образовавшаяся гремучая смесь позволит выделить значительную энергию при её взрыве. Разрешает противоречие то, что для движения ионов приложенное к электролиту напряжение должно создавать в нём поле, превышающее поле поляризационных зарядов, возникающих на его поверхности.

Утверждение, что сила Лоренца не совершает работы (над свободным зарядом, что обычно не акцентируется), приводящее к противоречию и разрешаемое в вузовских учебниках при определении работы силы Ампера (суммы сил Лоренца), позволяет создать проблемную ситуацию на доступном школьникам уровне. Она возникает, например, при рассмотрении движения в магнитном поле перпендикулярно вектору магнитной индукции двух разноименных зарядов, связанных между собой лёгкой пружиной. Под действием силы Лоренца они отклоняются в разные стороны, и пружина будет растянута, что сообщит ей дополнительную потенциальную энергию, источник которой поначалу покажется неопределённым. Изменение энергии пружины сопровождается уменьшением потенциальной энергии взаимодействия зарядов при увеличении расстояния между ними и уменьшением их кинетической энергии, поскольку при отклонении от первоначального направления появляется составляющая скорости, которая будет уменьшаться под действием растягиваемой пружины.

Законы электростатики, полученные для точечных зарядов, не все и не всегда применимы для реальных заряженных тел. На этом строится довольно много проблемных ситуаций. Так, сила взаимодействия между ними при их сближении может даже уменьшаться, если одно из них имеет отверстие, в которое проникает другое. Тела могут притягиваться друг к другу, даже если заряжено только одно из них — благодаря электростатической индукции. Притягиваться могут даже одноимённо заряженные тела на небольшом расстоянии, а сила взаимодействия между ними оказывается меньше, чем между разноимённо заряженными при прочих равных условиях.

Выше обсуждались проблемы, связанные с изменением энергий заряженных конденсаторов при их соединении. Пожалуй, более важен парадокс, связанный с её происхождением: энергия каждой пары разноимённых зарядов отрицательна, а энергия конденсатора, содержащего разноимённо заряженные пластины, положительна. Связано это, в первую очередь, с тем, что для зарядов нулевой уровень потенциальной энергии принято определять на бесконечности, а для пластин конденсатора — на нулевом расстоянии, поскольку поле равномерно распределённых зарядов не имеет при этом особенностей. Потенциальная энергия взаимодействия в каждом случае определяется как работа поля по перемещению зарядов или пластин в положение с нулевой энергией. Остаётся сожалеть, что на эти обстоятельства в учебной литературе не обращается внимания, что ведёт в рассмотренных ситуациях к острым противоречиям, разрешение которых важно для понимания существа вопроса и способствует его усвоению.

Уже в школьных учебниках следует приводить утверждение о том, что сила Ампера, действующая на проводник в однородном магнитном поле, не зависит от формы проводника, а это доказывается методами элементарной геометрии приблизительно так же, как потенциальность сил тяжести или электростатического поля. Это свойство снимает проблему решения многих, казавшихся сложными, задач. С обоснованием работы силы Ампера и связанными с ней противоречиями соотносится немало проблемных ситуаций, которые доступны учащимся.

Некоторые утверждения ряда школьных учебников о взаимосвязи векторов электрического и магнитного полей в электромагнитной волне порождают немало проблемных ситуаций. Каждое из полей максимально там, где скорость изменения другого равна нулю, и наоборот, а учащимся часто объясняют, что одно из полей тем больше, чем быстрее меняется другое. Связанные с каждым из полей части энергии волны обращаются в нуль одновременно, что противоречит утверждениям об их взаимопревращении, вполне справедливом для колебательного контура.

Понятный результат получится, если рассмотреть поля не стоячей, а бегущей волны плотности заряда в проводнике. Тогда будет видно, что максимумы магнитной индукции и напряжённости электрического поля будут одновременно наблюдаться в максимумах плотности заряда, только первая будет пропорциональна ещё и скорости их движения, т.е. силе тока. При этом легко убедиться, что векторы полей взаимно перпендикулярны и оба перпендикулярны направлению распространения волны. Интересно, что в механической волне наблюдается аналогичная картина: максимумы кинетической энергии частиц среды и потенциальной энергии её упругих деформаций совпадают во времени, на что редко обращается внимание.

С энергией магнитного поля может быть связано не меньше проблемных ситуаций, чем с энергией электрического, поскольку обе они неаддитивны. Если вложить один в другой соленоиды с одинаковым значением поля, то энергия учетверяется (вместо ожидаемого сложения), а если направления полей противоположны, то она обращается в ноль. Проблема в том, откуда берётся энергия в первом случае и куда исчезает во втором. При этом учёт работы внешней силы только усугубляет положение: она отрицательна в первом случае и положительна во втором. Для понимания физической сущности явления вместо соленоидов можно рассмотреть отдельные витки или два параллельных проводника с противоположным направлением токов. Для их сближения нужно совершить работу против силы Ампера, отталкивающей проводники друг от друга. При сближении каждый проводник пересекает магнитное поле другого, в них

индуцируются ЭДС и индукционные токи, препятствующие изменениям магнитного потока. Индукционные токи вызывают дополнительный нагрев проводников, на это и расходуется запасаемая энергия.

При внесении внутрь соленоида ферромагнитного сердечника в соответствии с известными формулами энергия магнитного поля возрастает в тысячи раз, хотя работа внешних сил при этом отрицательна — сердечник и без них втянется в соленоид. Только понимание процессов в магнетике и характера изменений тока в соленоиде позволит разрешить противоречие. Внесение сердечника приводит к увеличению индуктивности соленоида, магнитного поля в нём и, соответственно, магнитного потока. Появляется индукционный ток, резко изменяющий ток в цепи, который затем медленно устанавливается до равновесного значения, намагничивая сердечник. Во всех этих случаях необходимая энергия потребляется от источника тока в соответствии с сопротивлением внешней цепи или выделяется на нём.

К понятию относительности магнитного поля легче подойти, если рассмотреть вопрос о его значении (показании измеряющего поле прибора) в системе отсчёта, движущейся со скоростью электронов в электронном пучке либо со скоростью дрейфа зарядов в проводнике. В первом случае измеряемое поле будет равно нулю, но во втором кажущийся таким же вывод окажется неверен. Противоречивость результатов возникает из-за того, что относительно движущейся системы отсчёта с той же по модулю скоростью дрейфа начинают двигаться положительные ионы проводника, создавая такое же магнитное поле, какое создавалось бы движущимися электронами.

Традиционная система изучения основ геометрической, волновой и квантовой оптики имеет существенный недостаток, который заключается в их искусственном разделении и формировании ложных представлений об отсутствии у них единого предметного поля. Между тем и волновая, и квантовая природа света имеют отношение к механизмам возникновения и построения изображений в оптических системах, содержащих зеркала, призмы, линзы и т. п. Само понятие светового луча, фундаментального в геометрической оптике, не моделируется

предельно узкими пучками света, рассмотрение которых почти всегда приводит к противоречиям. Волновая оптика определяет световой луч как линию (прямую или кривую), перпендикулярную волновому фронту, и не ставит даже вопроса о его размерах. Получение изображения в любой оптической системе является интерференционным эффектом, который не требует привлечения геометрической оптики. Но преобразование волновых фронтов в оптических системах сопровождается соответственным преобразованием нормальных к ним лучей, что, как следствие, ведёт к геометрическим законам этих преобразований, одновременно устанавливая границы их применимости.

Интерференция света, приводящая к перераспределению потоков энергии по направлениям в пространстве, в тонкой плёнке уменьшает область пространства до безъёмной поверхности, на которой противофазные волны гасят друг друга, что сразу ставит вопрос о том, куда при этом исчезает их энергия. Крайне противоречивая, но интересная проблема возникает, когда на диэлектрический слой нанесён идеальный отражатель, а толщина слоя такова, что отражённые от двух границ слоя волны оказываются в противофазе и должны полностью гаситься при интерференции.

Решение граничной задачи приводит к вполне однозначному результату — полному отражению, а принцип интерференции разрешает эту проблему только с учётом бесконечного числа многократных отражений¹³. Их учёт не требовался при отражении от плёнки, нанесённой на прозрачный диэлектрик, от поверхностей которых отражалась малая часть энергии волны, и на это обстоятельство, как правило, внимания не обращалось.

Введение предусмотренного обязательным минимумом содержания среднего (полного) общего образования изучения теплового излучения внесёт в обучение проблемные ситуации, разрешение которых затруднено даже в курсе общей физики вуза. К ним приводит, в частности, распространение законов равновесного теплового излучения на любые другие виды, что

¹³ **Идиатулин В.С.** О реализации современных принципов проблемного обучения // Физическое образование в вузах. 2001. Т. 7. № 2. С. 34–49.

позволяет утверждать даже в вузовских учебниках о том, что раскалённый добела фарфор будет темнее покрытых чёрной сажей его участков, а также рассуждать о быстрейшем остывании тёмной чашки по сравнению с блестящей. Опыт не всегда подтверждает этого хотя бы потому, что максимум излучения тёплых тел лежит в далёкой инфракрасной области, где обе чашки, скорее всего, одного «цвета». Необходимо чётче различать чёрные и белые тела по степени поглощения света их поверхностью и тёмные и светлые (яркие) — по степени излучения.

Гипотезу квантов в проблемном ключе уместней выдвигать для разрешения противоречий опытных законов фотозффекта с волновой теорией света. На языке фотонов более доступно и понятно объяснение светового давления, его зависимости от коэффициента поглощения среды, а тепловые радиационные эффекты способны настолько запутать ситуацию, что окажется: демонстрационный радиометр будет вращаться в сторону, противоположную вызываемой световым давлением.

Формула де Бройля в применении к макрочастицам трактуется как дающая неизмеримо малую длину волны при обычных скоростях из-за большей их массы, хотя каждый может увидеть из неё же, что длина волны любого тела будет весьма велика, если стоящая в знаменателе его скорость близка к нулю. Разрешает ситуацию оценка такой скорости при самых низких достигнутых температурах: даже при рекордно низкой температуре в 10^{-9} К длина волны пылинки массой 1 мг не превысит 10^{-16} м из-за пусть и весьма малой скорости её броуновского движения.

Закон радиоактивного распада, согласно которому за 10 периодов полураспада число радиоактивных ядер уменьшается более чем в 1000 раз, при обращении в прошлое

демонстрирует столь же быстрый рост их числа и легко приводит к выво-

ду, что уже в обозримые времена на планете любого радиоактивного вещества могло быть много больше, чем всякого другого: оценка В.Н. Ланге¹⁴ для 1 кг радия даёт во время возникновения Земли его массу более $10^{1000000}$ кг! Приведённый пример блестяще показывает, какие нелепые результаты можно получить из формального (если не сказать — формульного) применения физических законов, не вникая в суть описываемых ими явлений. Находящийся на планете радий является не ещё не распавшимся остатком его первоначального количества, а продуктом распада весьма долгоживущих радиоактивных элементов (урана и тория).

Везде говорится о выделении ядерной энергии при делении тяжёлых ядер, хотя ядерные силы связывали продукты деления на малых расстояниях, а отталкивают их и сообщают им кинетическую энергию силы электростатические. Едва ли можно признать, что при перерезании нити, удерживающей пружину в сжатом или растянутом состоянии, освобождается энергия, запасённая в нити, а не энергия упругой деформации пружины. К этому стоит добавить, что инертная масса одна и та же во всех инерциальных системах отсчёта. То же самое относится и к гравитационной — это можно легко увидеть из рассмотрения двух заряженных тел в разных ИСО, когда их гравитационное притяжение уравновешено кулоновским отталкиванием. Коль скоро заряд является инвариантом, т.е. одинаков во всех системах отсчёта, то и масса неизменна, а все расчёты её возрастания по релятивистским формулам бессодержательны.

Проблемность обучения вносит в класс дух соревнования, повышенный эмоциональный настрой, вызывает внутренний интерес, состояние мозгового штурма. Фактор времени позволяет переносить поиск разрешения противоречия на другие виды занятий, на самостоятельную работу. Это ведёт к большей связности учебного процесса, к ожиданию развязки даже пассивными учениками, эмоционально вовлечёнными в общий учебный процесс. □

¹⁴ Ланге В.Н. Физические парадоксы и софизмы: Пособие для учащихся. М.: Просвещение, 1978.