

4. Взаимодействие тел

В этой важной для формирования миропонимания теме опираться на предыдущий материал не получается. Единственное важное понятие, за которое нужно держаться, это проработанное ранее понятие равномерного прямолинейного движения. Может быть, удастся использовать идею учета погрешностей при выборе динамической модели, когда будем анализировать конкретные ситуации. В остальном здесь приходится вводить массу новых понятий. Их настолько много, что трудно надеяться на усвоение нового материала. Также трудно надеяться на поддержание на занятиях выработанного ранее стиля профессионального введения в физику, когда всё новое проверяется на ощупь, с помощью количественных экспериментов. Приходится скатываться на уровень качественных экспериментов, что и предлагается в задачнике Лукашика. Мне приходится идти на поводу у авторов розданных учащимся учебных пособий и на поводу школьной программы. Поэтому в данном разделе я буду описывать не столько собственные усилия и приёмы, сколько получаемый от учащихся отклик на мои усилия и на усилия авторов учебных пособий.

4.1. Физическая картина взаимодействия тел

Декларируем нашу главную задачу в данном разделе программы: распознавать причины, по которым движение имеет тот или иной характер в конкретных условиях.

Сразу предупреждаем: не надо пытаться отвечать на вопрос "Почему этот предмет движется равномерно и прямолинейно?". На такой детский вопрос никто не знает ответа. И, скорее всего, никогда не узнает. Естествознание за много веков своего развития пришло к замечательной догадке – для равномерного прямолинейного движения никаких причин не надо. Природным объектам свойственно двигаться равномерно прямолинейно (или покоиться). Это первый пример фундаментального закона природы. Когда мы что-то твёрдо знаем о природных объектах, но никто не может сказать, почему это так, тогда мы и говорим "Это фундаментальный закон природы".

Конечно, сразу это не вызывает большого доверия у публики. Успокаиваем недоверчивых тем, что они находятся во вполне приличной компании. Аристотель, например, считал, что любое движение, раз начавшись, когда-то обязательно заканчивается. И, вроде бы, был прав.

Конечно, сразу это не очень понятно. Поэтому предлагаем другие формулировки. Наиболее полезной оказывается та, что приводится в учебниках под маркой закона инерции. Её же ошибочно принимают за формулировку первого закона Ньютона.

1. Тело сохраняет состояние равномерного прямолинейного движения (или покоя), пока другие тела не вынудят его изменить величину или направление скорости.

Эта мысль более понятна. С её помощью удаётся решить ряд задач из раздела 8 *Инертность тел* задачника Лукашика. Например, задачи 133, 138. Частично задачу 145 (можно объяснить, почему трактор, ведя на тропе автомашину, не должен резко тормозить. Но нельзя объяснить, почему он не может резко прибавить скорость). Частично задачу 147. (Можно объяснить, почему груз, сброшенный с летящего самолёта, продолжает движение вперёд. Но неясно, почему он падает по столь сложной траектории.

Приходится знакомить учащихся с идеей разделения сложного движения на составляющие).

Однако сразу отметим, что применение закона инерции к решению конкретных задач у настоящего физика вызывает протест. Дело в том, что в реальной действительности трудно найти изолированное тело, которое движется по инерции. При построении модели для такого конкретного движения можно сказать "Другие тела на данное тело действуют столь слабо, что в пределах ошибок наблюдения мы можем считать его свободным". Но приходится такую модель заворачивать во множество дополнительных оговорок, требующих введения новых понятий.

Такова задача 133 из Лукашика. *Мяч, спокойно лежавший на столе вагона при равномерном движении поезда, покатился вперёд по направлению движения поезда. Какое изменение произошло в движении поезда?*

Хорошая задача. Но приходится говорить о разделении движений. В горизонтальном направлении происходят вполне понятные явления. При торможении поезда мяч никто не толкает и не тянет, вот он и продолжает равномерно двигаться по горизонтали. Для пассажира, связанного с неинерциальной системой отсчёта, он служит акселерометром. Но по вертикали на мяч всё время действуют Земля и опора. По закону инерции это должно бы приводить к изменению характера движения, но не приводит. Следовательно, ограничиваясь здесь законом инерции, мы даём слушателям не всю информацию о воздействиях на исследуемый объект. Тем самым мы их обманываем. И это делается систематически, если решать задачи так, как это предполагается в разделах 8 и 9 у Лукашика.

По-хорошему надо бы честно сказать учащимся, что закон инерции – это замечательная мысль, проясняющая природу вещей. Но такая ясность достигается в идеализированном мире, свободном от сил трения. А в реальном мире равномерное прямолинейное движение случается отнюдь не потому, что на объект наблюдения никто не действует, а потому, что действия нескольких тел компенсируются, дают нулевую равнодействующую. А это по второму закону Ньютона даёт нулевое ускорение. Это по-хорошему, но в 7 классе не положено говорить о законах Ньютона.

Что же делать, если мы решили в 7 классе вводить учащихся в настоящую физику? Только что мы честно анализировали ошибки измерений и оценивали погрешности прогнозирования явлений. Не хотелось бы, переходя к динамике, сразу же впасть в обман, замалчивая о том, как природа прячет от нас сильные взаимодействия тел друг с другом и тем самым притворяется, что закон инерции выполняется и для неизолированных тел. Пробую предложить и своим ученикам и коллегам-учителям следующую идею.

Декларируем такое правило, которое можно назвать *одна причина – два следствия*:

2. Все механические явления случаются в результате воздействия тел друг на друга. Таким образом, взаимодействие тел - это причина механических явлений. Но одна и та же причина может приводить к двум различным по своим проявлениям, следствиям. Это 1) деформации тел и 2) изменения из скоростей как по величине, так и по направлению. Чаще всего взаимодействие тел приводит к проявлению этих двух следствий одновременно. То есть деформированные тела изменяют характер своего движения. Но бывают случаи, когда наблюдается только одно следствие. Если это только деформация, то скорости не меняются. Получается равномерное

прямолинейное движение или покой. Если это только изменение скорости, то телам совершенно необязательно менять свою форму.

Конечно, такое правило значительно сложнее закона инерции, но оно очень работоспособно. Оно позволяет решить все качественные задачи на тему *взаимодействие тел*, не прибегая к незаконным с точки зрения физика умолчаниям.

Я не обольщаюсь надеждой, что мне удастся сразу же научить своих слушателей пользоваться этим правилом. Его использование требует проследивать довольно длинную цепочку рассуждений. Но рассуждения в каждом звене этой цепочки просты и ясны. А главное, совершенно однотипны.

Но ещё важнее, что учащиеся, уже приученные мыслить моделями и проверять работоспособность моделей с помощью эксперимента, могут опереться на это правило в реальной действительности. В дальнейшем изложении я попытаюсь показать, как мы выкручиваемся на занятиях по динамике из затруднительных положений, не пользуясь первым и вторым законами Ньютона.

Для того, чтобы сделать физическую картину взаимодействия тел настолько полной, насколько это позволяет программа 7 класса, на нескольких первых занятиях вводим, кроме упомянутых закона инерции и правила *одна причина - два следствия*, следующие представления.

2. В природе обычно взаимодействуют сразу множество тел. Получается куча мала. И разобраться в том, кто виноват в наибольшей степени, трудно. Но природа идет нам навстречу и позволяет резко упростить картину. **Можно всю кучу разделить на пары взаимодействующих тел, разобраться, что происходит в каждой паре, а затем механически сложить результаты, возникающие в парах.** Ибо мир устроен так, что одно воздействие на тело не мешает проявляться другому воздействию. Физики знают это важное правило под именем принципа суперпозиции, но мы, естественно, не произносим в 7 классе таких страшных слов.

3. В пару взаимодействующих тел могут входить какие угодно природные объекты. Совершенно разнородные и неравноценные. И на каждом из двух тел результаты взаимодействия могут сказаться совершенно по-разному. И это, конечно, сложно. Но природа опять идет нам навстречу и позволяет резко упростить картину. Для этого надо ввести понятие силы как интенсивности воздействия. Для этого достаточно мысленно или реально поместить между взаимодействующими телами какие-то пружины и обратить внимание на их растяжение-сжатие. Детям это вполне понятно. Пользуясь этим, **формулируем положение о равноправности двух взаимодействующих тел.** Фактически мы даём формулировку третьего закона Ньютона, но не произносим многих терминов. Достаточно рисунка, на котором изображены два взаимодействующих тела и векторы приложенных к ним сил.

4. Понятие упругости тела воспринимается легко, поскольку его можно ощутить на ощупь. Сразу становится понятно, что **при взаимодействии двух тел их деформации могут быть разными, несмотря на равенство сил.**

5. Понятие массы тела тоже воспринимается легко, поскольку можно ощутить на ощупь связанный с массой вес тела. Декларируем, что **при взаимодействии двух тел их скорости могут изменяться в зависимости от их масс.** Не даём второй

закон Ньютона, но просим на слово поверить, что **при ударе или столкновении выполняется соотношение**

$$m_1\Delta v_1 = m_2\Delta v_2,$$

не называя его законом сохранения импульса.

Таким образом, понадобилось 5 новых положений, чтобы провести честный физический анализ всех динамических ситуаций, предусмотренных программой 7 класса. Посмотрим теперь, насколько работоспособны эти положения.

4.2. Анализ следствий из физической картины взаимодействия тел

Стараемся выдержать предложенный ранее стиль подачи нового физического материала через эксперимент и его обсуждение. Динамический эксперимент неизмеримо сложнее всего, что у нас было раньше. Поэтому считаем вполне уместным опираться не только на специально поставленные опыты, но и на жизненный опыт, когда есть уверенность, что учащиеся прочувствовали и прочувствовали ситуацию, предлагаемую для обсуждения. Общий результат наших занятий, проведенных в такой манере, выглядит так: на занятиях и дома учащиеся проработали **все задачи** из разделов 8, 9, 11 и 12 задачника Лукашика. Кроме того, нами придуманы и поставлены дополнительные опыты. При этом важно, что я давал только некий общий план возможных опытов, а конкретные эксперименты проводили учащиеся. Все эти задачи и опыты обсуждались на занятиях. Обсуждения показали, что в простых случаях учащиеся умеют пользоваться цепочками рассуждений, основанными на правилах **1 - 5**. В сложных случаях приходится помогать, но понимание достигается во всех случаях. Далее приведены примеры того, как мы анализировали конкретные динамические ситуации.

4.2.1. Демонстрационный эксперимент.

Демонстрируем проявление **правила 2**: одно воздействие вызывает два следствия. Тяжелая гиря скреплена со сравнительно мягкой пружиной. Я держу один конец пружины, слегка натягивая её вверх, а гиря покоится на столе, но оказывает на стол малое давление. Можно слегка постучать гирей по столу для наглядности. Договариваюсь с аудиторией, что в данном эксперименте мы будем гирию вместе с прикрепленной к ней пружиной рассматривать как одно физическое тело. Дёргаю за пружину вверх. Всем видно, что на короткое время пружина растянулась. Значит, моё воздействие привело к деформации тела. Также всем видно, что за короткое время ранее покоившееся тело приобрело скорость. Значит, моё воздействие привело к изменению характера движения тела. Тем самым продемонстрирован общий случай, когда воздействие нескольких природных тел (я и Земля) на исследуемое тело привело сразу к двум следствиям – к деформации и ускорению.

Упрощаем ситуацию. Гиря лежит на столе, а привязанную к ней пружину только поднимаем вертикально, но не натягиваем. Гиря при этом довольно сильно давит на стол. В этом можно убедиться непосредственно. Приподнимаем гирию за пружину. Пружина растягивается. Сейчас на исследуемое тело действую я и Земля, но не совсем так, как в первом варианте опыта. Характер движения тела не изменился, но оно деформировано.

Ещё больше упрощаем ситуацию. Гирия лежит на моей ладони, а привязанную к ней пружину только поднимаем вертикально, но не натягиваем. Гирия при этом довольно сильно давит на ладонь. В этом можно убедиться непосредственно. Убираем ладонь и одновременно отпускаем пружину. За короткое время падения гири с привязанной пружиной можно успеть заметить, что пружина остаётся нерастянутой. Сейчас на исследуемое тело действует только Земля, но не совсем так, как в первом и во втором вариантах опыта. Характер движения тела изменился – оно приобретает и наращивает скорость, но оно не деформировано.

Этот эксперимент очень наглядно проясняет всю природу механического взаимодействия тел. При этом очень прост и дешёв.

Конечно, принятую здесь модель составного тела можно усложнять и уточнять, но лишь затем, чтобы убедиться – усложнения нам ничего нового не дадут. С другой стороны, наше исследуемое тело может служить физической моделью для анализа более серьезных ситуаций. Например, в демонстрационном эксперименте мы можем не учитывать деформации тела, подвешенного на пружине. Но когда парашютист после затяжного прыжка раскрывает парашют, рывок приводит к заметной деформации тела парашютиста. Становится ясно, почему этот рывок такой болезненный.

4.2.2. Эксперимент, предложенный в задаче 134 Лукашика

Предлагается положить на стакан почтовую открытку, а на открытку - монету. Если ударить по открытке щелчком в горизонтальном направлении, то монета падает в стакан. Надо это объяснить.

У нас нашелся и стакан, и монета, и открытка. Если щёлкали ловко, то получалось по Лукашику. Если щёлкали неловко, то получалось как угодно.

Научившись щёлкать ловко, мы усложнили ситуацию тем, что положили монету не над центром стакана, а поближе к его краю. И тогда даже при ловком щелчке монета всегда падала не в стакан, а на стол.

Объяснение по Лукашику предполагает использование закона инерции. Открытка щелчком быстро выливается из-под монеты, а та по инерции остаётся на месте. Вдруг начавшая действовать сила тяжести заставляет монету падать вертикально вниз, и она оказывается в стакане, а открытка - на столе. Всё легко и просто. Даже изящно.

Но почему результат этого простого опыта вдруг зависит от начального положения монеты относительно края стакана? Монета лежит над центром стакана, и закон инерции выполняется. Монета лежит не над центром стакана, и закон инерции не выполняется. Какой-то странный закон.

Анализируем эти две различные по результатам ситуации с помощью честной и последовательной цепочки рассуждений. Получается вот что.

Перед щелчком на монету по вертикали действуют Земля и открытка. Эти воздействия уравновешиваются, и монета находится в покое. Когда мы щёлкаем по открытке, к двум вертикальным воздействиям добавляется горизонтальное – трение между движущейся открыткой и монетой приводит к изменению скорости монеты. Монета начинает двигаться туда же, куда летит открытка. Сила трения не так уж велика и действует очень короткое время. Поэтому следствием горизонтального толчка является малая скорость

монеты. Как только открытка выскочила из-под монеты, в вертикальном направлении действует только Земля. Монета падает вертикально и медленно смещается по горизонтали. Если монета находилась далеко от края стакана, то сумма этих двух движений не сумеет забросить её за край стакана, и монета будет поймана. Если монета находилась близко от края стакана, то сумма этих двух движений сумеет забросить её за край стакана, и монета не будет поймана.

Ясно, что наш анализ более содержателен. Он позволяет прогнозировать результаты многочисленных вариантов этого опыта. А учащиеся уже знают, что работа физика как раз состоит в том, чтобы прогнозировать как можно более широкий круг явлений, аналогичных некому классу изученных явлений.

4.2.3. Учащиеся самостоятельно поставили опыты и сочинили задачи

Это известный опыт с гирей, подвешенной на нити. К гире снизу прицеплена вторая нить. Если дернуть за нижнюю нить, то она и рвётся. Если потянуть за нижнюю нить, то рвётся верхняя нить. Этот опыт имел большой успех. Но мы опять-таки его усложнили, подвесив вместо гири сравнительно лёгкий предмет. Тогда во всех случаях устойчиво рвётся верхняя нить.

Одна из придуманных учениками задач. Почему падающий на пол упругий предмет отскакивает и снова поднимается на некоторую высоту. Почему Земле не удаётся сразу уложить его на пол?

Всё это мы разобрали и поняли. Похоже на успех предприятия.