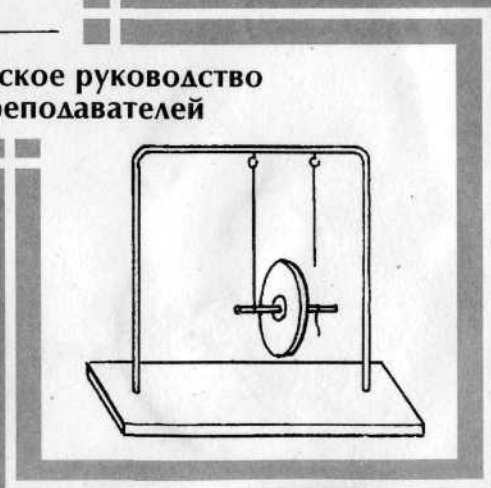


ЛЕКЦИОННЫЕ ДЕМОНСТРАЦИИ ПО ФИЗИКЕ

Часть I: МЕХАНИКА, МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА



Методическое руководство
для преподавателей



Настоящее издание содержит описания лекционных опытов, иллюстрации к ним и методические рекомендации.

Данная работа адресована лекторам, читающим курс общей физики во втузах, аспирантам кафедр физики, ассистентам - демонстраторам опытов.

Составитель Ю.Е.Невский, канд. физ.-мат. наук, доц.

Рецензенты: А.А.Харьков, канд. физ.-мат. наук, доц.,
Д.Д.Березиков, канд. физ.-мат. наук, доц.

Работа подготовлена на кафедре прикладной
и теоретической физики

Оглавление

Стр.

Введение.....	5
I. Механика.....	7
I.1. Независимость движений по вертикали и по горизонтали при свободном падении тел.....	7
I.2. Инерция гири.....	7
I.3. Выдергивание скатерти.....	9
I.4. Движение центра масс.....	9
I.5. Движение тела по мертвой петле.....	10
I.6. Законы Ньютона.....	10
I.6.1. Демонстрация второго закона Ньютона.....	11
I.6.2. Демонстрация третьего закона Ньютона.....	12
I.7. Центробежная сила.....	12
I.8. Маятник Фуко.....	13
I.9. Сила Кориолиса.....	14
I.10. Закон сохранения импульса.....	14
I.11. Сохранение импульса при расталкивании шаров пружиной.....	14
I.12. Упругий удар.....	14
I.13. Упругий удар шаров.....	15
I.14. Неупругий удар.....	16
I.15. Неупругий удар шаров.....	16
I.16. Реактивная тележка.....	16
I.17. Векторная модель момента силы и момента импульса.....	17
I.18. Маятник Обербека.....	18

1.19. Демонстрация закона сохранения момента импульса с помощью скамьи Жуковского.....	19
1.20. Скатывание цилиндров с наклонной плоскости.....	20
1.21. "Послушная" и "непослушная" катушки.....	21
1.22. Маятник Максвелла.....	22
1.23. Свободные оси вращения.....	22
1.24. Вращение рамки с грузами.....	23
1.25. Гироскопический эффект. "Волчок".....	24
1.26. Гироскопический эффект. Велосипедное колесо.....	25
1.27. Гироскоп на шарнирном подвесе.....	25
1.28. Гироскоп, подвешенный на нитях.....	26
2. Молекулярная физика и термодинамика.....	26
2.1. Доска Гальтона.....	26
2.2. Внутреннее трение в газах.....	27
2.3. Фазовый переход жидкий кристалл-изотропная жидкость.....	28
2.4. Охлаждение при адиабатическом расширении.....	30
2.5. Критическое состояние.....	31
2.6. Кипение при охлаждении.....	32
2.7. Дифракция паров аммиака в воздухе.....	32
Литература.....	33

Введение

Курс общей физики, читаемый на младших курсах высших технических заведений, является преимущественно экспериментальным. Лекционные демонстрации представляют собой неотъемлемую органическую составляющую этого курса.

Кроме непосредственно лекционных демонстрационных опытов на лекциях могут быть использованы плакаты, слайды, видеозаписи, компьютеры. Однако во всех тех случаях, когда рассматриваемое явление возможно продемонстрировать непосредственно в лекционном опыте, ему следует отдать предпочтение.

Лекционные демонстрации активизируют познавательную деятельность студентов, вызывают интерес, воздействуя как на умственную деятельность, так и на воображение.

Для того чтобы применение лекционных демонстраций было наиболее эффективным, они должны удовлетворять следующим требованиям:

1. Принцип работы установки должен быть ясен и прост, чтобы за несколько минут он мог быть четко изложен студентам и воспринят ими.

2. Приборы установки и рассматриваемое явление должны быть хорошо видны всей аудитории. При демонстрации мелких объектов применяется проекция их увеличенного изображения на экран. Можно также наблюдать увеличенное изображение мелких объектов с помощью видеокамеры на экране телевизора.

3. Приборы на демонстрационном столе должны быть расположены по возможности равномерно. На первом плане надо располагать те приборы, за показаниями которых должна следить аудитория. Вспомогательные приборы должны располагаться на втором плане, либо внутри стола, чтобы не отвлекать студентов от наблюдения главного.

4. Устанавливать приборы на столе следует таким образом, чтобы демонстратор мог производить необходимые манипуляции, стоя сзади стола, а не перед столом, чтобы не заслонять приборы.

5. Прежде чем показать опыт, надо четко объяснить, что и где студенты должны наблюдать, на что особенно обратить внимание. При необходимости сделать поясняющие рисунки и записи на доске.

6. Опыты предпочтительно показывать в процессе чтения материала, а не в качестве иллюстрации по окончании какой-либо темы.

Кабинет лекционных демонстраций НГТУ располагает большим набором установок для лекционных опытов по различным разделам физики. Значительная часть этих установок была создана силами преподавателей кафедры прикладной и теоретической физики и кафедры общей физики.

Кабинет лекционных демонстраций, где хранятся и готовятся лекционные демонстрации, представляет собой одну из сложных лабораторий с многочисленными приборами и оборудованием. Для поддержания высокой работоспособности, для обеспечения высокого технического и методического уровня установок необходимы усилия всего коллектива физических кафедр.

Из имеющихся публикаций по лекционным демонстрациям наиболее фундаментальной является монография [1], в которой описаны более 500 опытов, демонстрируемых на лекциях по физике в МГУ, разработанных и поставленных там на протяжении последнего столетия. Целый ряд новых опытов описан в работах [2,3]. Имеется обширная литература по этому вопросу в виде отдельных статей в различных журналах. Однако до сих пор не существует серийного набора установок для лекционных демонстраций с соответствующими описаниями. Каждый вуз изготавливает свои демонстрационные установки.

Преподаватели, читающие физику в вузе, должны знать парк установок для лекционных демонстраций, возможности этих установок, методику проведения опытов. С этой целью отдельные вузы выпускают пособия с описанием установок для лекционных демонстраций и методические указания к ним [4].

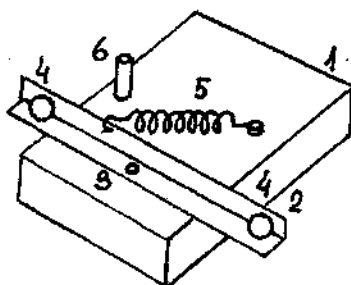
Настоящее издание содержит описания лекционных демонстрационных установок и методические рекомендации по проведению опытов. Такая книга необходима прежде всего преподавателям, читающим лекции по физике, особенно начинающим лекторам. Книга может быть полезна аспирантам и другим сотрудникам кафедр физики.

I. Механика

1.1. Независимость движения по вертикали и по горизонтали при свободном падении тел

Конструкция прибора для демонстрации опыта показана на рисунке.

Основанием прибора служит деревянный брусок 1. Металлический уголок 2 расположен горизонтально и может поворачиваться относительно вертикальной оси 3. На концах уголка имеются небольшие лунки, в которых находятся стальные шарики 4. В исходном, застопоренном положении, пружина 5 находится в растянутом состоянии. При снятии со стопора уголок резко поворачивается на некоторый угол (до упора в ограничитель 6). При этом один из шариков выкатывается из лунки и падает вертикально вниз, а второй получает некоторый импульс в горизонтальном направлении и одновременно падает вниз.



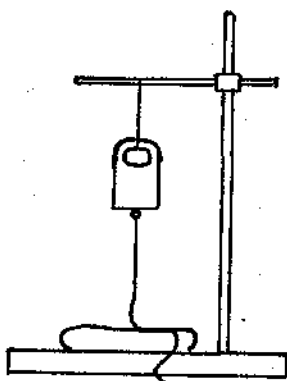
Шарики ударяются о пол одновременно. Это можно определить на слух.

1.2. Инерция гири

Инерция — свойство материальных тел, находящее отражение в первом и втором законах механики. Когда внешние силы, действующие на тело, уравновешены, инерция проявляется в том, что тело сохраняет неизменным состояние движения (или покоя) по отношению к инерциальным системам отсчета. Если же на тело действует неуравновешенная система сил, то свойство инерции сказывается в том, что изменение состояния движения происходит не мгновенно, а постепенно. При этом движение изменяется тем медленнее, чем больше инерция тела. Мерой инерции тела является его масса.

Для демонстрации инерции гири используется штатив, прикрепленный струбциной к столу. К горизонтальному стержню, укрепленному на штативе, с помощью шнура подвешена гиря массой 5 кг. В нижней части гири закреплен крючок. К этому крючку привязан второй шнур та-

кого же сечения. Прочность на разрыв шнура должна быть такой, чтобы он выдерживал силу тяжести гири, но обрывался при небольшом увеличении нагрузки.



Сила натяжения шнура зависит от его растяжения. Чем больше растяжение шнура Δl , тем больше сила натяжения T . При некотором критическом растяжении $\Delta l_{(кр)}$ сила натяжения достигает критического значения $T_{(кр)}$ и при дальнейшем увеличении растяжения шнур обрывается.

В статическом случае (очень медленное увеличение силы, приложенной к нижнему концу нижней нити) условие равновесия можно записать следующим образом:

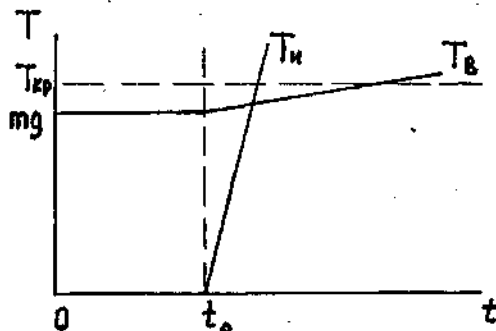
$$T_{(в)} = mg + T_{(н)},$$

где $T_{(в)}$ - натяжение верхней нити; $T_{(н)}$ - натяжение нижней нити.

Так как $T_{(в)} > T_{(н)}$, то натяжение верхней нити достигнет критического значения раньше, чем нижней. Поэтому верхняя нить оборвется и гиря упадет на стол.

Если резко дернуть за нижний шнур, то растяжение этого шнура будет увеличиваться очень быстро, и натяжение $T_{(н)}$ будет возрастать также очень быстро. Растяжение Δl верхнего шнура равно смещению гири. Однако в силу инерции смещение гири происходит постепенно, значительно медленнее, чем растяжение нижней нити. Поэтому натяжение верхнего шнура увеличивается со временем значительно медленнее, чем нижнего.

Примерная зависимость силы натяжения шнуров от времени показана на рисунке.



Здесь t_0 - время начала растяжения нижнего шнура.

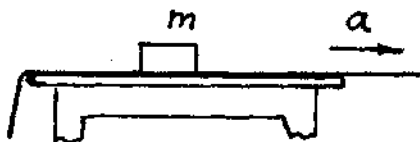
Из рисунка видно, что натяжение нижнего шнура достигает критического значения раньше, чем верхнего, откуда следует, что оборваться должен нижний шнур.

Для того чтобы смягчить удар гири о подставку штатива, под гирей следует положить мешочек с песком.

1.3. Выдергивание скатерти

Для того чтобы при ускоренном движении скатерти тело массой m двигалось вместе со скатертью, надо чтобы оно двигалось с тем же ускорением a . Движущей силой для рассматриваемого тела является сила трения, действующая со стороны скатерти. Эта сила не может быть больше, чем μmg (μ - коэффициент трения). Следовательно, максимальное ускорение, с которым может двигаться тело,

$$a_{\max} = \mu g.$$



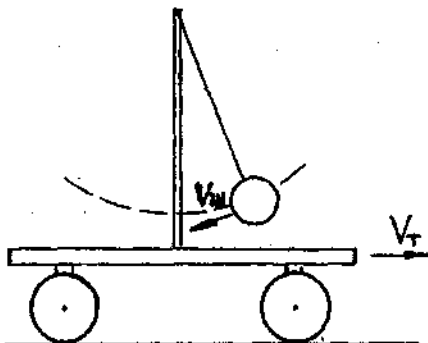
Если ускорение скатерти меньше a_{\max} , то тело движется вместе со скатертью. Если ускорение скатерти больше a_{\max} , то скатерть движется быстрее, чем тело.

При больших ускорениях a (резком выдергивании скатерти) время Δt выдергивания мало. За это время тело относительно стола успеет сместиться незначительно.

Как видно из формулы, a_{\max} не зависит от массы тела, поэтому зависимость инерции от массы тела в этом опыте не обнаруживается.

1.4. Движение центра масс

Демонстрационная установка представляет собой тележку, на которой укреплен штатив с подвешенным на нем с помощью нити шариком. Тележка стоит на горизонтальной поверхности. Если шарик привести в колебательное движение в плоскости, параллельной плоскости, в которой вращаются колеса тележки, то тележка тоже придет в колебательное движение. В то время когда центр масс шарика движется вправо, центр масс тележки движется влево, и наоборот. Следует заметить, что при выполнении этого опыта может наблюдаться



небольшое постепенное смещение центра масс в одну сторону. Это может быть связано с недостаточной горизонтальностью поверхности, на которой стоит тележка, или с несимметричностью сил трения при движении вправо и влево.

1.5. Движение тела по мертвой петле

При движении шарика по направляющим, имеющим форму окружности в вертикальной плоскости, центростремительная сила обусловлена нормальной составляющей силы тяжести и реакцией опоры. В верхней точке должно выполняться условие

$$mg + N = m \frac{v^2}{R},$$

где N - реакция опоры.

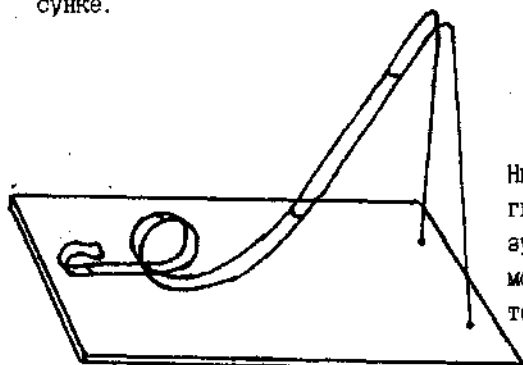
Минимальное значение скорости v в верхней точке будет при $N = 0$, следовательно,

$$v_{\min} = \sqrt{gR}.$$

При меньшем значении скорости шарик падает вниз.

Для того, чтобы скорость шарика в верхней точке окружности была равной \sqrt{gR} , высота h , с которой он скатывается, должна быть не менее $2,5 R$.

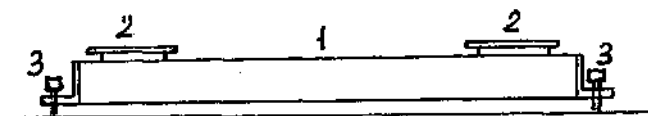
Это можно продемонстрировать на установке, показанной на рисунке.



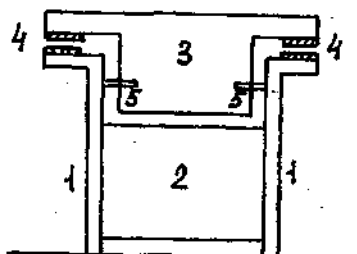
1.6. Законы Ньютона

Для демонстрации законов Ньютона, а также для ряда других опытов по механике используется стандартный учебный демонстрационный прибор с некоторыми доработками.

Основными частями прибора являются монорельс и две каретки 2. Регулировочные винты 3 служат для установки монорельса в горизонтальной плоскости.



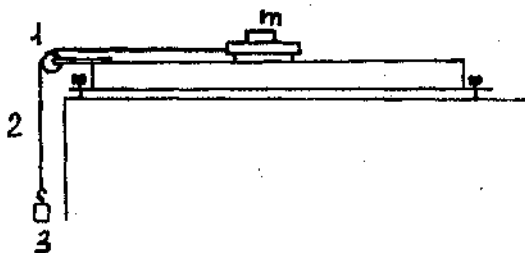
Монорельс изготовлен из алюминиевого сплава. Как показано на следующем рисунке, он состоит из двух направляющих угольников 1, соединенных перемычками 2.



Каретки 3 изготовлены из пластмассы. С нижней стороны кареток и на верхних полках угольников 1 приклеены полосы магнитной резины 4. Полосы магнитной резины монорельса и кареток обращены друг к другу одноименными полюсами и отталкиваются друг от друга. В результате каретка висит над монорельсом на "магнитной подушке", не касаясь его. Для того чтобы каретка перемещалась точно вдоль монорельса, в ее корпусе расположены направляющие ролики 5. В такой конструкции силы трения сведены к минимуму. Это позволяет успешно осуществить ряд лекционных демонстраций.

Перед началом работы с прибором монорельс следует установить строго горизонтально, чтобы исключить влияние составляющей силы тяжести, действующей на тележку вдоль монорельса.

1.6.1. Демонстрация второго закона Ньютона



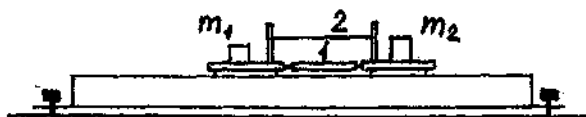
Для демонстрации этого закона на монорельсе укреплен блок 1, через который перекинута нить 2, один конец которой прикреплен к каретке, а к другому концу подвешен грузик 3. Масса m грузика 3 должна подбираться такой, чтобы ускорение, с которым он опускается, было значительно меньше ускорения силы тяжести, т.е. $a \ll g$. В этом случае можно считать, что сила натяжения нити, движущая каретку, постоянна и равна mg .

На приборе можно продемонстрировать зависимость ускорения от приложенной силы и от массы тела.

Для демонстрации зависимости ускорения каретки от приложенной силы рекомендуется использовать ненагруженную каретку и два груза массами 5 г и 10 г, поочередно укрепляемых на конце нити.

Для демонстрации зависимости ускорения от массы рекомендуется использовать прикрепляемый к нити груз массой 10 г. В одном из опытов используется ненагруженная каретка, в другом опыте на каретку следует положить груз массой 100 г.

1.6.2. Демонстрация третьего закона Ньютона



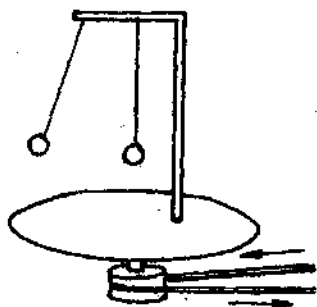
Эту демонстрацию проще всего осуществить для случая взаимодействия тел одинаковой массы.

Для этого надо взять две одинаковых каретки. Между каретками следует установить пружину 1. Пружина должна быть сжата. Это сжатие фиксируется натянутой нитью 2. Если с помощью зажженной спички пережечь нить, то пружина, разжимаясь, будет расталкивать каретки. Время действия пружины на обе каретки одинаково. Массы кареток также одинаковы. Если силы, действующие на каретки, одинаковы, т.е. выполняется третий закон Ньютона, то каретки должны приобрести одинаковые скорости и пройти одинаковые пути вдоль монорельса.

Для выполнения этого опыта очень важно отрегулировать горизонтальность уровня монорельса. При отсутствии приборов контроля уровня можно заранее опытным путем подобрать такой уровень, при котором пройденные каретками пути будут равны.

1.7. Центробежная сила

На центробежной машине с ручным приводом укрепляется диск. На диске закреплен штатив, на котором подвешены два шарика. Один из шариков находится на оси вращения, другой смещен от оси на несколько сантиметров. При вращении диска первый шарик остается на месте, а второй отклоняется вдоль радиуса, удаляясь от оси.



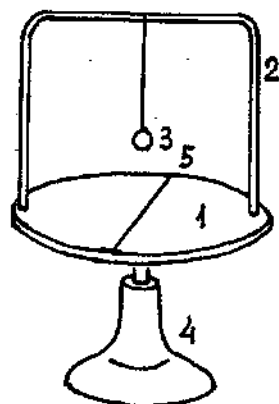
Наблюдатель в системе отсчета, связанной с лабораторией видит, что второй шарик движется по окружности, т.е. ускоренно. Это ускорение он объясняет действием радиальной составляющей силы натяжения нити.

Наблюдатель, неподвижный относительно системы отсчета, связанной с диском, видит смещение шарика вдоль радиуса. Для объяснения причины этого смещения вводится понятие центробежной силы инерции.

1.8. Маятник Фуко

В инерциальных системах отсчета причиной ускоренного движения тела могут быть только силы, действующие на данное тело со стороны других тел. В неинерциальных системах отсчета возможно ускоренное движение тел, обусловленное не воздействием других тел, а свойствами самой системы. С помощью маятника Фуко можно экспериментально определить, вращается ли данная система относительно инерциальной или нет. Таким способом Фуко экспериментально подтвердил вращение Земли.

Прибор для демонстрации маятника Фуко представляет собой круглую горизонтальную платформу 1, на которой укреплена изготовленная из толстой проволоки скоба 2. В верхней части скобы закреплена нить, на которой подвешен стальной шарик 3. Платформа укреплена на стойке 4 и может вращаться относительно вертикальной оси, проходящей через центр платформы. На поверхности платформы проведена линия 5, достаточно хорошо видимая из аудитории. Шарик 3 приводится в колебательное движение в плоскости, параллельной линии 5. Медленно вращая платформу 1, убеждаемся, что плоскость колебаний постепенно поворачивается относительно линии 5. Аналогично ведет себя маятник Фуко в системе координат, связанной с Землей. Если маятник Фуко поместить на одном из полюсов Земли, то плоскость колебаний повернется на 360° за одни сутки.



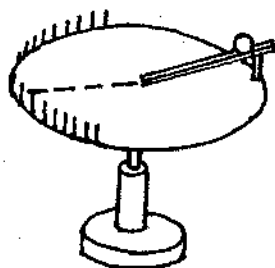
Для объяснения причины поворота плоскости колебаний с точки зрения наблюдателя, связанного с вращающейся системой отсчета, вводится понятие инерционной силы - силы Кориолиса.

С точки зрения наблюдателя, находящегося в инерциальной системе отсчета, плоскость колебаний не изменяется, а вращающаяся система отсчета поворачивается относительно этой плоскости.

1.9. Сила Кориолиса

Для демонстрации опыта используется диск, расположенный горизонтально. Диск может вращаться относительно вертикальной оси. На

диске закреплен наклонный желоб, нижний конец которого касается диска в его центре. По желобу может скатываться шарик. По краю диска вертикально укреплен ряд спичек, как показано на рисунке.



Если диск неподвижен, то шарик, скатившийся по желобу, катится дальше по радиусу и, докатившись до края диска, сбивает одну из спичек.

Если теперь повторить опыт с вращением диска, то шарик будет двигаться по кривой траектории относительно диска и собьет спичку в другом месте. Такой характер движения шарика вызван действием кориолисовой силы.

Поворот диска может осуществляться вручную или с помощью ручной центробежной машины.

1.10. Закон сохранения импульса

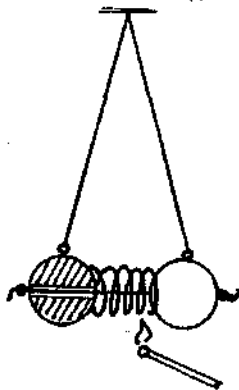
Демонстрация закона сохранения импульса аналогична демонстрации третьего закона Ньютона (1.6.2).

Если массы кареток, между которыми находится сжатая пружина, одинаковы, то при пережигании нити они расходятся с одинаковыми скоростями и, следовательно, с одинаковыми импульсами. Если на одну из кареток положить дополнительный груз, то при одинаковых полученных импульсах быстрее будет двигаться та каретка, масса которой меньше.

1.11. Сохранение импульса при расталкивании шаров пружиной

Два одинаковых стальных шарика подвешены на одинаковых длинных нитях, закрепленных верхними концами в одной точке. Между шариками установлена сжатая пружина. Сжатие пружины зафиксировано нитью.

Система находится в равновесии. Шары покоятся. Импульс системы относительно стола равен нулю. Если с помощью спички пережечь нить, фиксирующую сжатие пружины, то под действием распрямляющейся пружины шарики получат одинаковые импульсы в противоположных направлениях и отклонятся на одинаковый угол.



1.12. Упругий удар

Упругий удар можно продемонстрировать на установке, описанной в п. 1.6, с помощью кареток на магнитной подвеске, движущихся вдоль монорельса. На торце одной из кареток укрепляется пружина.

При столкновении кареток пружина сжимается, каретки тормозятся, затем пружина распрямляется и каретки расходятся одна относительно другой. Можно рассмотреть несколько частных случаев.

1. Массы кареток одинаковы ($m_1 = m_2$), первая каретка движется со скоростью v_1 вдоль монорельса, вторая каретка покоится, т.е. $v_2 = 0$. После упругого удара первая каретка останавливается. Вторая каретка приобретает скорость, равную скорости первой каретки до удара, т.е. каретки обмениваются импульсами.

2. Масса первой каретки m_1 больше массы m_2 второй каретки.

Первой каретке сообщается скорость v_1 . Вторая каретка покоится. После удара обе каретки движутся в одном и том же направлении. Первая каретка движется в прежнем направлении, но с меньшей скоростью.

Для того чтобы масса первой каретки оказалась больше, чем масса второй каретки, на первую каретку надо положить грузик.

3. Масса второй каретки m_2 больше, чем масса m_1 первой каретки. Первой каретке сообщается некоторая скорость v_1 . Вторая каретка покоится. После удара первая каретка отскакивает назад, т.е. движется в противоположном направлении. Вторая каретка движется в направлении начальной скорости первой каретки v_1 .

В этом опыте дополнительный грузик надо положить на вторую каретку.

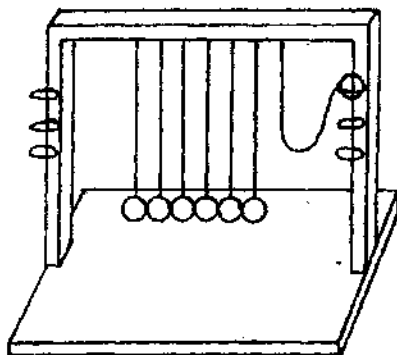
1.13. Упругий удар шаров

Для демонстрации используется установка, состоящая из подставки, на которой на параллельных нитях висят шары.

В состоянии покоя центры шаров расположены вдоль одной прямой горизонтальной линии. Соседние шары слегка касаются друг друга. На подставке сделаны гнезда, куда можно положить часть шаров, не участвующих в конкретном опыте.

На установке можно продемонстрировать следующие выводы из теории центрального упругого удара шаров:

1. Если массы шаров равны, то при ударе подвижного шара о неподвижный первый шар останавливается, а второй приобретает ту же скорость, что была у первого шара перед ударом.



2. Если масса первого, подвижного шара больше, чем второго, неподвижного, то после удара оба шара движутся в одном направлении, но с разными скоростями.

3. Если масса первого, подвижного шара меньше, чем масса второго, неподвижного, то после удара первый шар отскакивает в противоположную сторону, а второй движется в направлении движения первого шара до удара.

Для выполнения опыта по п.1 требуются два одинаковых шара. Для выполнения опытов по п.2 и 3 требуются шары разных масс. Массы шаров должны различаться в 5...6 раз. Начальное отклонение одного из шаров должно составлять 15...20 см.

Большой интерес вызывают опыты, когда в соударении участвует сразу несколько шаров (цепочка одинаковых шаров). Если отклонить один крайний шар и отпустить, то после удара отскакивает шар, висящий с противоположного конца цепочки шаров. Остальные шары, включая ударяющий, остаются на месте. Если отклонить два шара, то после удара с противоположного конца цепочки отскакивают также два шара.

Если отклонить более половины шаров, например пять шаров из восьми, то после удара три шара останавливаются, а пять шаров продолжают движение. Эти опыты хорошо иллюстрируют проявление закона сохранения импульса.

1.14. Неупругий удар

Неупругий удар можно продемонстрировать с помощью двух кареток, снабженных сцепным устройством. После удара каретки движутся как единое целое.

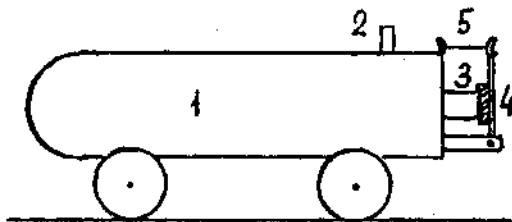
Можно продемонстрировать различные случаи ударов, изменяя массы кареток, а также величины и направление начальных скоростей.

1.15. Неупругий удар шаров

Для выполнения опыта используются шары из пластилина или обмазанные пластилином. Если один из шаров отклонить и отпустить, то после удара слившиеся шары движутся как единое целое, но со скоростью меньшей, чем скорость первого шара до удара. Важно, чтобы пластилин был мягким. Затвердевший пластилин перед опытом рекомендуется подогреть.

1.16. Реактивная тележка

Реактивная тележка представляет собой легкий баллон f , расположенный горизонтально и снабженный колесиками.

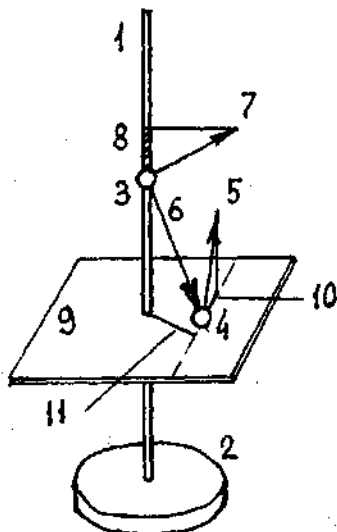


Через вентиль 2 в баллон с помощью велосипедного насоса можно закачать воздух. Соплое 3 закрыто клапаном 4, который удерживается в закрывающем положении нитью 5. Если с помощью зажженной спички пережечь нить, то клапан открывается. Из сопла вырывается струя воздуха. Тележка приобретает импульс в противоположном направлении и катится по столу.

1.17. Векторная модель момента силы и момента импульса

При рассмотрении формул, определяющих вектор момента силы и вектор момента импульса относительно точки отсчета, а также момента силы и момента импульса относительно оси, плоского чертежа часто бывает недостаточно, так как не у всех студентов достаточно хорошо развито пространственное воображение. Имеющаяся пространственная векторная модель позволяет лучше усвоить определение момента силы и момента импульса.

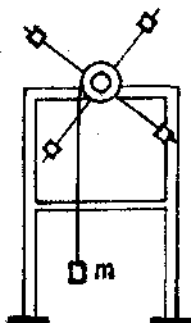
Устройство модели показано на рисунке. В этой модели стержень 1 закреплен на подставке 2. Стержень можно рассматривать как ось, относительно которой могут быть определены момент силы и момент импульса. Шарик 3, закрепленный на оси, символизирует точку отсчета. Шарик 4 символизирует материальную точку. Вектор 5, выходящий из этой точки, можно рассматривать либо как силу F , действующую на эту точку, либо как вектор импульса этой точки. Вектор 6 является радиусом-вектором. Вектор 7, перпендикулярный плоскости, в которой лежат векторы 5 и 6, можно рассматривать как вектор момента силы или как вектор момента импульса в зависимости от того, что подразумевается под вектором 5. На модели показана проекция 8 вектора 7, являющаяся моментом силы (импульса) относительно оси.



На стержне 1 также закреплена пластина 9 из оргстекла. Стержень 1 перпендикулярен плоскости пластины 9. Отрезок 10 является проекцией вектора \vec{b} на плоскость 9. Отрезок 11 - это плечо. Произведение проекции вектора силы (импульса) на плечо равно моменту силы (импульса) относительно оси (отрезок 8).

1.18. Маятник Обербека

Маятник Обербека - это два взаимно перпендикулярных стержня, жестко закрепленных на барабане, ось вращения которого расположена горизонтально.



На стержни насажены одинаковые грузы. Расстояние между грузами и осью вращения может быть разным, и, следовательно, может изменяться момент инерции. На общей оси с барабаном расположены два шкива разного диаметра. На шкив может быть намотана нить, к концу которой привязан груз.

С помощью маятника Обербека удобно демонстрировать проявление основного закона динамики вращательного движения. Согласно этому закону угловое ускорение тела пропорционально приложенному моменту силы и обратно пропорционально моменту инерции. Об угловом ускорении можно судить по времени опускания груза на заданное расстояние. Чем больше угловое ускорение, тем меньше время опускания.

Если при постоянном моменте силы увеличивать расстояние между грузами на крестовине и осью вращения, то момент инерции увеличивается, угловое ускорение уменьшается, время опускания увеличивается. Момент силы определяется выражением

$$M = m(g-a)R,$$

где m - масса подвешенного на нити груза; a - линейное ускорение, с которым опускается груз; R - радиус шкива.

Момент силы можно считать постоянным, если выполняется условие $a \ll g$. В этом случае $M \approx mgR$. Для достижения этого условия грузы m подбираются так, чтобы время опускания составляло 3...15 с, что значительно меньше времени свободного падения.

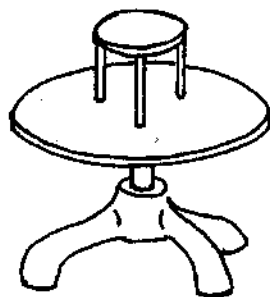
Если при постоянном моменте инерции (фиксированном расстоянии закрепленных на крестовине грузов от оси вращения) увеличивать момент силы, то угловое ускорение возрастает, время опускания уменьшается. Момент силы можно изменять двумя способами. Во-первых, можно изменять массу опускаемого груза, во-вторых, можно шнур на-

матывать на шкивы разных диаметров. Все эти опыты могут быть выполнены на имеющейся установке.

Время опускания можно определить по секундомеру. Качественно увеличение или уменьшение времени опускания можно замерить и без секундомера, если это изменение достаточно велико.

1.19. Демонстрация закона сохранения импульса с помощью скамьи Жуковского

Скамья Жуковского представляет собой круглую горизонтальную платформу, которая может вращаться относительно вертикальной оси. На платформе укреплена круглая табуретка, ось которой совпадает с осью платформы.



На эту табуретку садится демонстратор. Для этой цели можно также пригласить студента. Возможны следующие варианты демонстрации закона сохранения момента импульса:

1. Демонстратор берет в руки гантели (или гири) массой в несколько килограммов и разводит их в стороны. Другой человек раскручивает систему скамья - демонстратор - гантели до угловой скорости, соответствующей 1...1,5 об/с. После этого сидящий на скамье демонстратор приближает руки с гантелями к туловищу, уменьшая тем самым момент инерции. В силу проявления закона сохранения момента импульса угловая скорость вращения системы возрастает.

2. В этой демонстрации кроме скамьи Жуковского применяется велосипедное колесо, насаженное на ось, в качестве которой используется стержень длиной около 1 м. Для увеличения момента инерции этого колеса его утяжеляют на 5-6 кг, наматывая на обод проволоку. Демонстратор садится на скамью и держит колесо над головой так, чтобы ось вращения была вертикальной. Ось держит в одной руке. Первоначально система покоится. Затем демонстратор второй рукой раскручивает колесо. В соответствии с законом сохранения момента импульса скамья с демонстратором приобретает вращение в противоположном направлении.

3. Демонстратор сидит на скамье и держит велосипедное колесо над головой так, чтобы ось была вертикальной. Второй человек раскручивает колесо, одновременно удерживая платформу от вращения. После того как колесо раскрутится, удерживание платформы надо прекратить. Таким образом, вначале вращается только колесо. Затем

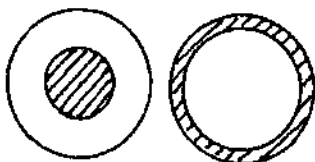
демонстратор одной рукой останавливает колесо. В соответствии с законом сохранения импульса вся система приходит во вращение.

В другом варианте этого опыта помощник демонстратора раскручивает колесо при вертикальном расположении оси вращения, а потом передает его демонстратору. После этого, как и в предыдущем варианте, демонстратор останавливает колесо.

4. Демонстратор сидит на скамье и держит над головой вращающееся колесо с осью, расположенной вертикально. Платформа неподвижна. Момент импульса колеса, а следовательно, и всей системы относительно вертикальной оси, отличен от нуля. Затем демонстратор постепенно поворачивает ось колеса до горизонтального положения. При этом момент импульса колеса относительно вертикальной оси становится равным нулю. В силу закона сохранения импульса относительно оси, вся система придет во вращение относительно вертикальной оси.

1.20. Скатывание цилиндров с наклонной плоскости

Установка состоит из наклонной плоскости, длина которой 62 см и высота 13 см, и двух цилиндров. Цилиндры имеют одинаковые радиусы (25 мм), одинаковую длину (70 мм) и одинаковую массу (250 г). Отличаются они моментами инерции относительно оси цилиндров. Это обусловлено тем, что цилиндры не являются однородными. Строение цилиндров показано на рисунке.



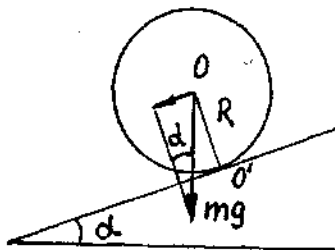
Цилиндр 1 представляет собой толстостенную деревянную трубу, заполненную внутри свинцом. Цилиндр 2 деревянный, покрытый сверху свинцовой цилиндрической оболочкой. Момент инерции цилиндра 2 заметно больше момента инерции цилиндра 1.

Из следующего рисунка видно, что момент силы относительно мгновенной оси, проходящей через т.о, определяется формулой:

$$M = mgR \sin \alpha.$$

Все величины, входящие в формулу, одинаковы для обоих цилиндров. Следовательно, и моменты сил одинаковы.

В соответствии с основным законом динамики угловое ускорение должно быть больше у того цилиндра, у которого момент инерции меньше. В опыте наблюдаем, что деревянный цилиндр со свинцом внутри скатывается быстрее.



Интересно проследить за движением цилиндров после скатывания. При этом на цилиндры действуют одинаковые тормозящие моменты. Заметнее замедляет свое движение опять же цилиндр, у которого меньше момент инерции.

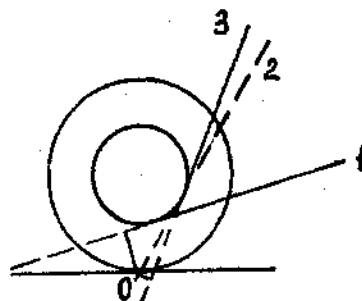
1.21. "Послушная" и "непослушная" катушки

Катушка представляет собой картонный цилиндр диаметром 17 см с дисками из оргстекла на торцах. Диаметр дисков 34 см. К середине катушки приклеен конец тесьмы. Тесьма намотана на цилиндрическую часть катушки. Катушку располагают на столе. Свободный конец тесьмы должен выходить из-под нижней поверхности цилиндра, как показано на рисунке.



Если потянуть за свободный конец тесьмы так, чтобы тесьма располагалась горизонтально или под небольшим углом к плоскости стола, то катушка покатится в ту сторону, в которую действует сила натяжения тесьмы (послушная катушка). При больших углах наклона натянутой тесьмы к плоскости стола катушка покатится в сторону, противоположную горизонтальной составляющей силы натяжения тесьмы (непослушная катушка).

Для объяснения такого поведения катушки рассмотрим приведенный ниже рисунок



Из рисунка следует, что при положении тесьмы, обозначенном цифрой 1, момент силы относительно мгновенной оси, проходящей через т.о. перпендикулярно плоскости чертежа, вращает катушку по часовой стрелке. Катушка движется вправо.

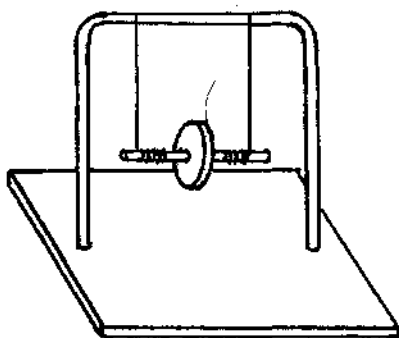
Если постоянно увеличивать угол между тесьмой и плоскостью стола, то плечо силы уменьшается, следовательно, уменьшается и момент силы. В положении тесьмы, указанном цифрой 2, плечо силы и момент силы становятся равными нулю.

При дальнейшем увеличении угла наклона (положение тесьмы, указанное цифрой 3) момент силы изменяет знак и катушка начинает вращаться в противоположном направлении, т.е. движется влево.

Сила, прикладываемая к концу тесьмы, не должна быть слишком большой. Если вертикальная составляющая этой силы будет больше силы тяжести, действующей на катушку, то катушка будет подниматься вверх.

1.22. Маятник Максвелла

Маятник Максвелла представляет собой массивный диск, к концам оси которого прикреплены два шнура. На этих шнурах маятник подвешивается к горизонтальной перекладине.



Если шнуры намотать на ось, а затем диск отпустить, то под действием силы тяжести диск будет опускаться. При этом шнуры будут разматываться, а диск ускоренно вращаться. Потенциальная энергия диска в поле тяжести будет переходить в кинетическую энергию поступательного и вращательного движений диска.

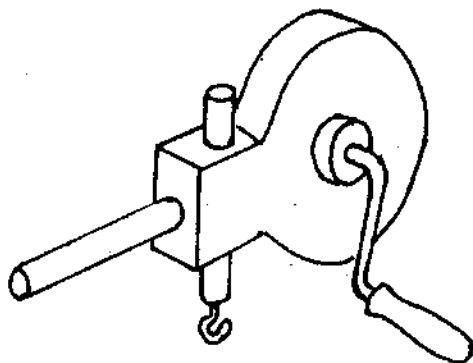
Когда шнуры полностью разматываются, поступательное движение вниз прекратится. При этом кинетическая энергия поступательного движения перейдет в потенциальную энергию растяжения упругой нити в момент рывка. Энергия вращательного движения во время рывка не изменится.

В дальнейшем вращающийся диск будет наматывать шнур на ось и подниматься. Процесс превращения энергии пойдет в обратном порядке и диск поднимется на прежнюю высоту (если можно пренебречь трением).

1.23. Свободные оси вращения

При наличии внешнего воздействия (например, со стороны нити подвеса) тело, первоначально вращающееся относительно произвольной оси, стремится повернуться так, чтобы ось вращения совпала с той свободной осью, относительно которой момент инерции максимален. Это состояние вращения является наиболее устойчивым.

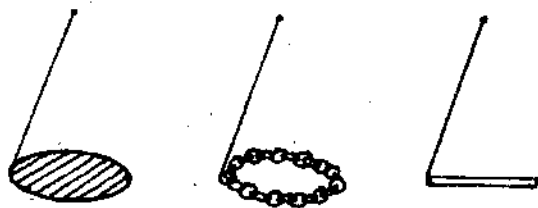
Для лекционной демонстрации используется ручное вращающее устройство, показанное на рисунке.



Ось вращения расположена вертикально. Внизу имеется крючок, к которому можно подвешивать на веревке различные тела. В настоящей лекционной демонстрации, используются цилиндрический металлический стержень диаметром 20 мм и длиной 20 см, диск диаметром 23 см, резиновое кольцо диаметром 16 см и

замкнутая цепочка длиной 40 см. Диск, кольцо и цепочка подвешиваются за край, стержень - за конец.

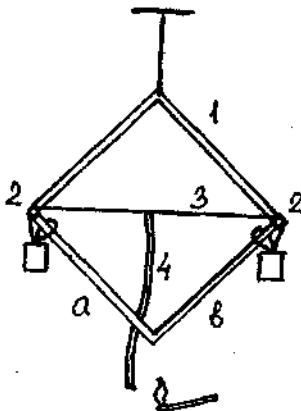
Если подвешенное тело с помощью вращающего устройства привести во вращение с небольшой угловой скоростью, то положение оси вращения относительно тела будет совпадать с положением вертикали, проходящей через центр тяжести и точку подвеса. При медленном увеличении скорости вращения тело постепенно перейдет в новое положение и будет вращаться относительно свободной оси с наибольшим моментом инерции. Этому соответствует горизонтальное положение перечисленных выше тел, показанное на рисунке. Цепочка при этом примет форму кольца.



1.24. Вращение рамки I с грузами

Квадратная рамка из металлического прутка со стороной квадрата 40 см подвешена, как показано на рисунке.

Вдоль сторон a и b квадрата могут перемещаться грузы массой 200 г каждый. Через ролики 2 перекинута нить 3 , к концам которой привязаны грузы. Нить удерживает грузы в положении, близком к роликам. Рамка приводится во вращение. Если пережечь нить, то грузы соскользнут к нижнему углу рамки. Момент инерции системы относительно оси вращения значительно уменьшится. На основании закона сохранения момента импульса угловая скорость вращения рамки возрастает.



Для того чтобы вращающаяся рамка не выскользнула из рук горящую спичку, надо успеть пережечь ее за время, меньшее четверти периода вращения. Если это не удастся, то к середине нити можно прикрепить вертикальную бумажную полоску 4, нижний конец которой опускается ниже нижнего угла рамки, и поджечь ее. Огонь по бумажной полоске поднимется до нити и пережжет ее.

1.25. Гирскопический эффект. Волчок

Демонстрационный волчок представляет собой диск из оргстекла диаметром 15 см и толщиной 5 мм. Через центр диска перпендикулярно его плоскости пропущена ось. Верхний конец оси имеет длину 8 см, нижний - 3 см. Нижний конец оси заострен.

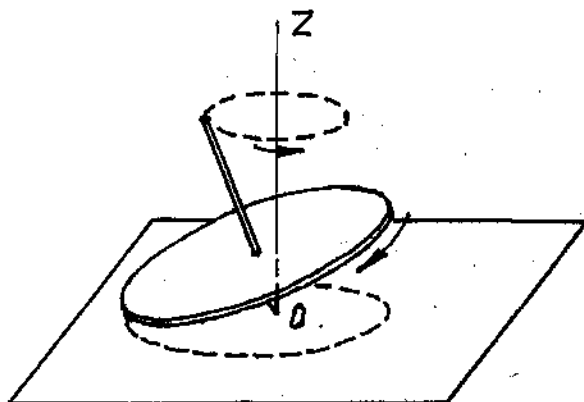
Волчок приводится во вращение вручную. Ось вращения должна быть перпендикулярна плоскости стола. При достаточной угловой скорости вращение довольно устойчиво. Если палочкой ударить по верхнему концу стержня, положение оси вращения почти не изменится. В этом заключается гироскопический эффект.

При снижении угловой скорости за счет потерь энергии на трение становится заметной прецессия оси, вызванная действием момента силы тяжести. Можно заметить, что направление кругового движения верхнего конца оси волчка совпадает с направлением вращения диска. При дальнейшем снижении угловой скорости угол между осью и вертикалью увеличивается до тех пор, пока край диска не коснется плоскости стола. В первый момент касания диском плоскости стола наблюдается проскальзывание диска относительно поверхности стола, но это проскальзывание быстро прекращается с уменьшением скорости вращения за счет потерь энергии на трение.

Как только скольжение прекратится, диск покатится по плоскости стола. Поскольку при качении диска угол между плоскостью диска и плоскостью стола является постоянным, как это показано на рисунке, верхний конец оси будет двигаться по окружности, как и при прецессии, но в противоположном направлении.

Изменение направления движения конца оси волчка наблюдается очень хорошо, и создается впечатление, что изменяется и направление вращения диска относительно его оси. Однако это не так. Направление вращения диска относительно оси, как и проекция момента

импульса на ось Z , перпендикулярную плоскости стола, в момент смены направления движения верхнего конца оси сохраняются.



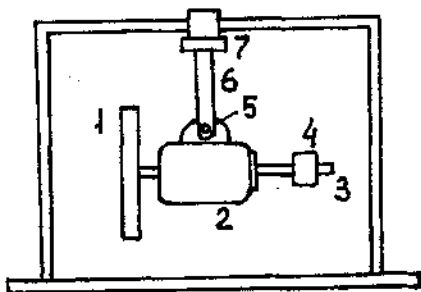
1.26. Гироскопический эффект. Велосипедное колесо

Для демонстрации используется велосипедное колесо, насаженное на ось, закрепленную на конце толстого деревянного стержня. Для проведения опыта можно пригласить студента. Студент должен взять в руки стержень так, чтобы стержень, а следовательно, и ось вращения, были вертикальными, а колесо находилось над головой. Колесо следует привести во вращение. После этого надо попросить студента быстро наклонить ось и колесо вперед. За счет гироскопического эффекта ось и колесо будут отклоняться не вперед, а в сторону. Если изменить направление вращения колеса, то оно будет отклоняться в другую сторону.

1.27. Гироскоп на шарнирном подвесе

Конструкция демонстрационной установки показана на рисунке.

Гироскоп представляет собой алюминиевый диск 1, утолщенный по ободу. Диск насажен на ось электрического моторчика, с помощью которого он может быть приведен во вращение. К корпусу моторчика со стороны, противоположной диску, прикреплен стержень 3, по которому может перемещаться противовес 4. Шарнирный подвес позволяет оси гироскопа изменять ориентацию в верти-



кальной плоскости, перпендикулярной горизонтальной оси 5. Верхний конец стержня 6 закреплен в подшипнике 7 и может вместе с гироскопом вращаться относительно вертикальной оси.

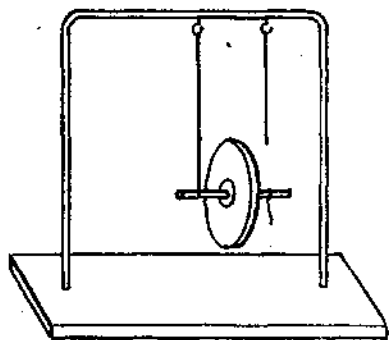
При невращающемся диске подбирается положение противовеса на оси 3, соответствующее горизонтальному положению оси вращения диска. Затем с помощью моторчика (можно и вручную) диск приводится во вращение. Ось диска остается неподвижной. Если противовес 4 сместить вдоль оси 3, то ось диска будет поворачиваться не относительно горизонтальной оси 5, а относительно вертикальной оси. Направление вращения относительно вертикальной оси зависит от того, в какую сторону смещается противовес.

1.23. Гироскоп, подвешенный на нитях

Гироскоп представляет собой массивный диск, насаженный на ось с помощью подшипника. Ось служит алюминиевый стержень диаметром 10 мм. С помощью двух нитей гироскоп может быть подвешен на подставке так, чтобы ось имела горизонтальное направление.

Если диск гироскопа привести во вращение с большой угловой скоростью, а потом ножницами перерезать одну из нитей, то ось вращения останется в горизонтальном положении, как показано на рисунке.

Под действием момента силы тяжести плоскость вращения гироскопа постепенно поворачивается относительно вертикальной оси, причем тем заметнее, чем меньше скорость вращения относительно горизонтальной оси.



2. Молекулярная физика и термодинамика

2.1. Доска Гальтона

Доска Гальтона представляет собой прибор, с помощью которого можно наглядно продемонстрировать, что, несмотря на случайный характер движения отдельных частиц, для большого числа одинаковых частиц характерны общие, статистические закономерности.

Устройство прибора показано на рисунке.

Основу прибора составляют два плоских параллельных листа. Лист, обращенный в сторону аудитории, — прозрачный (из оргстекла). Между листами, перпендикулярно к их поверхностям расположены оди-

наковые цилиндрические стержни в порядке, показанном на рисунке. Они образуют 77 строк по горизонтали и 50 рядов по вертикали. Сверху, через специальную воронку, расположенную вдоль вертикальной оси симметрии прибора, можно вводить какие-либо частицы (дробь, крупа и т. д.). Частица ударяется о стержень первой строки и отклоняется либо вправо, либо влево. Потом частица ударяется о стержень второй строки и опять отклоняется либо вправо, либо влево, и так далее, пока не преодолеет все 77 строк.

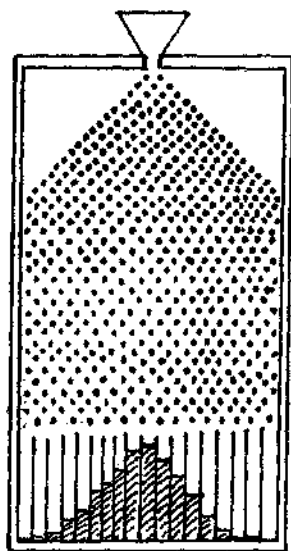
В нижней части прибора расположены 50 вертикальных резервуаров, улавливающих частицы, прошедшие все 77 горизонтальных строк. Каждая из частиц может попасть в любой из 50 резервуаров. Предсказать заранее траекторию частицы невозможно. Попадание частицы в какой-либо из резервуаров - событие случайное. Однако, вводя в прибор одну за одной большое число одинаковых частиц, обнаруживаем, что наиболее заполненными оказываются резервуары, расположенные под воронкой. Вправо и влево степень заполнения резервуаров уменьшается.

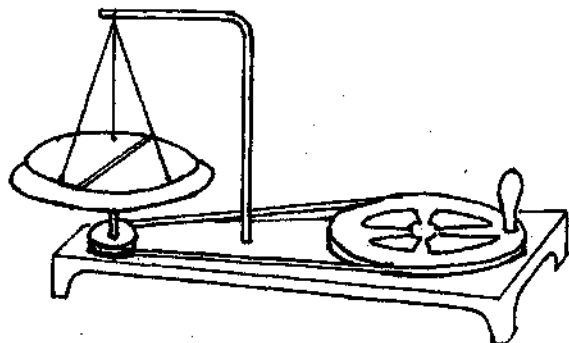
Повторив опыт несколько раз, можно убедиться, что вид распределения частиц по ячейкам сохраняется, т. е. оно носит закономерный характер.

2.2. Внутреннее трение в газах

Внутреннее трение (вязкость) газов относится к явлениям переноса. При скольжении одного слоя газа относительно другого между ними возникает сила трения. Возникновение этой силы объясняется тем, что при обмене молекулами между слоями происходит перенос импульса, обусловленного направленным движением в слое. Импульс переносится от слоя с большим импульсом к слою с меньшим импульсом перпендикулярно этим слоям.

Наличие внутреннего трения можно продемонстрировать с помощью показанной на рисунке установки.





Над горизонтальным диском, насаженным на ось центробежной машины с ручным приводом, на гибких нитях подвешен легкий диск. Диаметр диска - 300 мм. Скорость вращения нижнего диска - несколько оборотов в секунду. Расстояние между дисками - несколько миллиметров.

Вращающийся нижний диск сообщает ударяющимся о его поверхность молекулам импульсы в тангенциальных направлениях. Отдельные элементарные объемчики слоя воздуха, граничащего с нижним диском, приходят в движение. В силу симметрии картины суммарный импульс всего слоя остается равным нулю. Отличным от нуля будет суммарный момент импульса. В слое происходит вихревое движение воздуха.

В результате переноса импульса в вышележащие слои последние также приобретают вихревое движение. Слой воздуха, граничащий с верхним диском, взаимодействует с ним и сообщает диску момент импульса. Возникает момент силы, действующей на верхний диск. Диск поворачивается на некоторый угол, соответствующий условию равновесия момента сил внутреннего трения и момента силы, обусловленного кручением нитей подвеса.

Для того чтобы поворот диска был виден всей аудитории, на него надо нанести метку, хорошо видимую издали.

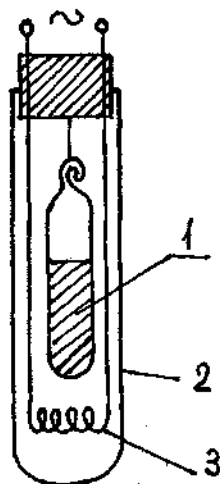
2.3. Фазовый переход жидкой кристалл - изотропная жидкость

Фазовые переходы твердое тело - жидкость и жидкость - пар постоянно наблюдаются в повседневной жизни и их рассмотрение не требует специальных лекционных демонстраций. Настоящая лекционная демонстрационная установка позволяет наблюдать фазовый переход жидкий кристалл - изотропная жидкость.

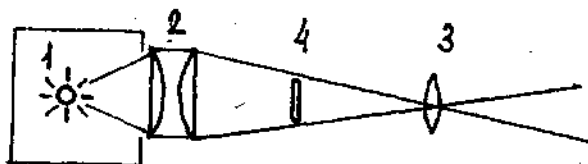
В качестве рабочего вещества выбран метоксибензилидин - *p*-бутиланилин (сокращенное название - МББА). При комнатной температуре это вещество находится в жидкокристаллическом состоянии. При температуре 47°C происходит фазовый переход жидкий кристалл - изотропная жидкость. Это фазовый переход 1-го рода.

Отличить жидкокристаллическую фазу от жидкой можно по оптическим свойствам: в жидкокристаллической фазе МББА очень сильно рассеивает свет.

В используемой для лекционной демонстрации установке вещество МББА находится в запаянной прозрачной стеклянной ампуле (позиция 1 на рисунке). Эта ампула расположена внутри стеклянной пробирки 2. Внутри этой пробирки находится также нагреватель в виде спирали 3. На нагреватель подается напряжение примерно 20 В. Пробирка с ампулой закрепляется в штативе и устанавливается в проекционном фонаре так, чтобы на экране наблюдалось изображение ампулы в прошедшем свете.



Оптическая схема установки показана на рисунке



На этом рисунке 1 - источник света; 2 - конденсор; 3 - объектив; 4 - демонстрируемый объект (ампула с жидким кристаллом). Расположение элементов схемы должно удовлетворять следующим требованиям.

Конденсор 2 должен фокусировать световой поток от источника света 1 в плоскости объектива 3. При этом весь световой поток проходит сквозь объектив.

При выборе положения демонстрируемого объекта исходим из того, что если объект 4 расположен слишком далеко от конденсора, где поперечное сечение пучка мало, то он будет освещен не полностью, а если это расстояние мало, то значительно уменьшается освещенность

этого объекта. Оптимальным будет такое положение, когда размеры поперечного сечения пучка света лишь ненамного больше размеров объекта.

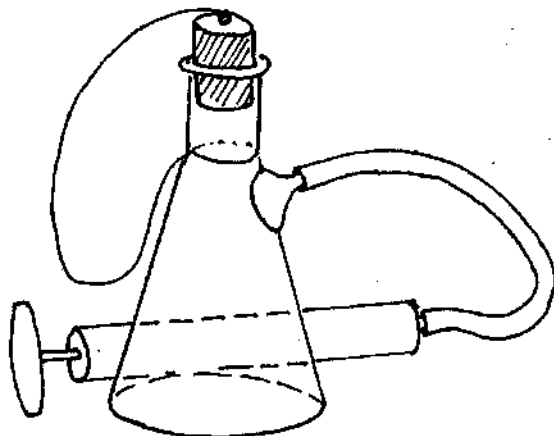
Расстояние между объектом 4 и объективом 3 должно быть таким, чтобы объектив давал резкое изображение предмета на экране. Это расстояние зависит от фокусного расстояния объектива и от расстояния от объектива до экрана.

Следует предупредить студентов, что изображение на экране получается обратным. Поэтому на экране будет казаться, что жидкокристаллическое вещество находится в верхней части ампулы.

При комнатной температуре вещество находится в жидкокристаллическом состоянии. Свет сильно рассеивается. Соответствующая часть ампулы выглядит на экране темной. Видна граница раздела жидкий кристалл - воздух. В том что это не твердая фаза, можно убедиться, наклоня ампулу. Граница раздела будет оставаться горизонтальной. При нагревании вещества до температуры фазового перехода наступает посветление соответствующей части ампулы.

Поскольку ампула имеет цилиндрическую форму, вещество, находящееся в ней, обладает свойствами цилиндрической линзы. Поэтому изображение на экране той части ампулы, где находится вещество, будет не однородно светлым, а более ярким вблизи осевой линии цилиндра. Этот эффект можно значительно ослабить, если демонстрируемую ампулу поместить не в цилиндрическую пробирку, а в плоскую ювету, заполненную водой.

2.4. Охлаждение при адиабатическом расширении



Для демонстрации используется стеклянная колба, плотно закрываемая сверху резиновой пробкой. Сбоку колба имеет штуцер, на который одевается резиновый шланг, соединенный с ручным насосом. На дно колбы капается несколько капель эфира или спирта. В закрытой колбе находится насыщенный пар при комнатной температуре. Если с помощью насоса постепенно увеличивать давление в колбе, то условие насыщения сохраняется. При некотором критическом давлении пробка вылетает из колбы. Давление и температура резко понижаются. Более низкой температуре соответствует меньшее количество вещества, находящегося в парообразном состоянии в том же объеме. Поэтому избыточное количество вещества конденсируется в виде мельчайших капелек тумана. Этот туман хорошо наблюдается визуально.

Для того чтобы пробка не улетела слишком далеко, нужно привязать к ней нитку длиной около метра, второй конец которой привязан к колбе.

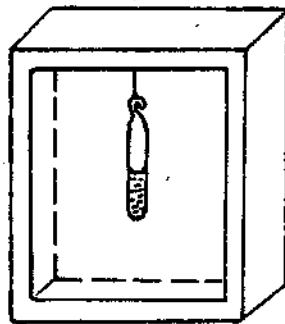
2.5. Критическое состояние

Для демонстрации перехода жидкости и пара в критическое состояние используется эфир. Критическая температура эфира - около 194°C . Критическое давление - около 36 атмосфер. Эфир и его пар заключены в толстостенную стеклянную ампулу длиной около 3 см с внешним диаметром около 5 мм.

Ампула подвешивается внутри воздушной бани. Воздушная баня представляет собой металлическую коробку с окнами из толстого стекла. Воздух в бане нагревается спиралью, через которую пропускается электрический ток. Напряжение, подаваемое на спираль, - около 20 В.

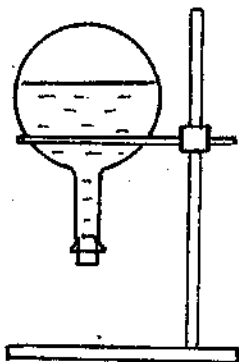
При достижении критической температуры граница раздела жидкость - пар (мениск) исчезает. При понижении температуры происходит образование капелек тумана, которые сбегает ко дну ампулки. В результате этого вновь появляется столбик жидкости и видна граница раздела в виде мениска.

Для того чтобы ампулка и граница раздела были видны всей аудитории, с помощью проекционного фонаря создается ее увеличенное изображение на экране. Оптическая схема установки такая же, как и при демонстрации фазового перехода жидкий кристалл - изотропная жидкость (п.2.3).



2.6. Кипение при охлаждении

Для проведения опыта используется круглодонная колба. Плоскодонную колбу применять не следует. Во время опыта внешнее давление значительно превышает внутреннее и плоскодонная колба может лопнуть.

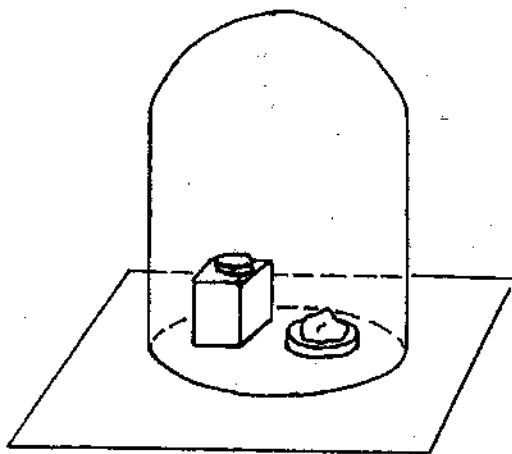


Колба заполняется водой примерно на половину объема. Вода нагревается и доводится до кипения. Кипятить следует около 10 мин, чтобы пар вытеснил из колбы практически весь воздух. Затем колба снимается с нагревателя, плотно закрывается пробкой, переворачивается вверх дном и укрепляется на штативе.

Если верхнюю часть колбы, в которой находится пар, охладить, то давление пара значительно понизится. Соответственно понизится и температура кипения. Температура воды в колбе окажется выше температуры кипения и вода в колбе закипит.

Для охлаждения колбы можно использовать тряпку, смоченную холодной водой. Можно использовать снег, завернутый в тряпку. Можно просто поливать колбу холодной водой.

2.7. Диффузия паров аммиака в воздухе



В опыте наблюдается диффузия паров аммиака. Аммиак испаряется из ванночки с нашатырным спиртом. Поскольку аммиак является газом более легким, чем воздух, то пары аммиака поднимаются вверх. Однако за счет диффузии молекулы аммиака проникают также в слои воздуха, расположенные ниже уровня, на котором находится ванночка. Присутствие молекул аммиака обнаруживается по покраснению полоски бумаги или ватки, смоченной фенолфталеином.

Вид демонстрационной установки показан на рисунке. Ванночка с нашатырным спиртом расположена на подставке, а ватка, смоченная фенолфталеином, расположена на поверхности стола. Для того чтобы устранить потоки воздуха, элементы установки накрываются стеклянным колпаком.

Л и т е р а т у р а

1. Грабовский М.А., Млодзиевский А.Б., Телеснин Р.В. и др. Лекционные демонстрации по физике / Под ред. В.И.Ивероновой. - М.: Наука, 1972. - 639 с.
2. Перкальский Б.Ш. Использование современных научных средств в физических демонстрациях. - М.: Наука, 1971. - 206 с.
3. Алешкевич В.А., Киселев Д.Ф., Коржацкий В.В. Лазеры в лекционном эксперименте / Под ред. Л.В.Левшина. - Изд-во МГУ, 1985. - 136 с.
4. Петриченко Н.А. Демонстрационный эксперимент в курсе лекций по общей физике в ЧГТУ. - Челябинск: ЧГТУ, 1995. - 97 с.

ЛЕКЦИОННЫЕ ДЕМОНСТРАЦИИ ПО ФИЗИКЕ

Часть I: Механика, молекулярная физика и
термодинамика

Методическое руководство для преподавателей

Редактор Н.В.Городник
Технический редактор Г.Е.Телятникова

Подписано в печать 25.II.98. Формат 60 x 84 1/16. Бумага
офсетная. Тираж 50 экз. Уч.-изд.л. 2,0. Печ.л.2,25.
Изд. № 881. Заказ № 688 Цена договорная.

Отпечатано в типографии
Новосиби́рского государственного технического университета
630092, г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20