<u>Задание 3.</u>

3.1 Проведите исследования, описанные в задании 1, для маятника с квадратной картонкой максимального размера.

<u>Задание 4.</u>

4.1 Исследуйте зависимость начального ускорения оси маятника с квадратной картонкой от длины стороны квадрата.
4.2 Попытайтесь установить вид этой зависимости. Качественно объясните полученную зависимость.

<u>Комментарии к условию задачи.</u>

1. Основная проблема при подготовке оборудования – тщательное центрирование диска маятника, поэтому данную работу следует проделать заранее. В качестве оси маятника можно использовать любые тонкие стержни, помимо палочек для шашлыков, можно использовать стержни для шариковых ручек, зубочистки. Металлические стержни достаточно тяжелы.
2. При изучении движения маятника с квадратной картонкой лучше заранее разметить картонку, нарисовав на ней несколько квадратов меньших размеров с общим центром. Затем закрепить картонку на оси (для этого можно использовать небольшой кусочек пластилина). В ходе работы можно отрезать небольшие полоски по краям картонки по разметке. Начальный размер картонки рекомендуется взять 15x15 см.
3. Длина нитей должна быть около 0,5 метра. Для удобства можно на равном расстоянии (через 5 см) нанести метки на одну из нитей.

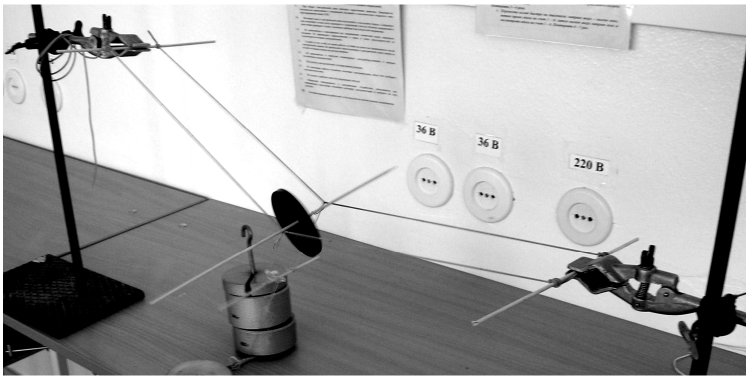
В следующей задаче объединяются методы замедления движения, использованные в предыдущих задачах: во-первых, используется диск на тонкой оси, во-вторых, он скатывается по наклонной плоскости. Это делает движение настолько медленное, что с помощью ручного секундомера удается получать результаты с малой погрешностью. Поэтому приведено подробное решение данной задачи.

Задача 28. «Брахистохрона»

Не всегда кратчайший путь является самым быстрым – вам предстоит исследовать именно такую ситуацию!

Оборудование: пластмассовый диск на деревянном стержне, два штатива с лапками, резинка модельная, нитки, линейка 1 м, линейка 40 см, секундомер, груз 0,5 кг.

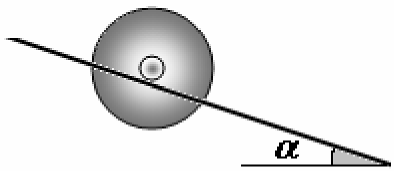
Соберите установку, показанную на рисунке. По двум параллельным натянутым резинкам, как по рельсам может катиться на стержне. С помощью подвижных лапок штатива и нитей, привязанных к серединам направляющих резинок, можно изменять профиль «дороги».



Не забывайте указывать геометрические характеристики этого пути в каждой части задачи.

Часть 1.

Экспериментально исследуйте качение диска по наклонным прямым (без прогиба) направляющим, составляющим угол α ($tg\alpha = 0{,}2$) с горизонтом.



1.1 Измерьте зависимость времени скатывания без начальной скорости от длины пройденного пути.
1.2 Постройте график закона движения оси диска $S(t)$.
1.3 Проверьте, можно ли считать движение оси диска равноускоренным.
1.4 Определите среднее ускорение оси диска.

Часть 2.

В данной части вам необходимо изменять угол наклона направляющих, оставляя их по-прежнему прямыми. Горизонтальное расстояние между точками крепления резинок оставляйте при этом неизменным.
2.1 Измерьте зависимость времени скатывания (при фиксированном расстоянии между штативами) от разности высот точек крепления резинок.
2.2 Считая движение оси диска равноускоренным, постройте зависимость ускорения диска от синуса угла наклона направляющих. Покажите, что ускорение диска может быть описано формулой

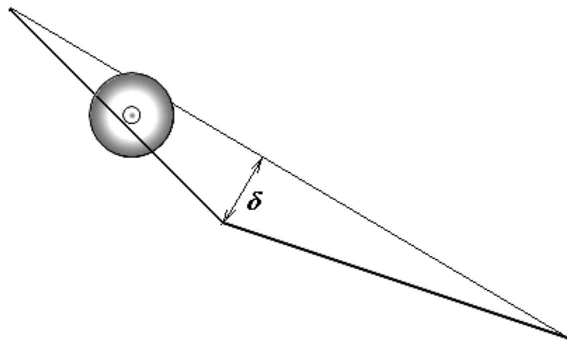
$$a = \gamma g \sin\alpha, \qquad (1)$$

где γ - безразмерный коэффициент, зависящий от радиусов диска и оси. Используя полученные экспериментальные данные, определите коэффициент γ.

2.3 Постройте график зависимости времени скатывания от расстояния между точками крепления (пути, пройденного диском). Постройте теоретическую зависимость времени скатывания от пройденного пути, сравните ее с экспериментальной зависимостью.

Ускорение свободно падения считайте равным $g = 9{,}81\dfrac{м}{с^2}$.

Часть 3.



Закрепите концы резинок и не изменяйте их положения в ходе дальнейших измерений. <u>Разность высот и горизонтальных расстояний между начальной и конечной точками выберите самостоятельно.</u>
С помощью нитей, прикрепленных к серединам резинок профиль траектории можно превратить в двухзвенную ломаную линию.

3.1 Измерьте зависимость времени скатывания диска от стрелы прогиба резинок δ. Постройте график полученной зависимости.
3.2 Постройте график времени скатывания от длины пройденного пути от начальной до конечной точек.

<u>Комментарии к условию задачи.</u>

1. Проблемы изготовления маятника Максвелла рассмотрены в предыдущей задаче 27.
2. В качестве направляющих используется модельная резинка (можно купить в магазинах для рыбаков).
3. Использование резиновых жгутов в качестве направляющих имеет два преимущества: во-первых, высокий коэффициент трения, дающий возможность проводить измерения не только при малых углах; во-вторых, возможность легко изменять профиль траектории.
3. На выполнение этой задачи отводилось 5 часов.

Движение тел далеко не всегда описывается как равномерное, или равноускоренное. В следующих задач экспериментально изучаются иные виды движения, на основании которых исследуются известные физические законы, но не изучаемые в средней школе.

Задача 29. «Эванжелиста Торричелли»

Обидно, если в дне стакана есть отверстия –
но это повод для исследований.

Оборудование: пластиковый стакан 0,5 л со шкалой; банка стеклянная 0,5 л (или 1 л), часы, шило, штангенциркуль.

Проделайте в дне стакана маленькое отверстие. Заполните его водой (желательно, чтобы вытекающая из стакана вода попадала в стеклянную банку, а не на Вас), исследуйте процесс вытекания воды из стакана.

1. Постройте график зависимости высоты уровня воды в стакане от времени.
2. Постройте график зависимости скорости вытекающей воды от высоты уровня воды в стакане.
3. При определенных допущениях теоретически можно показать, что скорость v воды, вытекающей через отверстие в дне стакана, зависит от высоты уровня воды в стакане h по формуле

$$v = Ch^{\gamma}$$

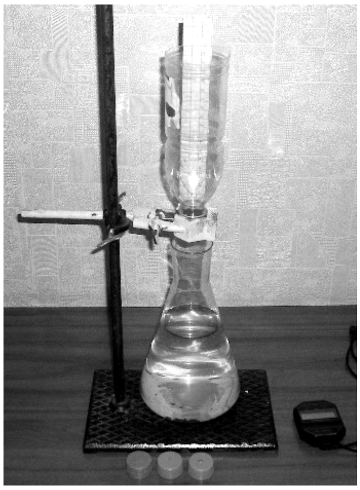
где C - величина, не зависящая от h. Используя полученные экспериментальные данные, определите показатель степени γ.

<u>Комментарии к условию задачи.</u>

1. Предпочтительнее использовать пластиковый стакан, форма которого близка к цилиндрической.
2. Можно видоизменить условие задачи: вместо простой банки использовать мерный стакан (мензурку) с делениями и следовать не скорость уменьшения уровня в стакане, а скорость повышения уровня в мензурке.

Эта задача предлагалась на республиканской физической олимпиаде более 10 лет назад. Поле подробное исследование вытекания жидкости из бутылки и анализ применимости формулы Торричелли предлагается провести в следующей задаче.

Задача 30. «Формула Торричелли»



Оборудование: бутылка пластиковая 0,5 л без дна, три пробки с дырками известных диаметров, полоска миллиметровой бумаги, скотч, секундомер, сосуд для воды (1 л), штатив с лапкой.

Для скорости вытекания воды из сосуда через небольшое отверстие Э. Торричелли установил формулу

$$V = \sqrt{2gh}\ , \qquad (1)$$

где h - высота уровня жидкости над отверстием, $g = 9{,}8\frac{м}{с^2}$ - ускорение свободного падения.

Вам предстоит проверить справедливость этой формулы для скорости вытекания воды из бутылки через отверстие в пробке. Соберите установку, как показано на рисунке. Прикрепите к боковой поверхности бутылки полоску миллиметровой бумаги.

Часть 1. Теоретическая.

1.1 Считая формулу Торричелли справедливой покажите, для высота уровня жидкости в вертикальном цилиндрическом сосуде при вытекании воды через отверстие в дне зависит от времени по закону

$$h = h_0(1 - bt)^2\ , \qquad (2)$$

где h - высота уровня жидкости над уровнем отверстия, h_0 - начальная высота уровня жидкости, b - постоянный коэффициент, зависящий от размеров сосуда и отверстия.

1.2 Выразите коэффициент b в формуле (2) через параметры вашей установки и начальную высоту уровня жидкости в сосуде.

Часть 2. Закон вытекания.

2.1 Измерьте зависимость высоты уровня жидкости в сосуде от времени, при вытекании воды через отверстие минимального диаметра, постройте график полученной зависимости.

2.2 Проверьте выполнимость закона движения (2).

2.3 Определите при каком значении коэффициента b формула (2) наиболее точно описывает экспериментальные данные.

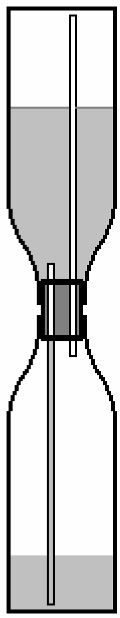
2.4 Сравните экспериментально определенное и рассчитанное значения этого коэффициента. Объясните причины возможных отклонений.

Часть 3. Другие отверстия.

3.1 Измерьте зависимость времени полного вытекания воды из бутылки (при постоянном начальном уровне) от диаметра отверстия. Объясните полученные результаты, сравнив их с вашими расчетными значениями.

Задача 31. «Клепсидра»

<u>Приборы и оборудование</u>: две бутылки с пробками, две трубки для коктейлей, миллиметровая бумага, секундомер, скотч.



На фотографии показана простая установка для изучения течения жидкости по тонким трубкам: две бутылки 0,5 л соединены между собой склеенными пробками. Через пробки проходят две тонкие трубки, через которые жидкость (вода) может перетекать из верхней бутылки в нижнюю. На стенках бутылок прикреплены полоски миллиметровой бумаги, позволяющие измерять уровень жидкости в бутылке. Трубки вставлены так, чтобы жидкость могла перетекать из одной бутылки в другую, при этом бутылки можно постоянно переворачивать. Расположение трубок показано на схеме.

1. Расположите бутылки таким образом, чтобы верхняя была заполнена водой. Исследуйте зависимость уровня жидкости в нижней бутылке от времени. Постройте график полученной зависимости. Качественно объясните ее.

2. Измерьте зависимость скорости возрастания уровня жидкости в нижней бутылке от разности давлений на концах трубки. Постройте график полученной зависимости.

3. Закон Пуазейля утверждает, что объем жидкости, протекающей через поперечное сечение трубки в единицу времени (расход жидкости), пропорционален разности давлений на концах трубки. Проверьте экспериментально выполнимость закона Пуазейля в данном случае. Определите коэффициент пропорциональности между расходом жидкости и разностью давлений на концах трубки.

<u>Комментарии к условию задачи.</u>

1. Для создания экспериментальной установки можно использовать и пластиковые полулитровые бутылки.
2. Для лучшей устойчивости эти водяные часы можно закреплять в штативе.
3. Еще одно достоинство данной задачи – простота выполнения, обусловленная тем, что время перетекания в данной установке около 10 минут!

Еще один пример экспериментального задания, которое можно выполнить и в домашних условиях: процесс протекает настолько медленно, что параллельно можно спокойно пить чай.

Задача 32. «Намокание ткани»

<u>Приборы и оборудование:</u> Полоска ткани, мешок полиэтиленовый, линейка, часы, крышка баночная, вода.

<u>Внимание!</u> *Данный эксперимент предполагает длительные измерения (порядка 1 часа), а ваше время ограничено!*

Опустите один конец сухой полоски ткани в крышку от банки, разложите аккуратно полоску на столе (не забудьте подстелить под нее полиэтиленовый пакет), налейте в крышку немного воды. Исследуйте распространение воды по полоске ткани. Постройте зависимость длины намокшей части ткани от времени.

Попытайтесь определить функциональный вид этой зависимости, оцените ее параметры. Качественно объясните полученную зависимость: обоснуйте ее теоретически.

<u>Комментарии к условию задачи.</u>

1. Приведенные здесь экспериментальные данные получены при использовании полоски из белой атласной ткани – граница намокшей части прослеживается очень четко.

4.3 Изучение колебаний.

Эта тема очень популярна у разработчиков экспериментальных заданий физических олимпиад различного уровня. Для их выполнения, как правило, не требуется сложного оборудования – подвесил груз на веревочке (можно просто на гвоздик), дал линейку, секундомер и … длинное-длинное условие! Самое поразительное, что при этом удается получать достаточно точные и интересные результаты.

Помимо непосредственного исследования колебательного движения, экспериментальное изучение колебаний позволяет исследовать многие интересные физические явления - в дальнейшем мы используем этот подход для изучения силы взаимодействия магнитов, закона электромагнитной индукции, сил трения и сопротивления воздуха.

Кроме того, эти задачи позволяют разрабатывать и усваивать многие методы математической обработки результатов измерений, в чем вы могли убедиться на примерах рассмотренных задач по изучению колебаний математического маятника, колебаний подвешенного стержня, крутильных колебаний.

Вернемся к традиционной школьной лабораторной работе по изучению математического маятника (Задача 3).

Слегка модифицируем данную задачу и добавим один интересный пункт.

Задача 33. «Просто математический маятник»

Приборы и оборудование: металлический шарик на нити, секундомер, линейка.

Экспериментально исследуйте колебания тяжелого металлического шарика, подвешенного на нити.

Период малых колебаний математического маятника определяется формулой

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}\,. \qquad (1)$$

Вывод этой формулы приведен в книге:
Л.Д. Ландау, Е.М. Лившиц Теоретическая физика. т. 1. Механика

1. Измерьте зависимость периода колебаний математического маятника от его длины. Проверьте выполнимость формулы (1) в вашем случае. Считая, что $g = 9{,}81\frac{м}{с^2}$, определите экспериментально значение числа π.
2. Строго говоря, период колебаний математического маятника зависит от амплитуды его колебаний. Легко показать, что зависимость периода от амплитуды имеет вид

$$T = T_0\left(1 + \chi\varphi_0^2\right), \qquad (2)$$

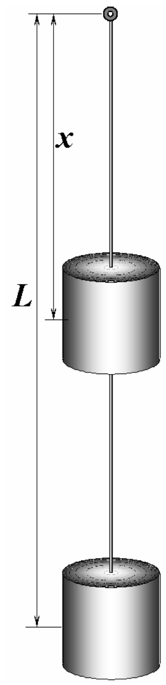
где T_0 - период малых колебаний, определяемый формулой (1); φ_0 - максимальный угол отклонения (амплитуда), измеренный в радианах; χ - постоянный коэффициент.

Проверьте экспериментально выполнимость формулы (2). Определите значение коэффициента χ.

Комментарии к условию задачи.

1. Первая часть задачи традиционная и ее выполнение никаких сложностей не вызывает.
2. Вторая часть задачи требует тщательности в проведении измерений. Период колебаний изменяется крайне незначительно, поэтому должен измеряться с высокой точностью. Не следует стремиться делать маятник слишком длинным – важен угол отклонения. Желательно использовать тяжелый груз (металлический шарик), чтобы уменьшить затухание.

Широко распространенным заблуждением является утверждение, что период колебаний любого тела подвешенного в поле тяжести земли может быть рассчитан по формуле математического маятника, если в качестве его длины l использовать расстояние от точки подвеса до центра масс маятника. Это утверждение уже опровергалось нами в задаче о колебаниях стержня (задача 5), где была получена и исследована не монотонная зависимость. Еще одним, возможно, более наглядным подтверждением обсуждаемого здесь тезиса является следующая простая экспериментальная задача.



Задача 34. «Двойной маятник»

Маятник состоит из стрежня с закрепленными на нем двумя одинаковыми грузами.

1. Покажите, что если считать грузы материальными точками и пренебречь массой стержня, то период колебаний такого маятника рассчитывается по формуле

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{x^2 + L^2}{g(x+L)}}, \qquad (1)$$

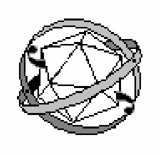
где L - длина стержня.

2. Проверьте экспериментально эту формулу.

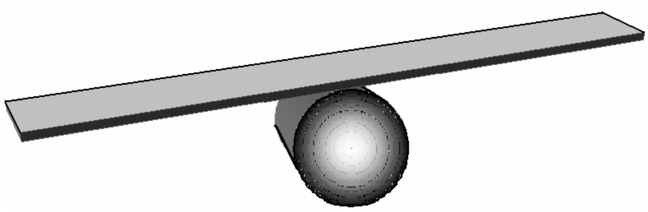
<u>Комментарии к условию задачи.</u>

1. Для успешного выполнения данной задачи масса стержня должна быть значительно меньше массы грузов, а его длина заметно превышать размеры грузов.

Механические колебаниям подвержены многие системы, и многие из них достойны изучения. Рассмотрим пример такой системы, колебания которой легко наблюдаемы, имеют период измеримый с помощью ручного секундомера, описываются удобоваримыми формулами.



Задача 35. «Линейка на цилиндрах»



Деревянную линейку можно расположить на горизонтально лежащем цилиндре. Если слегка коснуться одного из концов линейки, то она начнет колебаться. Ваша задача – исследовать эти колебания. Не забывайте закреплять цилиндр на столе с помощью кусочка пластилина!

Приборы и оборудование:
Цилиндры металлические, картон, скотч, линейка деревянная 40 см, секундомер, штангенциркуль, ножницы, две металлических петли, кусок пластилина.

Задание 1. Измерение коэффициентов трения.

Измерьте значения коэффициентов трения (постарайтесь с максимальной точностью)
а) дерева по металлической поверхности цилиндра;
б) дерева по картону;
в) дерева по неклейкой поверхности скотча.

В дальнейшем используйте колебания линейки по кусочку картона, закрепленному на цилиндрах.

Задание 2. Изучение зависимости периода колебаний от радиуса опоры.

2.1 Измерьте зависимость периода колебаний линейки от радиуса опоры. Постройте график полученной зависимости.

2.2 Теоретически зависимость периода колебаний $T(R)$ от радиуса опоры R приближенно выражается формулой

$$T = AR^{\gamma}. \quad (1)$$

где A, γ - некоторые постоянные. Определите экспериментально показатель степени γ.

Задание 3. Изучение зависимости периода колебаний от положения металлических петель.

Дальнейшие измерения проводите при неизменном радиусе опоры. Какой радиус опоры является оптимальным для таких измерений?

Насадите на концы линейки металлические проволочные петли. Петли можно передвигать по линейке. Во всех измерениях петли должны располагаться симметрично, на равных расстояниях x от концов линейки.

3.1 Измерьте зависимость периода колебаний $T(x)$ от расстояния петель до концов линейки x.

3.2 Обозначим T_0 - периода колебаний линейки без петель (при неизменном радиусе опоры). Теоретически связь между $T(x)$ и T_0 определяется формулой

$$\frac{T}{T_0} = \sqrt{1 + 24\frac{m_1}{mL^2}\left(\frac{L}{2} - x\right)^2} \ . \qquad (2)$$

где L - длина линейки, m - ее масса, m_1 - масса одной петли.

Проверьте экспериментально эту зависимость.

Определите отношение масс петли и линейки $\frac{m_1}{m}$.

<u>Комментарии к условию задачи.</u>

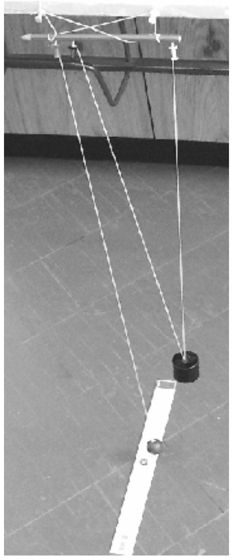
1. Следует подобрать не менее 5 цилиндров различного радиуса, можно использовать трубки, стержни, грузы из калориметрического набора, конденсаторы и т.д. При желании, можно поработать и на токарном станке. Радиусы этих цилиндров должны изменяться от 1 до 7 см.

2. Кусочек тонкого картона необходим, чтобы коэффициенты трения линейки были одинаковы для всех цилиндров. В радиус цилиндра необходимо включать и толщину картона.

3. Петли удобно сделать из куска толстой алюминиевой проволоки, обогнув ее вокруг линейки

Если колебательные системы с одной степенью свободы столь разнообразны, то системы с несколькими степенями и различные эффекты в них трудно поддаются даже классификации. Поэтому предлагаем вашему вниманию всего одну задачу на заданную тему.

Задача 36. «Связанные одной нитью…»



<u>Приборы и оборудование:</u> стол, нитки, груз, легкие пластмассовые шарики, линейка, секундомер, карандаш, кнопки.

С помощью ниток подвесьте карандаш горизонтально на расстоянии 1 – 2 см от точек подвеса. К карандашу можно подвязывать маятники различной длины, движение этих маятников окажется взаимозависимым. Рекомендуем использовать, так называемый, бифилярный подвес, обеспечивающий колебания строго в одном направлении. Для измерения амплитуды колебаний расположите на полу, под маятниками измерительную линейку.

Часть 1. Резонанс.

В качестве груза одного маятника используйте тяжелый металлический цилиндр, а второго – легкий пластмассовый шарик. В этом случае можно считать, что движение легкого маятника не влияет на движение тяжелого – его можно рассматривать как источник переменной внешней вынуждающей силы. Длину легкого маятника l_0 оставляйте неизменной (не забудьте ее указать в вашей работе), а длину тяжелого маятника l_1 вам предстоит изменять. Для этого удобно наматывать нить карандаш. Старайтесь поддерживать угловую амплитуду колебаний тяжелого маятника постоянной (при необходимости его можно слегка подталкивать).

1.1 Измерьте зависимость амплитуды установившихся колебаний легкого маятника от длины тяжелого. Постройте график полученной зависимости и дайте ее теоретическое объяснение.

<u>Примечания:</u>

1. *Понятно, что наиболее «интересным» является диапазон, в котором длины маятников близки. Однако попытайтесь провести исследования и в области, где частота колебаний тяжелого маятника приблизительно <u>в два раза меньше</u> частоты колебаний легкого.*
2. *В этих экспериментах также наблюдаются незначительные биения (медленное периодическое изменение амплитуды) легкого маятника, поэтому под амплитудой его колебаний будем понимать <u>его максимальное отклонение от положения равновесия</u>.*

Часть 2. «Биения»

Привяжите к нити маятники с одинаковыми шариками. Если длины маятников отличаются незначительно, то наблюдается интересное явление – маятники попеременно начинают увеличивать и уменьшать амплитуду колебаний – это явление называется **биениями**.

Для его изучения удобно длину одного маятника l_0 оставлять неизменной, а второго - l_1 изменять.

2.1 Измерьте зависимость периода биений от длины второго маятника l_1. Постройте график полученной зависимости.

2.2 Дайте теоретическое объяснение полученных результатов. Установите теоретический вид этой зависимости, проверьте ее применимость в рассматриваемой системе.

4.4 Силы сопротивления.

Сколько раз приходилось встречаться с фразами: «трения нет», «сопротивление воздуха не учитывать», «вязкостью жидкости пренебречь»! Эти условия постоянно оговариваются в условиях теоретических задач – иначе задачи «не решаются». При выполнении экспериментальных заданий нам также часто приходится делать определенные реверансы – «если пренебречь трением, то…», «скорость движения должна быть мала, чтобы не сказывалось сопротивление среды». Почему же эти высказывания встречаются так часто? Просто потому, что избавиться от этих сил невозможно, они присутствуют всегда! Настала пора не просто познакомиться с ними (теоретически уже все знакомы), не просто научиться их исследовать, а начать их досконально изучать. Это не простая наука, как может показаться на первый взгляд. Придуманы даже специальные термины: «трибология» - наука о сухом трении; «реология» - наука о вязкости.

Нельзя сказать, что данная тема блещет оригинальностью. Вспомните традиционные экспериментальные задачи.

Измерить коэффициент трения бруска о наклонную плоскость. Поднимаем доску (или трибометр, для солидности), измеряем угол наклона, при котором начинается скольжение, с трудом рассчитываем тангенс этого угла, который, как говорят, и есть коэффициент трения. Но это коэффициент трения покоя! Нужен коэффициент трения скольжения? Тянем равномерно (а как это сделать?) брусок по доске (или трибометру) и измеряем силу трения! Не в нашем стиле подробно разбирать эти лабораторные работы, мы займемся серьезными, действительно олимпиадными экспериментальными исследованиями!

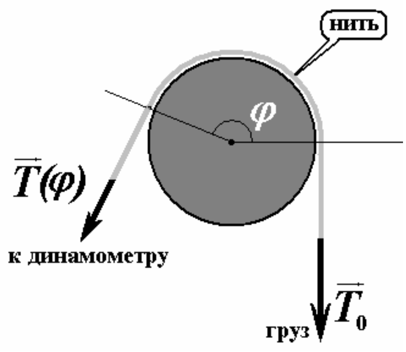
Сила сухого трения описывается законом Кулона-Амонтона: модуль силы трения скольжения пропорционален модулю силы нормальной реакции

$$F_{тр.} = \mu N ,$$

только не надо ставить в этой формуле векторы, как это иногда встречается в пособиях для поступающих. Однако этот закон является приближенным, иногда легче указать условия, когда он выполняется, чем перечислить исключения из него. Поэтому исследование этой силы и проверка применимости этого закона остается непреходящей темой экспериментальных заданий. В следующей задаче предлагается исследовать силу, действующую на нить, намотанную на цилиндр. Особенностью данной задачи является тот факт, что сила нормальной реакции явно не видна, да еще и не является постоянной.

Задача 37. «Где нормальная реакция?»

<u>Приборы и оборудование:</u> металлический стержень, нить, три груза массами 100 г, динамометр, штатив.



При скольжении нити, намотанной на стержень, на нее действует сила трения. Действие этой силы проявляется в том, что силы натяжения нити с разных сторон от стержня оказываются различными. В данной задаче вам необходимо исследовать изменение силы натяжения нити при ее скольжении по боковой поверхности цилиндра.

Закрепите стержень горизонтально в штативе. Нить с прикрепленным к ней грузом перебросьте через стержень. Ко второму концу нити прикрепите динамометр. С помощью динамометра вы можете измерять силу натяжения нити. Все измерения проводите при медленном поднятии и опускании груза, при его равномерном движении.

При скольжении нити сила ее натяжения зависит от угла намотки согласно формуле Л.Эйлера

$$T = T_0 \exp(-\mu\varphi). \qquad (1)$$

1. Дайте качественное объяснение формулы Л. Эйлера.

2. Измерьте зависимости натяжения нити от угла намотки при подъеме груза. Измерения проведите для трех различных значений масс грузов. Постройте графики полученных зависимостей.

Измерения удобно проводить для углов намотки $\frac{\pi}{2}, \pi, \frac{3}{2}\pi, \ldots$

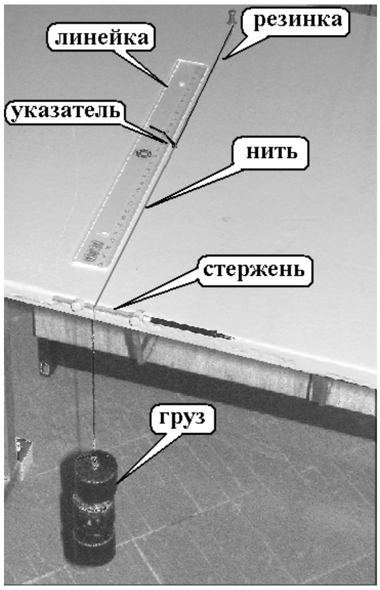
3. Проверьте выполнимость формулы Л.Эйлера в данном случае. Определите значения коэффициента трения для каждой массы груза. Зависит ли коэффициент трения от силы нормальной реакции нити?

4. Измерьте зависимость силы натяжения нити от угла намотки при медленном опускании груза. Измерения проведите для одной массы груза. Выбор этой массы обоснуйте. Постройте график полученной зависимости. Сравните полученные данные с результатами измерений в п.1.

Комментарии к условию задачи.

1. Для проведения эксперимента следует брать гладкую шелковую, или синтетическую нить и гладкий стержень, чтобы уменьшить коэффициент трения. В этом случае удается провести измерения при большем числе значений угла намотки.
2. Работа оказывается легко выполнимой для тех, кто знаком с логарифмической и обратной к ней показательной функцией.

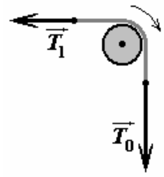
Задача 38. «Явление застоя»



<u>Приборы и оборудование:</u> резиновый жгут, набор 6 грузов по 100 г, нитки, пластиковый стержень, кнопки канцелярские, линейка 40 см, горизонтальная поверхность стола.

Соберите установку, показанную на рисунке: закрепите на ребре стола круглый пластиковый стержень, закрепите на столе один конец резинового жгута, к его второму концу привяжите нить, перебросьте ее через пластиковый стержень, на свисающем конце нити сделайте петлю, к которой можно подвешивать грузы.

<u>Теоретическая подсказка:</u>



При скольжении нити по неподвижному стержню из-за наличия трения модули сил натяжения нити по разные стороны от стержня связаны соотношением

$$T_1 = \beta T_0, \qquad (1)$$

Где β - постоянный коэффициент (очевидно, что $\beta < 1$), зависящий от коэффициента трения нити о стержень. Так как нить можно считать нерастяжимой, то положение груза полностью определяется деформацией резинового жгута x.

<u>Часть 1. «Статика»</u>

1.1 Определите экспериментально, при каких значениях деформации резинового жгута груз может находиться в состоянии покоя для различных масс подвешенных грузов.

1.2 Постройте графики зависимостей максимальной $x_{\max}$ и минимальной $x_{\min}$ деформации резинового жгута, при которых система может находиться в состоянии покоя, от массы подвешенного груза.

1.3 Укажите, при каких значениях деформации резинового жгута применим закон Гука

$$F_{упр.} = -kx. \qquad (2)$$

1.4 Используя полученные данные, определите значения коэффициента β в формуле (1) и значения коэффициента упругости резины k (в области применимости закона Гука).

<u>Часть 2. «Динамика»</u>

Если груз вывести из зоны застоя (обозначим начальную координату x_0), то он начнет двигаться до остановки в некоторой точке с координатой x_1.

2.1 Исследуйте экспериментально зависимости координаты точки остановки груза x_1 от его начальной координаты x_0 для грузов массы $m_1 = 200г$ и $m_2 = 300г$.

2.2 Постройте графики полученных зависимостей.

2.3 Объясните полученные зависимости, кратко описав характер движения груза.

2.4 Используя полученные данные, найдите определите значения коэффициента β в формуле (1) и значения коэффициента упругости резины k (в области применимости закона Гука). Объясните причины возможных различий со значениями, полученными в п. 1.4.

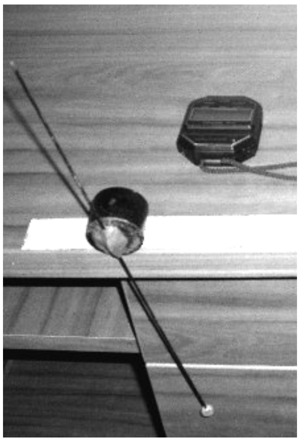
Комментарии к условию задачи.

1. В качестве исследуемого резинового жгута удобно использовать резиновую петлю с официальным названием «резинка банковская для денег», которая используется без денег. Продается в киосках, в одной коробке 500 штук (стоит копейки) – хватит и на проведение экспериментов и на упаковку денег.

Трение качение не всегда входит в программу курса физики средней школы. Но это не значит, что в школе отсутствует эта сила. Кроме того, эта область науки не является секретной, поэтому рассмотрим задачу, в которой изучение силы трения осуществляется посредством изучения колебаний.

Задача 39. «Трение качения»

<u>Оборудование:</u> цилиндр металлический, линейка деревянная, секундомер, пластилин, спица вязальная.



С помощью пластилина прикрепите к боковой грани цилиндра деревянную палочку. Расположите цилиндр с закрепленной палочкой на линейке расположенной на краю стола. При этом цилиндр должен двигаться, вращаясь по линейке.

Часть 1. Период колебаний.

Если центр тяжести палочки расположен ниже точки крепления, то цилиндр совершает колебательное движение. В данной части работы колебания должны быть малыми.

1.1 Измерьте зависимость периода колебаний цилиндра от расстояния от оси цилиндра до центра масс палочки. Постройте график полученной зависимости.

1.2 Покажите (теоретически), что данная зависимость имеет степенной вид

$$T = Cz^{\alpha} . \qquad (1)$$

1.3 Проверьте выполнимость данной формулы на основании ваших экспериментальных данных. Определите показатель степени α .

Часть 2. Затухание колебаний.

Колебания цилиндра являются затухающими из-за наличия трения качения. Сила трения качения описывается формулой

$$F = \frac{k}{R} N , \qquad (2)$$

где N - сила нормальной реакции, R - радиус цилиндра, k - коэффициент трения качения, имеющий размерность длины. При изучении затухания рекомендуется исследовать колебания с большой амплитудой.

2.1 Измерьте зависимости отклонения от положения равновесия оси цилиндра (в точках остановки) от числа совершенных колебаний при двух положениях палочки.

2.2 Постройте графики зависимости энергии цилиндра (*подсказка – в точках остановки*) от пройденного пути. Рассчитайте по этим данным коэффициент трения качения цилиндра.

Комментарии к условию задачи.

1. В данной задаче вязальную можно заменить на любой тонкий стержень (кусок жесткой проволоки, деревянную палочку и т.д.).
2. Основная сложность в выполнении данной задачи – тщательная установка линейки. Она должна быть расположена горизонтально, цилиндр должен кататься по ней устойчиво и с небольшим затуханием.

В следующей задаче экспериментальное изучение затухания колебаний используется для исследования зависимости силы сопротивления от скорости движущегося тела.

Задача 40. «Потери энергии»

Оборудование: *штатив с кольцевым держателем, шарик пластмассовый (шарик металлический), нитки, линейка, бумага миллиметровая, спички.*

При движении тела в воздухе на него действует сила сопротивления воздуха, которая зависит от скорости движения тела. Вам необходимо исследовать силу сопротивления воздуха, действующую на маятник, представляющий собой шарик, подвешенный на длинной нити. При отклонении на угол меньший 30° колебания маятника можно считать малыми. Для измерения углов отклонения нити удобно использовать полоску миллиметровой бумаги, прикрепленную к торцу стола.

1. Если сила сопротивления воздуха пропорциональна скорости $(F = -\beta_1 v)$, то амплитуда колебаний маятника A_k после k полных колебаний убывает в геометрической прогрессии

$$A_k = A_0 \lambda^k, \tag{1}$$

где A_0 - начальное отклонение маятника.

Если же сила сопротивления пропорциональна квадрату скорости $(F = -\beta_2 v^2)$, то отклонение от положения равновесия A_k после k полных колебаний убывает по гиперболическому закону

$$\frac{1}{A_k} = \frac{1}{A_0} + \lambda k. \tag{2}$$

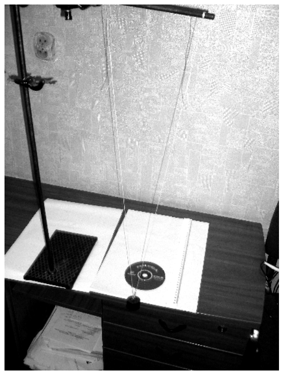
Определите экспериментально, какой закон (1) или (2) точнее описывает затухание маятника. Определите параметр λ для маятника длиной $l \approx 1 \div 2 м$.

Комментарии к условию задачи.

1. Как и многие рассмотренные ранее задачи допускают неоднозначное решение: в зависимости от длины нити, массы шарика результат может быть различным – в одних случаях ближе к формуле (1), в других к формуле (2). Поэтому данную задачу можно использовать как тему для экспериментальных исследований.
2. Для повышения точности измерений можно измерять углы отклонения маятника по тени, отбрасываемой нитью.

В заключения данного раздела своеобразный гибрид, трибореологическая задача, в которой необходимо учесть как силу сухого трения, так и силу сопротивления воздуха.

Задача 41. «Скольжение диска»



<u>Приборы и оборудование</u>: штатив с лапкой или кольцом, нитки, миллиметровая бумага, линейка с миллиметровыми делениями, скотч, компакт-диск (CD) с гладкой поверхностью, груз цилиндрический массой $M = 100г$ из стандартного набора.

В данной задаче Вам предстоит исследовать силу сопротивления, действующую на компакт-диск при его движении по миллиметровой бумаге.

При движении со скоростью v между CD массой m и бумагой действует как сила трения скольжения $F_{скольж} = \mu mg$, так и сила вязкого трения в воздушной прослойке между диском и бумагой $F_{вязк} = \beta v$. Если диску сообщить начальную скорость v_0, то путь, пройденный до остановки, описывается формулой

$$s = \frac{mv_0}{\beta}[1 - \frac{\mu mg}{\beta v_0}\ln(1 + \frac{\beta v_0}{\mu mg})], \qquad (1)$$

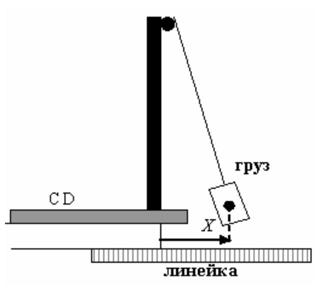
которая упрощается при $\frac{\beta v_0}{\mu mg} < 0,75$:

$$s = \frac{v_0^2}{2\mu g} - \frac{1}{3}\frac{\beta v_0^3}{m\mu^2 g^2}. \qquad (2)$$

1. Используя доступное оборудование, определите массу компакт-диска m.

2. Тело массой M, движущееся со скоростью V врезается в неподвижное тело массой m. Удар центральный и абсолютно упругий. Покажите, что скорость, с которой начнет двигаться тело m, пропорциональна V: $v_0 = \alpha V$. Определите коэффициент пропорциональности α для груза, врезающегося в компакт-диск.

3. Закрепите груз на нити максимально возможной длины, прикрепленной к лапке, так, чтобы положение равновесия груза находилось прямо у края стола. Прикрепите лист миллиметровой бумаги к столу. Закрепите деревянную линейку с нижней стороны парты при помощи скотча. Положите компакт-диск на стол и сместите его на $10мм$ от края. Отклоняя груз на разные расстояния из положения равновесия по линейке, заставляйте его врезаться в компакт-диск, сообщая тем самым диску начальную скорость. Следите за тем, чтобы удар был центральным.



Измерьте зависимость пути s, проходимого диском по бумаге, от начального отклонения груза X. Постройте график этой зависимости. Измерения начинайте с таких значений отклонения груза, при которых компакт-диск проходит по бумаге не менее 10 *мм*. Постройте график зависимости пути, проходимого диском по бумаге от его начальной скорости.

Определите коэффициент трения скольжения μ и коэффициент вязкого трения β.

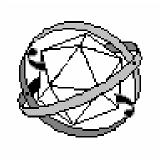
4.5 Силы упругости.

Экспериментальная проверка закона Гука открывает богатое поле для исследований, что обусловлено целым рядом причин: во-первых, этот закон прост; во-вторых, существует несколько видов деформаций; в-третьих, можно исследовать упругие свойства различных материалов; в-четвертых, далеко не всегда деформации пропорциональны приложенной нагрузке.

Закон Гука в простейшей «школьной» формулировке записывается в виде

$$F = -kx. \qquad (1)$$

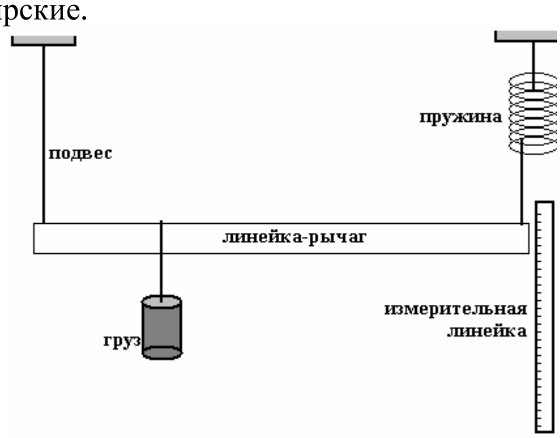
В такой форме он хорошо выполняется для пружинок. Но и в этом простейшем случае можно придумать интересную задачу, особенно, если пружинку спрятать.



Задача 43. «Белый цилиндр»

Широко известны задачи типа «черный ящик». В данном случае «черным ящиком» является белый бумажный цилиндр, внутри которого находится пружина, часть витков которой обвязана нитяной петлей.

Приборы и оборудование: Белый цилиндр, линейка 40 см с отверстиями и со стрелкой, линейка, нитки, груз массой 100 г, кнопки канцелярские.



Очевидная установка показана на схеме и собрана на торце вашего стола. Изменяя положение точки подвеса груза (x - расстояние от точки крепления линейки до точки подвеса груза) можно изменять силу, действующую на пружину.

1. Измерьте зависимость деформации пружины от действующей на нее силы. Постройте график полученной зависимости. Качественно ее объясните.

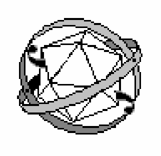
2. Определите коэффициент жесткости пружины. Оцените погрешность полученного значения.

3. Определите, какая часть витков пружины обмотана петлей.

Комментарии к условию задачи.

1. Основная сложность подготовки оборудования – подбор пружинки необходимой жесткости. Нами использовались пружинки из старой клавиатуры.
2. Конечно, данную установку можно собрать и на штативе, но не у всех они сохранились, поэтому и предлагаем ее крепить на торце стола.

Простейшие задачи можно усложнить, если «не додать» необходимого оборудования, как, например, в следующей задаче.



Задача 43. «Одна резинка, один грузик»

Оборудование: резиновый жгут, штатив с двумя лапками, линейка ученическая, груз массой m = 100 г.

<u>Задание 1</u>. Исследуйте зависимость силы упругости резинового жгута от его деформации.

<u>Задание 2.</u> Проверьте, выполняется ли при этом закон Гука.

<u>Задание 3</u>. Определите коэффициент жесткости резинового жгута при малых деформациях.

Комментарии к условию задачи.

1. Эта задача предлагалась на республиканской олимпиаде еще в прошлом веке (в 1999 году), тогда штативы еще не были «в дефиците». Сейчас можно рекомендовать монтировать установку на торце стола с помощью канцелярских кнопок.
2. Резинка должна быть достаточно жесткой (полоска резинового бинта шириной порядка 3 см) – в противном случае исследуемая зависимость может оказать нелинейной.

Закон Гука является приближенным, выполняющимся при малых деформациях. Ответ на вопрос, что же такое малые деформации, требует отдельного исследования в каждом конкретном случае. Примером такого исследования является следующая задача.

Задача 44. «Пластичность»

<u>Приборы и оборудование:</u> Штатив с лапкой, набор грузов $6\times100\,г$, две полиэтиленовых полоски, линейка, нитки.

1. Исследуете зависимость деформации растяжения полиэтиленовых полосок от нагрузки при ее увеличении и затем при ее уменьшении (режим «нагрузка-разгрузка»). Объясните полученные зависимости.
2. Определите, какая энергия, и какая доля упругой деформации перешла во внутреннюю.

Комментарии к условию задачи.

1. Полиэтиленовые полоски можно вырезать любого продовольственного пакета, ширина узкой полоски должна быть порядка 5 мм, широкой около 10 мм. Отметим, что полоски должны быть «одноразовыми» - для каждого следующего эксперимента следует брать новые, не деформированные, так в данном эксперименте остаточные деформации велики, фактически именно изучение таких деформаций и составляет цель данной работы.