

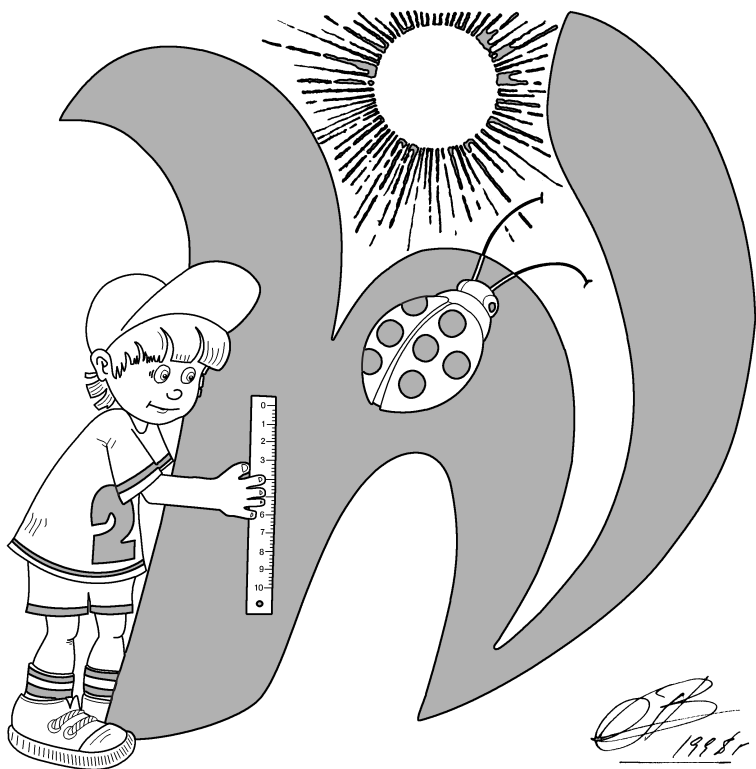
Федеральное агентство по образованию
Центральный оргкомитет Всероссийских олимпиад

XXXIV Всероссийская олимпиада школьников по физике

Окружной этап

Экспериментальный тур

Методическое пособие



МФТИ, 1999/2000 уч.г.

Комплект задач подготовлен методической комиссией по физике
Центрального оргкомитета Всероссийских олимпиад школьников
Министерства образования и науки Российской Федерации
Телефоны: (095) 408-80-77, 408-86-95.
E-mail: fizolimp@mail.ru (с припиской **antispan** к теме письма)

Авторы задач

9 класс
1. Мельниковский Л.
2. Судаков О.

10 класс
1. Дунин С.
2. Дельцов В.

11 класс
1. Васильев М.
2. Макаров А.

Общая редакция — Дунин С.

Оформление и верстка — Дидовик А., Макаров А.

При подготовке оригинал-макета
использовалась издательская система $\text{\LaTeX} 2_{\epsilon}$.
© Авторский коллектив
Подписано в печать 14 марта 2005 г. в 22:39.

141700, Московская область, г.Долгопрудный
Московский физико-технический институт

9 класс

Задача 1. Груз на трапеции

Определите массу m_2 неизвестного груза.

Оборудование. Два груза (масса m_1 одного из которых известна), нитка, миллиметровая бумага, кнопки.

Задача 2. Трение между яйцами

Известно, что из куриных яиц можно собрать на шероховатом столе пирамидку, которая будет устойчива, т.к. между скорлупками яиц действует сила трения покоя, препятствующая их качению. Определите максимальную величину коэффициента трения покоя, возникающую между скорлупой двух куриных яиц. До окончания эксперимента яйца разбивать нельзя.

Оборудование. Линейка, вертикальный упор, салфетка, которая стелится на лабораторный стол, угольник. Два куриных яйца, сваренных вкрутую, размеры и вес которых можно считать одинаковыми, хлеб, соль.

Примечание. Следует считать, что максимальная сила трения пропорциональна силе нормального давления на скорлупу. Упор покрыт материалом с высоким коэффициентом трения. По окончании эксперимента съедобное оборудование можно съесть.

10 класс

Задача 1. Рвущаяся нить

Изучите зависимость прочности нити на разрыв от ее длины (в диапазоне от 2 м до 5 см) двумя способами.

Первый способ (расточительный): нить заранее нарезается на куски разной длины и определяется их прочность.

Второй способ (экономный): берется кусок нити некоторой максимальной длины, определяется его прочность, затем более длинный из получившихся кусков используется для определения прочности при длине равной половине максимальной и т.д.

Объясните различия в результатах (если они есть) полученных этими двумя способами.

Оборудование. Нить, штатив, ножницы, линейка, набор грузов или динамометр.

Задача 2. Срыв бруска

Положите брусок на деревянную пластину, расположенную горизонтально, прикрепите к нему через нить динамометр и начните очень медленно двигать динамометр в горизонтальном направлении. В некоторый момент брусок срывается с места и, проскользив некоторое расстояние, останавливается, причем нить остается натянутой. Изучите и объясните возникающее явление (срыв бруска). Определите по результатам этого эксперимента коэффициент трения скольжения бруска по поверхности пластины.

Оборудование. Деревянный брусок, динамометр лабораторный, набор грузов (по 100 г), деревянная пластина, линейка, нить, миллиметровая бумага.

11 класс

Задача 1. Оптический чёрный ящик

Определите оптическим методом положение закрепленной внутри цилиндра линзы и ее фокусное расстояние F . Разбирать цилиндр нельзя.

Оборудование. Цилиндр с укрепленной внутри собирающей линзой, линейка, две булавки, две полоски картона, лист бумаги.

Задача 2. Отверстие и бутылка

1. Прямыми измерениями определите с максимальной точностью площадь S_0 отверстия в бутылке.

2. Предполагая справедливой формулу Торичелли, определите площадь сечения струи S_c вблизи отверстия. Объясните отличие отношения S_0/S_c от единицы.

Оборудование. Пластиковая бутылка объемом 1,5 л с небольшим круглым отверстием в вертикальной стенке, лоток, миллиметровая бумага, секундомер, ножницы, стакан, вода, скотч.

Возможные решения

9 класс

Задача 1. Груз на трапеции

Используя один из грузов и нитку в качестве отвеса, закрепим лист миллиметровой бумаги на торце стола так, чтобы линии на листе были расположены вертикально. Затем соберем установку изображенную на рисунке. Перемещением точки подвеса D следует добиться того, чтобы отрезок нити BC был горизонтален.

Очевидно, что $T_1^x + T_2^x = 0$, а $T_1^y = m_1g$ и $T_2^y = m_2g$. Измерим d_1 и d_2 и вычислим $m_2 = m_1d_1/d_2$.

Рекомендации для организаторов. В качестве грузов можно взять монеты достоинством 2 и 5 рублей или две разные гайки. Пластилина нужно совсем немного, два кусочка для крепления миллиметровой бумаги к торцу стола. Вместо него можно использовать две кнопки или булавки.

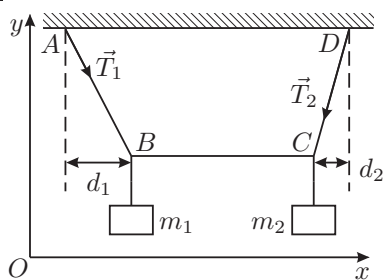


Рис. 1

Задача 2. Трение между яйцами

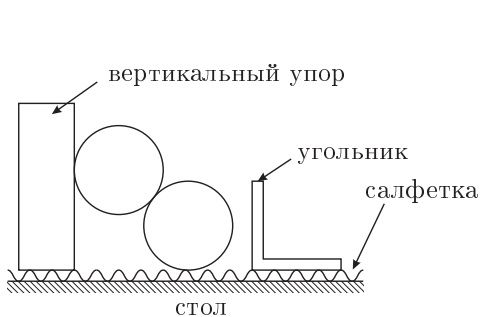


Рис. 2

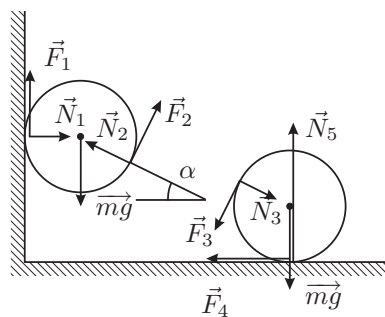


Рис. 3

Нижнее яйцо (рис. 2) следует отодвигать от вертикального упора до тех пор, пока между скорлупой яиц не возникнет проскальзывание. До этого момента при аккуратной сборке яйца неподвижны.

Рассмотрим силы, действующие на нижнее и верхнее яйца (рис. 3). Яйца неподвижны и не вращаются, поэтому: $N_1 = F_4$, $F_1 = F_2 = F_3 = F_4 = F$. Проектируя силы на ось Ox , (рис. 4) получаем:

$$F + F \sin \alpha = N_2 \cos \alpha,$$

$$\mu = \frac{F}{N_2} = \frac{\cos \alpha}{1 + \sin \alpha},$$

где α — угол, при котором начинается проскальзывание.

Величина l измеряется линейкой (рис. 5). Тогда $\cos \alpha = (l - D)/l$, где D — диаметр яйца. Коэффициент трения следует измерить несколько раз, найти среднее значение и ошибку.

Характерные результаты: $D \approx 4$ см, $l = 60 \div 70$ см, $\mu = 0,3 \div 0,4$.

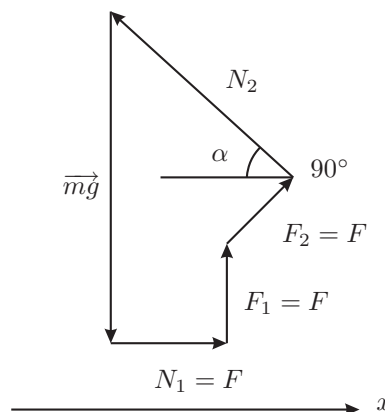


Рис. 4

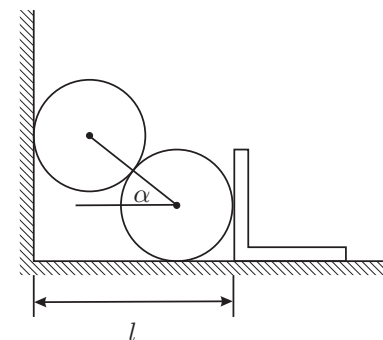


Рис. 5

Рекомендации для организаторов. Яйца следует варить “вкрутую”, причем скорлупа яиц должна быть без трещин.

Упор можно сделать из деревянного бруска размером 10 см × 10 см × 3 см с приклеенной к одной из его сторон (размером 10 см × 10 см) полоской наждачной бумаги или лейкопластыря.

В качестве угольника можно взять кусок металлического уголка 4 см × 4 см длиной 6 см.

10 класс

Задача 1. Рвущаяся нить

В обоих случаях нить выбранной длины закрепляется в штативе и нагружается грузами до тех пор, пока не разорвется. Поскольку прочность нити на различных участках несколько различна, при “расточительном” способе на графике видно, что при любой длине куска прочность колеблется относительно некоторого среднего значения случайным образом. При “экономном” способе мы сперва разрываем нить на самом слабом участке, затем — на самом слабом из оставшихся, и так далее. В результате возникает “зависимость”, порождающая впечатление, что прочность нити растет по мере уменьшения длины куска.

Рекомендации для организаторов. В качестве нити следует взять либо достаточно тонкую хлопчатобумажную нить, согласованную по прочности с имеющимся набором грузов, либо шерстяную пряжу. Следует предусмотреть достаточную длину нити выдаваемой участникам, чтобы измерения каждым из способов можно было провести не менее трех раз. Необходимо заранее проверить, что нить имеет достаточную неоднородность по прочности. Набор грузов может быть заменен динамометром, линейка — портновской сантиметровой лентой.

Задача 2. Срыв бруска

Максимальное растяжение пружины динамометра x_0 определяется максимальным значением силы трения покоя $F_n = kx_0$, где k — жесткость пружины динамометра. После этого брусок срывается и движется под действием силы трения скольжения и силы упругости пружины динамометра. По закону сохранения энергии

$$\frac{kx_0^2}{2} = \mu mg(x_0 - x_1) + \frac{kx_1^2}{2},$$

где μ — коэффициент трения скольжения, а x_1 — растяжение в момент остановки (малой скоростью движения динамометра мы пренебрегли). У этого уравнения есть два корня: $x_1 = x_0$ и $x_2 = \frac{2\mu mg}{k} - x_0$. Учитывая, что брусок сдвинулся с места, выбираем второй корень.

Если показания динамометра в момент остановки бруска обозначить через F_1 , а силу трения скольжения через $F_{ск}$, мы получим, что

$$F_{ск} = \frac{F_n + F_1}{2}.$$

Измерив динамометром вес бруска с грузами мы можем теперь найти μ .

Рекомендации для организаторов. Брусок и пластину следует взять от лабораторного трибометра, проследив, чтобы явление срыва было достаточно заметным. При необходимости можно обработать трущиеся поверхности мелкой шкуркой.

11 класс

Задача 1. Оптический чёрный ящик

Вкальваем булавку в полоску картона и устанавливаем ее на оси цилиндра. Теперь установим вторую булавку, закрепленную в полоске картона, так, чтобы ее положение совпало с положением изображения первой булавки в линзе. Для этого воспользуемся методом параллакса: будем сдвигать глаз перпендикулярно оптической оси линзы и отыщем такое положение второй булавки, что ее смещение относительно видимого нам изображения первой булавки будет минимально. Измерим расстояние между булавками и расстояние от первой булавки до ближнего к ней края цилиндра. Теперь сдвинем цилиндр вдоль его собственной оси так, что изображение первой булавки и вторая булавка снова совпадут.

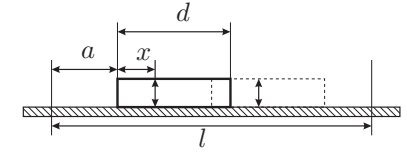


Рис. 6

В силу симметричности ситуации мы можем записать, что

$$a + x = l - a - d - x,$$

где a — расстояние от первой булавки до торца цилиндра в первом его положении, d — величина сдвига цилиндра, l — расстояние между булавками. Отсюда находим положение линзы в цилиндре:

$$x = \frac{l - d}{2} - a.$$

Фокусное расстояние линзы найдем воспользовавшись формулой тонкой линзы:

$$F = \frac{l^2 - d^2}{4l}.$$

Рекомендации для организаторов. Длина цилиндра должна быть такой, чтобы фокусы линзы находились внутри цилиндра, а двойные фокусы — вне его. Оптическая ось линзы должна совпадать с осью симметрии цилиндра. Торцы цилиндра, чтобы не было возможности измерить положение линзы непосредственно, следует закрыть каким-либо прозрачным материалом, например — тонкой пленкой, применяемой для упаковки продуктов. Внутри цилиндра следует разместить какое-либо массивное кольцо для того, чтобы положение линзы в цилиндре нельзя было найти по положению центра масс.

Задача 2. Отверстка и бутылка

Из миллиметровой бумаги изготавливается клин с малым углом раствора. Измеряется глубина, на которую этот клин можно вставить в отверстие. Отсюда легко находится диаметр и площадь отверстия S_0 .

Если уровень воды над отверстием в момент времени t равен h , то уравнение неразрывности дает:

$$S_1 v_1 = S_c v_2, \quad (1)$$

из формулы Торичелли следует:

$$\rho g h = \frac{\rho v_2^2}{2}. \quad (2)$$

Здесь S_1 и v_1 — площадь сечения бутылки и скорость опускания жидкости соответственно, а S_c и v_2 — площадь сечения струи и скорость воды в ней. Пусть за промежуток времени dt уровень h изменится на dh , тогда $v_1 = -dh/dt$. Подставляя отсюда v_1 и v_2 из (2) в (1), получаем:

$$-S_1 \frac{dh}{dt} = S_c \sqrt{2gh},$$

$$-\frac{dh}{\sqrt{h}} = -2d(\sqrt{h}) = \frac{S_c}{S_1} \sqrt{2g} dt.$$

Проинтегрировав, получим:

$$\sqrt{h} = -\frac{S_c}{S_1} \sqrt{\frac{g}{2}} t + \text{const}. \quad (3)$$

Далее следует построить график зависимости \sqrt{h} от t и по тангенсу угла наклона прямой определить величину S_c . График, полученный у автора представлен на рисунке. Отношение S_0/S_c получилось равным примерно 20.

Отличие S_0/S_c от 1 объясняется тем, что частицы жидкости в бутылке вблизи краев отверстия имеют скорости в направлениях, перпендикулярных направлению струи за отверстием. По существу, S_c — это сечение сформировавшейся струи, т. е. струи на таком расстоянии от отверстия, когда горизонтальные скорости всех частиц струи примерно одинаковы.

Рекомендации для организаторов. Бутылку удобно использовать пластиковую (с вертикальными стенками), объемом 1.5–2 л, проделав в ней на высоте около 5 см от дна отверстие диаметром 2–3 мм. Отверстие не должно иметь закраин.

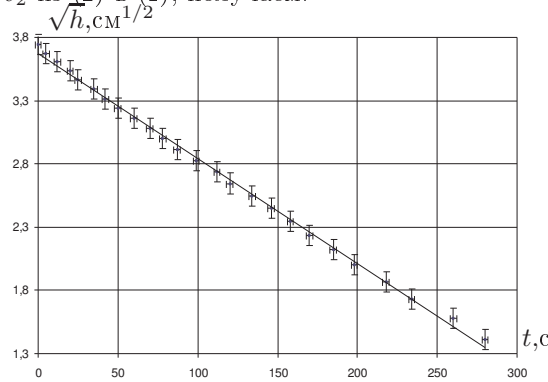


Рис. 7