

**Российская олимпиада по физике. Зональная.  
Экспериментальный тур.**

**1. 1992.** Найдите центр тяжести тела, имеющего геометрически неправильную форму.

*Оборудование:* тело геометрически неправильной формы, нить.

**2. 1992.** Исследуйте зависимость силы взаимодействия металлической гайки с подковообразным магнитом при различных положениях металлической перемычки, соединяющей полюса магнита.

*Оборудование:* подковообразный магнит, металлическая перемычка, железные опилки, гайка, нить, динамометр, миллиметровая бумага.

**3. 1993.** Определите плотность куска пластилина. Плотность воды считайте известной.

*Оборудование:* кусок пластилина, ученическая линейка, сосуд цилиндрической формы с водой.

**4. 1993.** Изготовьте из листа бумаги модель моста, выдерживающего максимальную для этой бумаги нагрузку, приложенную к центру его поверхности. Определите максимальный вес нагрузки, при которой модель еще не разрушается.

*Оборудование:* листы бумаги, линейка, два бруска, разновесы, ножницы.

*Примечание для участников:* модель устанавливается на брусках, расстояние между которыми следует сделать 25 см; ширину «моста» следует сделать равной 2 см.

**5. 1994.** Определите с максимально возможной точностью теплоемкость монеты.

*Приборы и материалы:* весы, нитки, миллиметровая бумага, монеты (3-5 шт.), сосуды с горячей и холодной водой, 2 термометра.

**6. 1994.** Определите коэффициент трения скольжения дерева о материал, покрывающий рабочий стол.

*Прибор и материалы:* 2 деревянные ученические линейки.

*Примечание:* наклонять стол ЗАПРЕЩЕНО!

**7. 1995.** Найдите отношение жесткостей двух пружин.

*Приборы и оборудование:* две пружины, лист нелинованной бумаги, карандаш или ручка.

**8. 1995.** Если в плоском образце некоторого материала существует трещина или разрез, то при создании в образце механического напряжения эта трещина может либо продолжать сохранять свои размеры, либо начать расти до полного разрушения образца. Максимальная длина трещины, при которой еще не начинается разрушение материала, называется критической длиной трещины при данной нагрузке.

Исследуйте для данного материала зависимость критической длины трещины от нагрузки.

*Приборы и оборудование:* листы исследуемого материала, приспособление для его закрепления, кнопки, линейка, лезвие, динамометр.

**9. 1996.** Найдите отношение диаметров булавок.

*Оборудование:* две линейки без деления, две булавки (или иголки), кусок фольги.

**10. 1996.** Определите температуру смеси поваренной соли со снегом (или мелко наколотым льдом).

**Оборудование:** два калориметра, весы с разновесами, калориметрическое тело на нитке с известной удельной теплоемкостью, термометр лабораторный спиртовой, сосуд с водой, мензурка с делениями.

**11. 1997.** определите плотность картофелины.

**Оборудование:** картофелина средних размеров, банка с водой, цилиндр измерительный, навески поваренной соли по 5 г, стеклянная палочка.

**12. 1997.** Определите отношение диаметров головки булавки и ее длинной части.

**Оборудование:** булавка, кусок фольги, бумага белая формата А4.

**13. 1998.** Определите массу одного метра проволоки.

**Внимание!** Исследуемую проволоку запрещается выпрямлять.

**Оборудование:** кусок проволоки, линейка, гайка, сосуд с водой, нитки.

**14. 1998.** Исследуйте зависимость периода колебаний стержня, подвешенного на нитях к штативу, от расстояния  $h$  между центром массы стержня и точкой его подвеса. Определите расстояние  $h = h_0$ , при котором период  $T$  колебаний минимален.

**Примечание:** Стержень относительно точки подвеса располагается симметрично и совершает колебания в плоскости, проходящей через точку подвеса и концы стержня.

**Оборудование:** однородный стержень, штатив, суровая нить, секундомер, линейка, миллиметровая бумага.

**15. 1999.** Перекиньте нить через вал. К ее концам прикрепите грузы массы  $m$  и  $m_0$ . Увеличьте массу  $m$ , добейтесь равномерного скольжения нити. Определите характер зависимости  $m$  от радиуса вала. Повторите эксперимент для разного числа оборотов нити вокруг вала. Опишите (качественно) зависимость  $m$  от угла  $\varphi$  охвата вала нитью.

**Оборудование:** три вала различного диаметра, нить, груз массы  $m_0$ , груз массы  $m$  (пластиковая бутылка объемом 0,5 л, в которую можно наливать требуемое количество воды).

**16. 1999.** Определите плотность соляного раствора.

**Оборудование:** сосуды с дистиллированной водой и соляным раствором, кусок пластилина, карандаш, линейка, нитки.

**17. 2000.** Определите массу  $m_2$  неизвестного груза.

**Оборудование:** два груза (масса  $m_1$  одного из которых известна), нитка, миллиметровая бумага, кнопки.

**18. 2000.** 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 значение коэффициента покоя между скорлупой двух куриных яиц. До окончания эксперимента яйца разбивать нельзя.

**Оборудование:** линейка, вертикальный упор, салфетка, которая стелется на лабораторный стол, угольник.

**Дополнительное оборудование:** два куриных яйца, сваренных вкрутую, размеры и вес которых можно считать одинаковыми, хлеб, соль.

**Примечания.** 1. Следует считать, что максимальная сила трения пропорциональна силе нормального давления на скорлупу. Упор покрыт материалом с высоким коэффициентом трения. 2. По окончании эксперимента дополнительное оборудование можно съесть.

**19. 2001.** Определите, на сколько микрон отличаются радиусы щечек (рис. 1.9) выданной вам шпульки от швейной машины.

Оборудование: шпулька от швейной машинки, линейка, три булавки, лист бумаги.

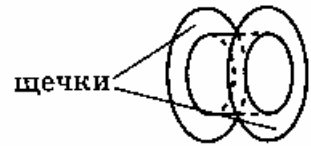


Рис. 1.9

**20. 2001.** Определите отношение масс монет разного достоинства.

Оборудование: монетки двух достоинств (по 15 – 20 штук), воздушный шарик, нитка, вода.

**23. 2003. Плотность тела.** Определить плотность выданного тела. Плотность воды  $\rho_0 = 10^3 \text{ кг/м}^3$ .

Оборудование. Мензурка, тазик с водой, деревянный цилиндр с крючками на обоих концах, гайки, блок, штатив с лапкой, кусок проволоки, нить, тело неизвестной плотности.

**24. 2003. Фокус зеркала.** На выданном вам листе бумаги начерчен фрагмент параболы и проведены линии параллельно ее оси (рис. 1). Найдите положение фокуса параболы с помощью предложенного оборудования.

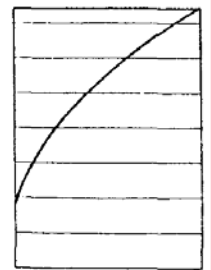


Рис. 1

Оборудование. Лист картона форматом А4, четыре булавки с круглыми головками, зеркало, линейка без делений, лист бумаги с изображенной на нем параболой.

Примечание. Параболическим называется зеркало, которое в любом сечении, проходящем через ось симметрии, имеет форму параболы. Известно, что если на такое зеркало падают лучи света параллельно оси симметрии, то после отражения все они пересекаются в одной точке, называемой фокусом.

**25. 2004. Закрепленная резинка.** Определите коэффициент жесткости резинки, закрепленной на планке. Отсоединять концы резинки от креплений запрещается. Оборудование. Деревянная планка длиной 50 см с закрепленной на ней резинкой, грузы массой  $m = 100 \text{ г}$  с проволочной петлей для их крепления к резинке, линейка, миллиметровая бумага.

**26. 2004. Коэффициент отражения стекла.** Определите коэффициент отражения стекла при падении на него света под углом  $60^\circ$ .

Оборудование. Стеклопластинка, источник тока, реостат, два ключа, соединительные провода, две лампочки на подставках, две одинаковые длиннофокусные собирающие линзы, экран, черная бумага, ножницы, рулетка.

### Решение задач.

**Решение 1.** Рекомендации для организаторов. Нить не должна выдерживать вес тела. В качестве тела неправильной формы следует взять штатив, имеющий три ножки. К одной из ножек прикрепите трубку (рис. 1).

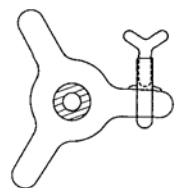


Рис. 1. Вид сверху

Охватим нитью нижнюю часть стойки штатива. Соединим концы нити и потянем за них так, чтобы тело начало скользить. Вертикальная плоскость, в которой лежит нить, проходит через центр масс тела.

Сменим точку приложения силы и повторим опыт. Перевернем штатив на бок и

еще раз повторим опыт.

Центр масс тела лежит в точке пересечения трех плоскостей.

Решение 2. Поместим на лист миллиметровой бумаги гайку, которая через нить связана с динамометром. Измерим расстояние  $l$  между свободным полюсом магнита и краем металлической перемычки, соединенной с другим полюсом. Подведем магнит с перемычкой под лист миллиметровой бумаги. Для различных  $l$  снимем зависимость силы  $F$ , действующей со стороны динамометра на гайку, от расстояния  $L$  между гайкой и серединой зазора  $l$ .

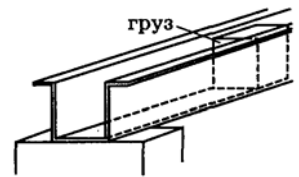
Определим силу трения  $F_{mp}$  между гайкой и бумагой. Искомая сила  $F_M = F - F_{mp}$ . Из анализа экспериментальных данных получим  $F_M \sim l$ .

Решение 3. Погружаем в сосуд с водой кусок пластилина и измеряем линейкой изменение уровня  $h_1$  жидкости в сосуде. Изготавливаем из пластилина «кораблик» и пускаем его поплавать в сосуде с водой. Вновь измеряем изменение уровня  $h_2$  жидкости. Плотность пластилина находим по формуле

$$\rho_{nl} = \frac{m_{nl}}{V_{nl}} = \frac{\rho S \cdot h_2}{S h_1} = \rho \frac{h_2}{h_1}.$$

Решение 4. Рекомендации для организаторов. 1) Бумажные листы следует брать из одной пачки; 2) максимальная ширина (диаметр) разновесов не должна превышать 2 см.

Согнем из бумаги конструкцию, изображенную на рисунке 2. Ширина «рабочей» части моста должна быть чуть больше диаметра разновесов. В этом случае стенки нагруженного моста прижмутся к разновесам и конструкция будет устойчива. Поочередно выставляя на середину моста разновесы, определяем максимально допустимую массу груза. Другие конструкции моста разрушаются при меньшей нагрузке.



Решение 5. Полезно провести предварительный эксперимент по оценке времени охлаждения горячей воды в стакане на 5 – 7 градусов. Время основного эксперимента должно быть в несколько раз меньше.

Для выполнения основного эксперимента обвяжем каждую из монет ниткой, оставив «поводок» длиной 10 – 15 см. Поместим с помощью поводка с монеты в стакан с холодной водой и после того и после того, как температура установится (скажем, на уровне  $T_x$ ), перенесем за поводки монеты в стакан с горячей водой (ее начальная температура  $T_2$ ). Запишем уравнение теплового баланса

$$NC_1(T_{c1} - T_x) = m_2 c_{y0}(T_2 - T_{c1}), \quad (1)$$

где  $T_{c1}$  – установившаяся температура воды и монет,  $C_1$  – теплоемкость монеты,  $N$  – количество монет,  $m_2$  – масса горячей воды.

Перенесем монеты в стакан с холодной водой. Выждем некоторое время. Измерим новое значение установившейся температуры  $T_{x1}$ . Вновь запишем уравнение теплового баланса:

$$NC_1(T_{c1} - T_{x1}) = m_x c_{y0}(T_{x1} - T_x), \quad (2)$$

где  $m_x$  – масса холодной воды.

Совершим аналогичный цикл с переносом монет еще раз. Запишем соответствующие уравнения (3) и (4) теплового баланса.

Решая систему уравнений (1) – (4), получим

$$C_1 = \frac{c_{yd}}{N} \frac{m_z(T_z - T_{z2}) - m_x(T_{x2} - T_x)}{T_{x2} - T_x}.$$

Примечание. Для повышения точности измерений рекомендуется наливать воды в стакан ровно столько, сколько нужно, для того, чтобы она полностью покрыла опущенные в стакан монеты. Число циклических переносов монет можно увеличить.

**Решение 6.** Рекомендации для организаторов. Желательно работу выполнять за лабораторным столом, рабочая поверхность которого покрыта линолеумом.

Выполним два опыта.

1-й. Измерим коэффициент трения  $\mu_1$  дерева по дереву путем определения угла  $\alpha$ , при котором начинается скольжение одной линейки по другой (рис. 3). В этом случае  $\mu_1 = \operatorname{tg} \alpha$ .

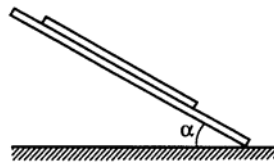


Рис. 3

2-й. Установим одну линейку вертикально, а другую – под углом к плоскости стола (рис. 4). Измерим критический угол  $\beta$ , при котором начинается скольжение наклонной линейки.

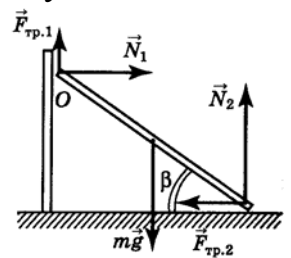


Рис. 4

Запишем второй закон Ньютона в проекции на вертикальную и горизонтальную координатные оси:

$$F_{mp1} + N_2 = mg, \quad (1)$$

$$N_1 = F_{mp2}, \quad (2),$$

где  $\mu_1 N_1 = F_{mp1}$ ,  $\mu_2 N_2 = F_{mp2}$ .

Запишем условие равенства моментов относительно полюса O.

$$mg \frac{l}{2} \cos \beta + \mu_2 N_2 l \sin \beta = N_2 l \cos \beta, \quad (3)$$

где  $l$  – длина наклонной линейки.

Решая систему уравнений (1) – (3), получим

$$\mu_2 = \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha + 2 \operatorname{tg} \beta}.$$

**Решение 7.** Рекомендации для организаторов. Пружины должны быть равными, а их жесткости отличаться примерно в два раза. На концах пружин целесообразно согнуть небольшие крючки.

Соединим пружины последовательно. Если растянуть составную пружину, то

$k_1 \Delta x_1 = F = k_2 \Delta x_2$ , где  $k_1$ ,  $k_2$  и  $\Delta x_1$ ,  $\Delta x_2$  – жесткости и удлинения соответствующих пружин.

Отношение жесткостей пружин

$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{\Delta x_2}{\Delta x_1}.$$

Чтобы измерить удлинения пружин, отметим на бумаге положение свободных концов пружин и место их соединения, затем растянем составную пружину так, чтобы соединение пружин осталось неподвижным. Вновь отметим положение концов пружин. Удлинение каждой из пружин можно измерить в относительных единицах (например, в количестве плотно сжатых витков одной из пружин).

**Решение 8.** Соберем экспериментальную установку так, как показано на рис. 5. Оба конца бумажной ленты охватывают деревянный брусок и крепятся к нему кнопками. Брусок с помощью трубки крепится к краю стола. Трубку вставляем в бумажную петлю для обеспечения равномерного натяжения по всей ширине ленты. С помощью динамометра контролируется нагрузка.

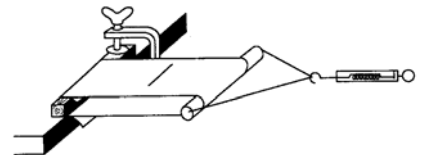


Рис. 5

Сделаем лезвием разрез. Его длину измерим линейкой. Будем увеличивать нагрузку на бумагу до тех пор, пока разрез не начнет расти.

Построим график в координатах  $1/b$  и  $F$  (рис. 6).

Из графика видим, что искомая зависимость нелинейная, причем критическая длина убывает быстрее, чем возрастает нагрузка.

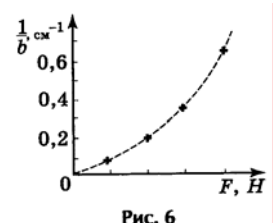


Рис. 6

**Решение 9.** Рекомендации для организаторов. Булавки (разных, но близких диаметров) следует брать с головкой в виде петельки, а иголки – с четко выраженной цилиндрической частью.

Одну из булавок положим на линейку перпендикулярно длинной стороне, накроем ее другой линейкой и прокатим булавку так, чтобы она совершила, например, 10 оборотов. Для облегчения подсчета числа оборотов, из фольги следует сделать флажок, закрепив его в ушке иглой (булавки). На листке бумаги, подложенном под нижнюю линейку, отметим начальное и конечное положения булавки. Заменим теперь булавку на другую и прокатим ее на то же расстояние, считая обороты. Отношение числа оборотов равно отношению числа диаметров.

**Решение 10.** Рекомендации для организаторов. Предлагаемая для эксперимента вода должна иметь такую температуру, чтобы при установлении теплового равновесия после погружения в нее колориметрического тела конечная температура была по возможности близка к комнатной. Если снега нет, то можно сделать лед в морозильной камере. Льда должно быть 300 – 400 г. Лабораторные термометры не должны давать возможность измерить непосредственно температуру снега и льда (около  $-20^\circ\text{C}$ ). Нижний предел температуры, который можно измерить термометром, не должен быть ниже  $-10^\circ\text{C}$ .

С помощью весов определим массу  $m_T$  колориметрического тела и массу воды  $m_B$ , находящейся в одном из колориметров. Другой колориметр заполним снегом и солью. Тщательно перемешаем содержимое этого колориметра. Температура смеси

в нем опустится приблизительно до  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Поместим калориметрическое тело в этот колориметр и выждем некоторое время, необходимое для выравнивания температуры. Перенесем тело в калориметр, наполненный водой. Измерим температуру воды  $T_o$  до и  $T_1$  после помещения в нее калориметрического тела.

Запишем уравнение теплового баланса:

$$m_T c_T (T_1 - T_x) = m_B c_B (T_o - T_1).$$

Из этого уравнения получаем расчетную формулу для определения температуры смеси соли со снегом:

$$T_x = T_1 - \frac{m_B c_B}{m_T c_T} (T_o - T_1).$$

**Решение 11.** Рекомендации для организаторов. Картофелина должна быть такой, чтобы в пресной воде тонула, а в насыщенном растворе соли всплывала. Банка должна быть от 0,5 до 1 л. Палочка необходима для размешивания соли.

Постепенно добавляя навески соли в воду, необходимо добиться всплытия картофелины. В этом случае плотности раствора и картофелины одинаковы. Зная первоначальную массу воды, массу растворенной соли и измерив с помощью измерительного цилиндра объем получившегося раствора, можно рассчитать его плотность.

**Решение 12.** Рекомендации для организаторов. Булавка необходима со шляпкой; можно использовать и маленький гвоздик. Должна быть хорошо выражена цилиндрическая часть. При необходимости фольгу можно заменить на тонкую и плотную бумагу, не пропускающую света.

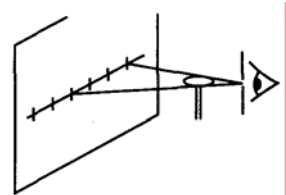


Рис. 7

Эксперимент очевиден из приведенного рисунка 7. В фольге делаем маленькое отверстие, позволяющее одновременно видеть резкое изображение булавки, находящейся близко к глазу, и далекого листа бумаги с предварительно нанесенными равными делениями. Из подобия соответствующих треугольников вычисляем искомое отношение; делим количество делений, заслоняемых головкой булавки на количество делений, заслоняемых ее длинной частью.

**Решение 13.** Изготовим рычажные весы. Для этого привяжем нитку к середине линейки (чтобы исключить массу линейки из последующих расчетов).

Выразим массу  $M$  проволоки через массу  $m$  гайки. К одному краю линейки подвесим проволоку, к другому – гайку. Допустим, гайка легче проволоки. Изменяя длину  $b$  плеча подвеса проволоки, уравновесим весы. Обозначим длину линейки через  $2R$ . Запишем условие равновесия моментов сил относительно полюса  $O$ :

$$Mb = mR. (1)$$

Найдем объем проволоки. Для этого опустим проволоку, подвешенную за нитку к весам, в сосуд с водой. Изменяя плечо подвеса проволоки, добьемся равновесия весов. Запишем условие равновесия моментов сил относительно полюса  $O$ :

$$M_{\text{эфф}} b' = mR, (2)$$

где  $b'$  – новая длина плеча подвеса проволоки,  $M_{\text{эфф}}$  – эффективная масса, которую найдем из закона Архимеда

$$M_{\text{эфф}} = M - \rho V, \quad (3)$$

где  $\rho$  – плотность воды,  $V$  – объем проволоки. Этот же объем выразим через длину  $L$  и диаметр  $D$  проволоки:

$$V = \frac{\pi D^2 L}{4}. \quad (4)$$

Из (1) – (4) выразим массу одного метра проволоки?

$$M_1 = \frac{M}{L} = \frac{\pi \rho D^2}{4 \left(1 - \frac{b}{b'}\right)}.$$

Чтобы точнее определить диаметр проволоки  $D$ , намотаем на ее прямолинейный участок от 10 до 20 витков нитки. Выразим  $D$  через число витков и длину намотанного куска нитки.

**Решение 14.** Подвесим за нити маятник к штативу. Измерим линейкой расстояние  $h$ . Возбудим колебания маятника и определим их период  $T$ . Проведем измерения периода  $T$  для различных длин  $h$ . Результаты занесем в таблицу. Построим график зависимости  $T(h)$  (рис. 8).

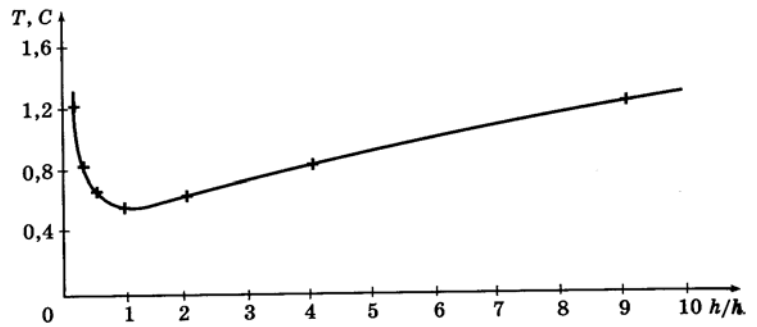


Рис. 8

Из графика видим, что при малых расстояниях  $h$  период  $T$  – большой. С увеличением  $h$  период колебаний сначала убывает, а затем, начиная с некоторой длины  $h$ , – возрастает. Аналитическая зависимость  $T(h)$  может быть выражена формулой

$$T = \sqrt{\frac{A}{h} + Bh},$$

где  $A, B$  – некоторые постоянные коэффициенты.

**Решение 15.** Рассмотрим небольшой участок поверхности вала со скользящей по нему нитью (рис. 9). Здесь  $\vec{F}$  и  $\vec{F}_1$  – силы, приложенные к концам участка нити.

$$F_1 = F + \Delta F,$$

где  $\Delta F$  – дополнительная сила, которая требуется для компенсации силы трения  $\Delta F_{\text{тр}}$ , действующей на нить со стороны рассматриваемого участка вала.

$$\Delta F = \Delta F_{\text{тр}} = \mu \Delta N, \quad (1)$$

где  $\mu$  – соответствующий коэффициент трения,  $\Delta N$  – сила реакции опоры.

Согласно рис. 10

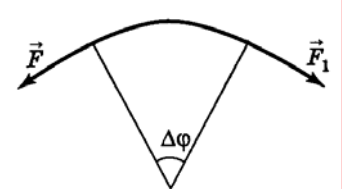


Рис. 9

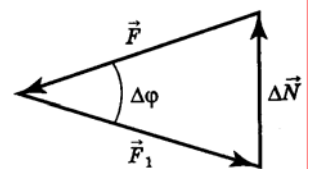


Рис. 10



$$\Delta \vec{N} + \vec{F}_1 + \vec{F} = 0 \text{ или } \Delta N = 2F \sin \frac{\Delta \varphi}{2} \approx F \Delta \varphi. \quad (2)$$

Из (1) и (2) получим  $\Delta F = \mu F \Delta \varphi$ . (3)

Поскольку  $\Delta F \sim \Delta m$ , (3) можно представить в виде

$$\Delta m = \mu m \Delta \varphi. \quad (4)$$

Из (4) видно, что  $\Delta m$  не зависит от радиуса вала.

Проверим этот вывод на опыте.

Нальем в бутылку столько воды, чтобы нить начала скользить по валу от небольшого толчка. Затем перенесем нить с грузами на другой вал. Убедимся, что наш теоретический вывод согласуется с экспериментом.

Увеличим число оборотов нити вокруг вала и повторим эксперимент. Замечаем, что для равномерного скольжения нити масса  $m$  должна возрасть гораздо быстрее, чем угол  $\varphi$ .

**Решение 16.** Рекомендации для организаторов. В качестве сосудов целесообразно использовать пластиковые бутылки объемом 0,33 или 0,5 л. У бутылок следует срезать верхнюю коническую часть.

Изготовим ареометр – прибор для измерения плотности жидкостей. Для этого из пластилина вылепим колбу, сквозь которую пропустим карандаш. Регулируя объем полости колбы добьемся равенства средней плотности  $\rho_A$  ареометра и плотности  $\rho_B$  дистиллированной воды:

$$\rho_A = \rho_B. \quad (1)$$

Опустим ареометр в соляной раствор плотности  $\rho$ . По закону Архимеда

$$\rho_A V g = \rho (V - \Delta V) g, \quad (2)$$

где  $V$  – объем ареометра, а  $\Delta V$  – объем части карандаша, возвышающейся над поверхностью воды. Из (1) и (2) получим формулу

$$\rho = \rho_B \frac{1}{1 - \frac{\Delta V}{V}}. \quad (3)$$

Объем  $V$  измерим по изменению уровня воды в сосуде с дистиллированной водой при погружении в нее ареометра.  $\Delta V$  найдем по формуле

$$\Delta V = \frac{\pi D^2 h}{4}, \quad (4)$$

где  $h$  – высота возвышающейся над поверхностью воды части карандаша,  $D$  – диаметр карандаша.

Для более точного вычисления  $D$  плотно обмотаем карандаш 10 витками ниток. По длине обмотки определим  $D$ .

Из (3) следует

$$1 - \frac{\Delta V}{V} = \frac{\rho_B}{\rho}. \quad (5)$$

Поскольку для данного раствора отношение  $\rho_B/\rho$  остается постоянным, то постоянным должно быть и отношение  $\Delta V/V$ .

Чем больше будет объем  $V$ , тем больше окажется  $\Delta V$ , тем с большей точностью

можно измерить  $\rho$ .

Следовательно, для изготовления колбы ареометра нужно использовать весь пластилин.

**Решение 17.** Рекомендации для организаторов. В качестве грузов можно взять две разные гайки или монеты достоинством в 2 и 5 рублей.

Соберем установку, изображенную на рисунке 11. С помощью кнопок прикрепим к краю лабораторного стола (точки  $A$  и  $D$ ) лист миллиметровой бумаги и кусок нити длиной 60 – 70 см. Привяжем грузы к нити в произвольных точках  $B$  и  $C$ . Перемещая вдоль нити место крепления грузов (точки  $B$  и  $C$ ), добьемся, чтобы ее участок  $BC$  стал горизонтальным. В этом случае

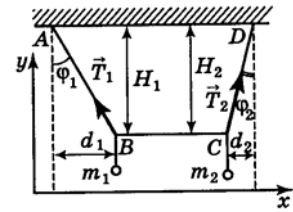


Рис. 11

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{d_1}{H_1} = \frac{T_{1x}}{T_{1y}}, \quad \operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{d_2}{H_2} = \frac{T_{2x}}{T_{2y}}, \quad (1)$$

где  $d_1, d_2, H_1, H_2$  – длины проекции участков  $AB$  и  $CD$  нити на горизонтальную и вертикальную координатные оси,  $T_{1x}, T_{2x}, T_{1y}, T_{2y}$  – соответствующие проекции сил  $T_1$  и  $T_2$  на эти же оси. Поскольку

$$H_1 = H_2, \quad (2)$$

$$T_{1x} + T_{2x} = 0, \quad (3)$$

$$T_{1y} + T_{2y} = 0, \quad (4)$$

$$T_{2y} + m_2 g = 0, \quad (5)$$

то, подставляя (2) – (5) в (1), получим

$$m_2 = m_1 \frac{d_1}{d_2}. \quad (6)$$

Миллиметровой бумагой измеряем длины  $d_1$  и  $d_2$ , после чего по формуле (6) находим массу  $m_2$ .

**Решение 18.** Рекомендации для организаторов. Яйца следует варить «вкрутую», причем скорлупа яиц должны быть без трещин.

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

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

Расположение элементов экспериментальной установки показано на рис. 12. Нижнее яйцо следует отодвигать от вертикального упора до тех пор, пока



Рис. 12

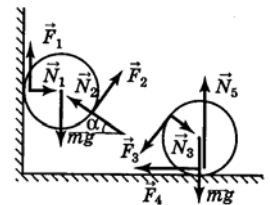


Рис. 13

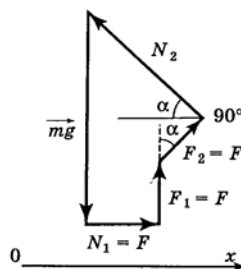


Рис. 14

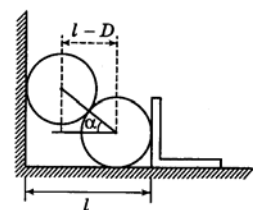


Рис. 15

между скорлупой яиц не возникнет проскальзывание. До этого момента при аккуратной сборке яйца неподвижны.

Рассмотрим силы, действующие на нижнее и верхнее яйца (см. рис. 13). Яйца неподвижны, поэтому равнодействующая внешних сил, действующих в горизонтальном направлении, равна нулю:

$$\vec{N}_1 + \vec{F}_4 = 0.$$

Яйца не вращаются, следовательно, момент сил, приложенных к каждому яйцу, равен нулю:

$$F_1 R = F_2 R, F_3 R = F_4 R.$$

В соответствии с третьим законом Ньютона  $F_2 = F_3$ . Отсюда следует:

$$N_1 = F_4, F_1 = F_2 = F_3 = F_4 = F. \quad (1)$$

Векторы сил, действующих на верхнее яйцо, показаны на рисунке 14. Проектируя силы на ось  $OX$ , получаем

$$F + F \sin \alpha = N_2 \cos \alpha. \quad (2)$$

Поскольку сила трения скольжения  $F_2 = \mu N_2$ , то из (1) и (2) находим

$$\mu = \frac{F_2}{N_2} = \frac{\cos \alpha}{1 + \sin \alpha},$$

где  $\alpha$  – угол, при котором начинается проскальзывание между скорлупками.

Схема измерения  $\cos \alpha$  приведена на рис. 15. Величину  $l$  измеряем линейкой. Тогда  $\cos \alpha = (l - D) / D$ , где  $D$  – диаметр яйца.

Коэффициент трения следует измерить несколько раз, затем найти его среднее значение и ошибку.

Характерные результаты:  $D \approx 4$  см,  $l = 6,0 \div 7,0$  см,  $\mu = 0,3 \div 0,4$ .

**Решение 19.** Рекомендации для организаторов. Диаметр одной из щечек шпильки следует сточить на 0,3 мм. Стол, на котором проводится эксперимент, должен допускать вкалывание в него булавок. Если поверхность стола не позволяет этого делать, то следует накрыть стол листом картона формата А3. Длина линейки не менее 40 см.

Установим две булавки на оси шпильки. Будем катить шпильку по столу. Из-за различия радиусов щечек шпилька будет катиться по дуге окружности радиуса  $R \approx 70$  см. Установим третью булавку в центре кривизны траектории шпильки.

Несложно показать, что  $\frac{\Delta r}{r} = \frac{L}{R}$ , где  $r$  – радиус щечки,  $L$  – расстояние между щечками,  $\Delta r$  – искомое различие радиусов. Численно:  $r = 10$  мм,  $L = 11$  мм, отсюда  $\Delta r = (150 \pm 20)$  мкм.

**Решение 20.** Рекомендации для организаторов. Шарик должен быть круглый («сосиска» не подходит). Выдается отрезок нити длиной около 10 см – она необходима для завязывания шарика. Диаметр отверстия шарика должен позволять вкладывать туда монетки обоих достоинств. Хорошо, если все участники будут иметь доступ к водопроводному крану и раковине.

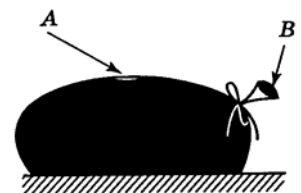


Рис. 16

Заполним шарик водой и, оставив маленький пузырек, завяжем ниткой. Положим шарик на стол и представим ему возможность прийти в равновесие. Поместим некоторое количество монеток одного достоинства в «хвостик» шарика  $B$ , отметим ручкой положение пузырька  $A$  (рис. 16). Вытащим эти монетки и посчитаем столько монеток другого достоинства потребуется, чтобы пузырек находился на том же месте. Отношение количества монет равно отношению их масс.

**Решение 23.** К одному концу деревянного цилиндра прикрепим столько проволоки, чтобы он плавал в воде вертикально, будучи погруженным в нее практически полностью. Концы нити привяжем к верхней части цилиндра и к исследуемому телу. Перекинем нить через блок. Опустим цилиндр в мензурку с водой и измерим, как меняется глубина его погружения в двух случаях: когда исследуемое тело подвешено в воздухе и когда оно находится в тазике с водой. При измерениях следует учесть трение в оси блока (или удостовериться, что им можно пренебречь).

Пусть под действием нити цилиндр в первом случае выступает из воды на высоту  $H_1$ , а во втором – на  $H_2$ . Поскольку цилиндр однороден, и система с блоком находится в равновесии, отношение веса исследуемого тела в воздухе к его весу в воде равно  $H_1/H_2$ . Отсюда плотность тела  $\rho = \rho_o H_1 / (H_1 - H_2)$ .

Рекомендации для организаторов. Для выполнения задания необходимо, чтобы: 1) гаек хватило для плавания деревянного цилиндра в вертикальном положении, почти полностью погруженным в мензурку; 2) диаметр блока был больше диаметра мензурки, а исследуемое тело в нее не помещалось; 3) вес исследуемого тела был на 25 % меньше веса деревянного цилиндра; 4) плотность тела составляла около  $1,5 \text{ г/см}^3$ , длина нити – порядка 1 м.

**Решение 24.** Вблизи любой точки параболы ее достаточно малый участок практически совпадает с касательной, проведенной к параболе в этой точке. Луч, падающий на параболическое зеркало, отразится от него под тем же углом, как и от плоского зеркала. Будем устанавливать зеркало так, чтобы его плоскость как можно точнее совпадала с касательной к параболе в точках, где она пересекается с проведенными на листе параллельными линиями, и каждый раз с помощью булавок и линейки строить ход отраженных лучей. Для этого установим две булавки на прямой линии, а две – так, чтобы они были на одной прямой с изображением первых двух булавок в зеркале. Прямая, проведенная через точки, в которые вколоты последние булавки, определит ход отраженного луча.

Из-за неточности определения положения зеркала и построений проведенные лучи будут пересекаться в близких, но не совпадающих точках. Нарисуем окружность минимального радиуса, охватывающую все точки пересечения. В качестве положения фокуса можно принять ее центр, а в качестве погрешности – ее радиус (рис. 6).

Рекомендации для организаторов. Зеркало должно иметь размер не менее 3 см в высоту и 5 см в ширину; его следует снабдить подставкой (можно приклеить на заднюю сторону деревянный брусочек), позволяющей устанавливать его на столе вертикально так, чтобы нижний край зеркала касался плоскости стола. В качестве ли-

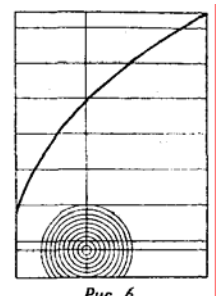


Рис. 6

нейки без делений ученикам можно предложить обычную линейку, у которой деления закрыты непрозрачной клейкой лентой.

Решение 25. Пусть  $k$  – коэффициент жесткости резинки,  $2L_o$  – ее длина в ненапряженном состоянии,  $2L_1$  – расстояние между креплениями резинки,  $2L$  – длина нагруженной резинки,  $h$  – вертикальное смещение середины нагруженной резинки,  $\alpha$  – угол между вертикалью и наклонным участком резинки (рис. 3).

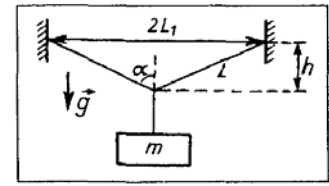


Рис. 3

Запишем условие равновесия груза на резинке:

$$mg = k(L - L_o) \cos \alpha = k(L - L_o) \frac{h}{L} = kh \left(1 - \frac{L_o}{L}\right).$$

Отсюда

$$\frac{mg}{h} = k \left(1 - \frac{L_o}{L}\right).$$

Введем обозначения:

$$y = \frac{mg}{h}, \quad x = \frac{1}{L}, \quad \text{тогда } y = k(1 - L_o x).$$

Проведем серию измерений для имеющихся грузов. Построим график зависимости  $y(x)$  (рис. 4). Он представляет собой прямую, пересекающую ось  $Ox$  в точке  $x_o$ .

Из графика находим угловой коэффициент  $b$  и  $L_o$  как величину, обратную  $x_o$ . С учетом последнего уравнения,  $k = b/L_o$ .

Оценим погрешность измерений. Для этого построим на графике кресты ошибок экспериментальных точек:

$$\frac{\Delta y}{y} = \frac{\Delta h}{h}, \quad \frac{\Delta x}{x} = \frac{\Delta L}{L}.$$

Проведем через кресты ошибок граничные прямые, которые определяют  $\Delta x_o$  и  $\Delta b$ . Тогда

$$\frac{\Delta L_o}{L_o} = \frac{\Delta x_o}{x_o}, \quad \frac{\Delta k}{k} = \frac{\Delta L_o}{L_o} + \frac{\Delta x_o}{x_o}.$$

Рекомендации для организаторов. Планку с резинкой можно прикрепить не к штативу, а к столу или спинке стула. Миллиметровая бумага формата А4. Массы грузов могут быть и другие, но желательно, чтобы они отличались в два раза. Длина резинки порядка 40 см. На планку она крепится в растянутом состоянии.

Решение 26. Расположим лампочки и линзы так, чтобы получить на экране изображения спиралей лампочек приблизительно одинакового размера. Черную бумагу можно использовать для предотвращения засветки. С помощью реостата выровняем яркости изображений. Теперь переместим одну из лампочек так, чтобы расстояние от нее до ее изображения осталось прежним, но пучок света претерпевал отражение от стекла под углом  $60^\circ$ . Изображение станет менее ярким. Закроем часть второй линзы черной бумагой так, чтобы яркости изображений снова стали равны. Отно-

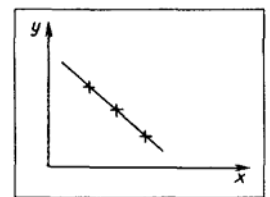


Рис. 4

шение площади не перекрытой части линзы к полной площади линзы равно коэффициенту отражения стекла.

Рекомендации для организаторов. Лампочки от карманного фонаря могут быть закреплены на стойках. Источник тока должен быть согласован с лампочками, а реостат – позволять выровнять их яркости (возможно также использование двух регулируемых источников тока). Стекло размером не менее  $5 \times 4$  см нужно установить вертикально на подставке. Фокусное расстояние линз порядка 30 см (подойдут линзы для очков). Бумаги должно быть достаточно для экранирования световых пучков лампочек друг от друга.