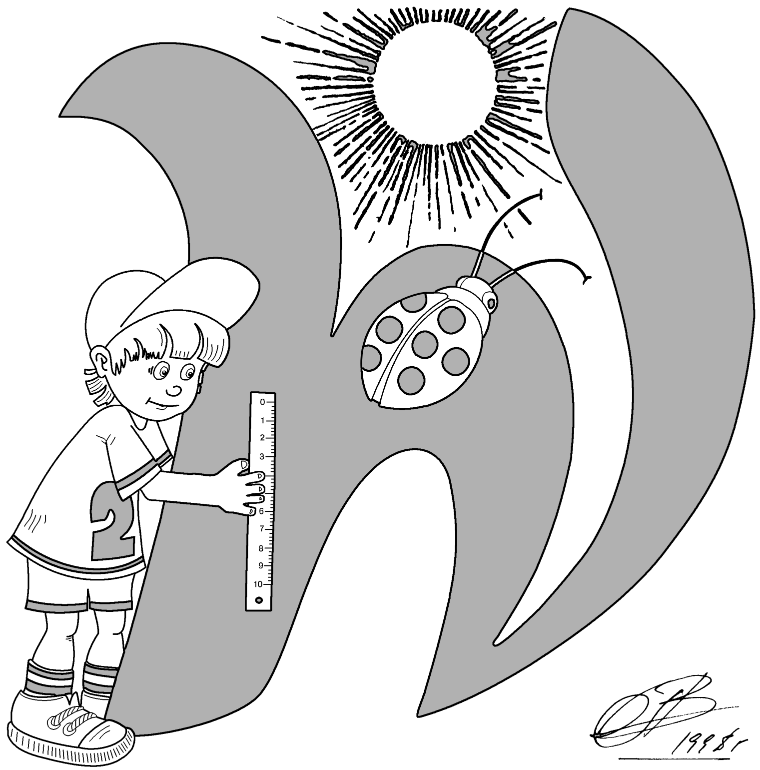
Методическая комиссия по физике
при центральном оргкомитете
Всероссийских олимпиад школьников

XLIII Всероссийская олимпиада школьников по физике

Региональный этап

Теоретический тур
Западный вариант

Методическое пособие



МФТИ, 2008/2009 уч.г.

Комплект задач подготовлен методической комиссией по физике
при центральном оргкомитете Всероссийских олимпиад школьников
Телефоны: (495) 408-80-77, 408-86-95.
E-mail: **physolymp@gmail.com**

Авторы задач

7 класс
1. Замятнин М.
2. Бушмин И.
3. Фольклор
4. Ерофеев И.

8 класс
1. Слободянин В.
2. Сеитов А.
3. Осин М., Ерофеев И.
4. Замятнин М.

9 класс
1. Ерофеев И.
2. Замятнин М.
3. Фольклор
4. Замятнин М.

10 класс
1. Варламов С.
2. Алескеров И.
3. Замятнин М.
4. Фольклор
5. Слободянин В.

11 класс
1. Ерофеев И., Тарнопольский Г.
2. Калда Я.
3. Фольклор
4. Шеронов А.
5. Слободянин В.

Общая редакция — Слободянин В.

Оформление и вёрстка — Гущин И., Ерофеев И., Сметнёв Д.

При подготовке оригинал-макета
использовалась издательская система $\LaTeX\,2_\varepsilon$.

Подписано в печать 23 ноября 2008 г. в 00:12.

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

Задача 5. Интересное соседство

Так как карась (К) плавает в воде, то он смотрит на золотую рыбку (ЗР) через линзу из воздуха, оптическая сила которой равна:

$$D = (n_{12} - 1)\left(-\frac{1}{R} - \frac{1}{R}\right) = \left(\frac{1}{n} - 1\right)\left(-\frac{2}{R}\right) = \frac{1}{2R}.$$

Запишем формулу тонкой линзы, связав тем самым положение рыбки с положением её изображения в линзе:

$$\frac{1}{R} + \frac{1}{x_1} = \frac{1}{2R},$$

где x_1 — расстояние от линзы до изображения рыбки, отсчитываемое вдоль оси x (рис. 21). Тогда $x_1 = -2R$, что говорит о том, что изображение рыбки будет мнимым и расстояние до него от карася равно $r = R - x_1 = 3R$.

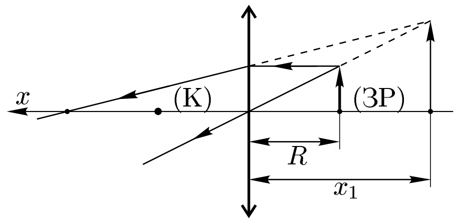


Рис. 21

Увеличение, даваемое линзой, равно $\Gamma = |x_1/R| = 2$. Карась увидит прямое увеличенное изображение рыбки.

Критерии оценивания

Фокусное расстояние воздушной линзы 4
Расстояние от карася до изображения рыбки 2
Увеличение изображения рыбки 2
Ответ на третий вопрос 2

Задача 4. Цепь с катушкой

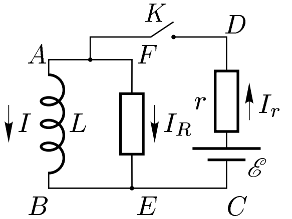


Рис. 20

Энергия, запасённая в катушке индуктивности, выражается как $W = LI^2/2$, где I — ток, текущий через катушку.

Дифференцируя выражение для энергии по времени, получим:

$$\frac{dW}{dt} = LI\frac{dI}{dt} = UI, \tag{6}$$

где через U обозначена ЭДС самоиндукции, возникающая в катушке.

Записывая второе правило Кирхгофа для контура $ABEF$, содержащего катушку индуктивности и неизвестный резистор сопротивлением R (рис. 20), получим, что сила тока, проходящего через резистор R, равна $I_R = U/R$.

Записывая второе правило Кирхгофа для внешнего контура $ABCD$, содержащего индуктивность и источник тока с известным сопротивлением, получаем, что $I_r = (\mathscr{E} - U)/r$, где I_r — сила тока, идущего через резистор r.

Тогда сила тока, идущего через катушку, равна

$$I = I_r - I_R = \frac{R\mathscr{E} - (R+r)U}{Rr}. \tag{7}$$

Исследуем на максимум выражение (6):

$$\frac{dW}{dt} = UI = U\frac{\mathscr{E}}{r} - U^2\frac{R+r}{Rr}.$$

Это квадратный многочлен, представляющий из себя уравнение параболы, и dW/dt достигает максимума при

$$U = \frac{R}{2(R+r)}\mathscr{E}.$$

Подставляя это выражение в (7), получим, что сила тока, идущего через катушку в момент размыкания ключа равна $I_{\max} = \mathscr{E}/(2r)$, и в цепи выделится количество теплоты, равное:

$$Q = W_0 = \frac{L\mathscr{E}^2}{8r^2}.$$

Критерии оценивания

Выражение для тока через катушку 2
Скорость изменения энергии 3
Напряжение при максимальной скорости изменения энергии 3
Ответ 2

7 класс

Задача 1. Две шкалы

Когда в доме включили отопление, температура в комнате стала медленно расти и за 45 минут увеличилась на 5 °C. Найдите, с какой средней скоростью (в мм/ч) поднимался верхний край столбика ртути. Для удобства слева от шкалы термометра приложили линейку (рис. 1).

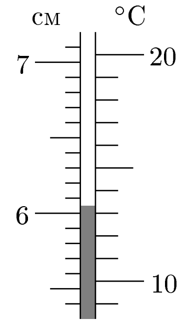


Рис. 1

Задача 2. Винни-Пух и точное время

Отправляясь навестить Кролика, Винни-Пух заметил, что его настенные часы стоят, показывая 10 часов 35 минут. Он их завёл и пошёл в гости. Войдя в дом к Кролику, первым делом Винни посмотрел на часы. На них было 10 часов 10 минут. Через 3 часа, после того как весь мёд был съеден, медвежонок отправился в обратный путь. Когда он вернулся, его часы показывали 2 часа 5 минут. Винни немедленно перевёл стрелки на точное время. Какое время он выставил на своих часах? Известно, что всё путешествие заняло меньше шести часов.

Задача 3. Обманчивый куб

В мастерской изготовили из алюминия плотности $\rho_1 = 2{,}70$ г/см^3 куб с ребром $a = 10$ см. Внутри куба осталась полость, которую потом залили свинцом плотности $\rho_2 = 11{,}30$ г/см^3. В результате измерений неопытный лаборант подумал, что перед ним кубик из латуни плотности $\rho = 8{,}72$ г/см^3. Определите объём полости в кубе.

Задача 4. Стыдно!

Честный мальчик Петя вышел из дома в школу. По дороге он нашёл велосипед и, поскольку опаздывал, решил воспользоваться находкой и доехать на нём, подумав, что потом обязательно вернёт велосипед на место. В результате, вся дорога в школу заняла 14 минут.

Возвращаясь обратно, он вспомнил о своём намерении только подъезжая к дому. Пете стало стыдно, и он вернулся к месту находки, оставил там велосипед и пешком дошёл до дома. Таким образом, дорога из школы заняла у него 22 минут.

Как далеко от дома лежал велосипед, если на нём Петя мчался со скоростью 15 км/ч.

8 класс

Задача 1. Скорый поезд и электричка

Экспериментатор Глюк наблюдал за встречным движением скорого поезда и электрички. Оказалось, что каждый из поездов прошёл мимо Глюка за одно и то же время $t_1 = 23$ с. А в это время друг Глюка, теоретик Баг, ехал в электричке и определил, что скорый поезд прошёл мимо него за $t_2 = 13$ с. Во сколько раз скорый поезд длиннее электрички?

Задача 2. Определение плотности

Экспериментатор Глюк проводил исследования с телами равного объёма. Он удерживал с помощью динамометра тело полностью погруженным в воду и обнаружил, что во всех опытах показания динамометра составляли либо $F_1 = 1$ Н, либо $F_2 = 2$ Н. Плотность самого тяжёлого тела Глюк определил экспериментально: $\rho_т = 1{,}4$ г/см^3.

1. Определите объём V одного тела.

2. Найдите все возможные для описанного опыта плотности других тел.

Примечание. Плотность воды $\rho_0 = 1$ г/см^3, $g = 9{,}8$ Н/кг.

Задача 3. Что такое psi?

Теоретику Багу подарили английский барометр, который измеряет давление в необычных для нас (и обычных для англичан) единицах psi (с англ. **p**ound-force per **s**quare **i**nch — давление, которое оказывает вес одного фунта на квадратный дюйм). Багу захотелось перевести показания 15,0 psi в паскали. К сожалению, у него не оказалось таблиц для перевода единиц измерения давления, но он обнаружил финансовый журнал, в котором нашёл статью, посвящённую стоимости золота в России и Англии.

Таблица 1

	В России	В Англии
Слитки	522,0 тыс. руб./кг	5 413 £/фунт
Проволока	10,07 тыс. руб./метр	5,845 £/дюйм

Золото можно было купить либо в слитках, либо в проволоке стандартного сечения (табл. 1). Помогите Багу понять сколько паскалей всё-таки показывает барометр, если реальная стоимость золота в России и Англии одинакова, а по данным Центробанка фунт стерлингов стоит £ = 43 рубля 78 копеек. Принять $g = 9{,}8$ Н/кг.

за $T_0 = 24$ часа Земля бы обернулась на один оборот и смещение составило бы 12 клеток. Значит, период станции $T = (0{,}75/12)T_0 = T_0/16 = 1{,}5$ ч.

Ускорение свободного падения на расстоянии R' от центра Земли составит $g' = g(R/R')^2$. Таким образом получим, что $g' \propto R'^{-2}$. Так как $T' = 2\pi\sqrt{R'/g'}$, то $T' \propto R'^{3/2}$. Следовательно, квадраты радиусов орбит относятся, как кубы периодов (это соотношение носит название третьего закона Кеплера).

Откуда найдём:

$$\left(\frac{T}{T_1}\right)^2 = \left(\frac{R+h}{R}\right)^3, \qquad h = \left(\left(\frac{T}{T_1}\right)^{\frac{2}{3}} - 1\right) R \approx 280 \text{ км}.$$

Критерии оценивания

Период обращения спутника, движущегося на уровне Земли 2
Период обращения станции 3
Применение третьего закона Кеплера и получение ответа 5

Задача 3. Колебания системы

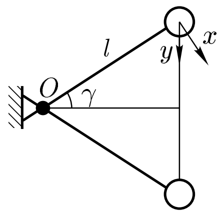


Рис. 19

Пусть в равновесии стержни составляют угол 2γ (рис. 19). Тогда при малом смещении шариков на x из положения равновесия, пружина сожмётся на $2y = 2x\cos\gamma$.

Кинетическая энергия системы:

$$K = \frac{\alpha \dot{x}^2}{2} = \frac{2m\dot{x}^2}{2},$$

где $\dot{x}$ — скорость шариков.

Потенциальная энергия:

$$\Pi = \frac{\beta x^2}{2} = \frac{4kx^2\cos^2\gamma}{2}.$$

Следовательно, период колебаний:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\alpha}{\beta}} = 2\pi\sqrt{\frac{2m}{4k\cos^2\gamma}} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}.$$

Откуда найдём $\cos\gamma = 1/\sqrt{2}$ и угол $\gamma = \pi/4$. Таким образом, искомая длина пружины $L = 2l\sin\gamma = l\sqrt{2}$.

Критерии оценивания

Выражение сжатия пружины через смещения шариков 1
Кинетическая энергия системы 3
Потенциальная энергия системы 3
Определение угла между стержнями 2
Ответ для L 1

11 класс

Задача 1. Неплоский процесс

Поскольку, величины p, V и T связаны уравнением состояния, то, следовательно, в сложном процессе меняется количество вещества.

1. В изотермических процессах $T = \text{const}$, то есть графики этих процессов параллельны плоскости pV. Таких процессов четыре: 1–2, 2–3, 4–5 и 5–6.

2. Внутренняя энергия одноатомного газа

$$U = \frac{3}{2}\nu RT = \frac{3}{2}pV. \qquad (5)$$

Таким образом,

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2}(3pV - pV) = 3pV,$$

$$\Delta U_{23} = \frac{3}{2}(9pV - 3pV) = 9pV,$$

$$\Delta U_{45} = \frac{3}{2}(3pV - 9pV) = -9pV,$$

$$\Delta U_{56} = \frac{3}{2}(pV - 3pV) = -3pV.$$

3. Графики оставшихся процессов (3–4 и 6–1) параллельны оси T, а значит, они происходят при $p = \text{const}$ и $V = \text{const}$. По формуле (5) изменение внутренней энергии в этих процессах равно нулю, а изменение температуры компенсируется изменением числа молей.

Критерии оценивания

Изотермические процессы 2

Изменения энергии в них 4

Процессы, протекающие без изменения внутренней энергии 4

Задача 2. Космическая станция

Найдём период обращения спутника на уровне земли:

$$T_1 = \frac{2\pi R}{v_1} = 2\pi\sqrt{\frac{R}{g}} = 5\,070 \text{ с} = 1{,}41 \text{ ч},$$

где $v_1 = \sqrt{gR}$ — первая космическая скорость.

Определим период обращения МКС. Если бы Земля не вращалась, то станция пересекала бы экватор в одних и тех же точках. Но поскольку Земля вращается, она успевает повернуться за это время на некоторый угол и станция пролетает второй раз в точке, которая находится немного западнее (Земля вращается с запада на восток). Поэтому траектория станции немного смещается. За период обращения станции её смещение составляет 0,75 клетки. Но

Задача 4. «Джоулеметр»

Экспериментатор Глюк создал «джоулеметр». Прибор состоял из алюминиевого стаканчика, частично заполненного водой. Стаканчик был обёрнут пенопластом (для исключения теплообмена с окружающей средой). Через небольшое отверстие в пенопластовой крышке Глюк опустил в стакан термометр, позволяющий измерять температуру в диапазоне от +10 до +90 °C. Цена деления термометра 1 °C. Масса стаканчика $m = 50$ г. Рядом со шкалой термометра Глюк поместил подвижную шкалу с ценой деления в 1 кДж. Перед началом эксперимента он откалибровал «энергетическую» шкалу так, чтобы её ноль совпал с начальной температурой воды в «джоулеметре». Затем экспериментатор поместил в прибор испытуемое тело (горячее или холодное) и после установления теплового равновесия определил по энергетической шкале, сколько джоулей отдало (получило) тело в результате теплообмена с прибором.

1. Сколько воды было в приборе, если одному делению шкалы термометра соответствует одно деление шкалы «джоулеметра»?

2. В каком диапазоне можно измерять количество теплоты, отданное или полученное исследуемым телом, если начальная температура «джоулеметра» была +20 °C?

Удельная теплоёмкость алюминия $c = 920$ Дж/(кг·°C), теплоёмкость воды $c_0 = 4200$ Дж/(кг · °C).

9 класс

Задача 1. Табурет

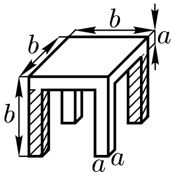


Рис. 2

Толщина сидения деревянного табурета «Лакк» равна толщине ножек. Основными стандартными показателями табуретов «Лакк» являются давление $p_0 = 2{,}8$ кПа, которое он оказывает на пол, стоя на ножках, и коэффициент $\beta_0 = 1{,}6$, равный отношению площади сидения к площади поверхности одной из боковых сторон.

Экспериментатору Глюку привезли бракованный табурет: у него не хватает двух противоположных ножек (рис. 2). Какими показателями p_1 и β_1 будет довольствоваться экспериментатор?

Задача 2. Вода и масло

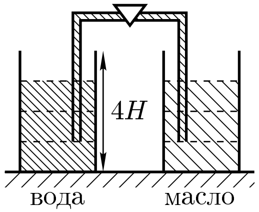


Рис. 3

Два стакана высотой $4H$ заполнены до уровня $3H$ водой и маслом соответственно (рис. 3). Плотность воды $\rho_0 = 10^3$ кг/м^3, а плотность масла $\rho_{\text{М}} = 0{,}8 \cdot 10^3$ кг/м^3. Сверху стаканы соединены заполненной водой тонкой трубочкой с краном. Открытые концы трубки погружены на $2H$ в каждую из жидкостей. Какие уровни установятся в стаканах, если кран открыть?

Задача 3. Электронный ключ

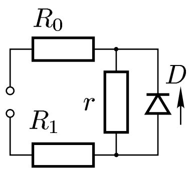


Рис. 4

В электрической цепи (рис. 4) сопротивление резисторов $R_0 = 15$ Ом, $r = 16$ Ом. Параллельно резистору r подсоединён электронный ключ D (диод). Вычислите сопротивление резистора R_1, если суммарная мощность, выделяемая на резисторах R_1 и r, не зависит от полярности приложенного напряжения.

Примечание. Полупроводниковый диод — это электронное устройство, которое пропускает электрический ток только в одном направлении (по стрелке на рисунке 4). При этом сопротивление диода пренебрежимо мало.

Задача 4. Старый график

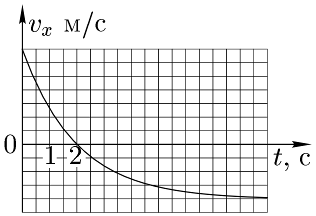


Рис. 5

В архивах экспериментатора Глюка нашли график (рис. 5) изменения со временем проекции на вертикальную ось скорости шарика, который был выпущен из пневматического пистолета вертикально вверх с балкона 17-го этажа. Масштаб на оси скорости от времени выцвел, а на оси времени частично сохранился. Определите начальную скорость шарика и скорость, с которой шарик упал на землю. Ветра в день эксперимента не было.

Задача 4. В поисках максимума

Запишем выражение для мощности, выделяющейся на резисторе R:

$$P = I(U - Ir) = UI - rI^2.$$

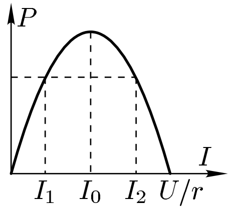


Рис. 18

Видно, что график $P(I)$ представляет собой параболу, проходящую через начало координат (рис. 18). Парабола симметрична относительно прямой, параллельной оси ординат, проходящей через её вершину. С одной стороны, абсцисса вершины равна $I_0 = U/(2r)$, с другой стороны, из симметрии ветвей параболы $I_0 = (I_1 + I_2)/2$. Таким образом, получим, что $U = (I_1 + I_2)r$. Воспользуемся этим выражением для мощности в первом или втором случае:

$$P_0 = (I_1 + I_2)rI_1 - rI_1^2 = I_1 I_2 r, \qquad r = \frac{P_0}{I_1 I_2}, \qquad U = \frac{I_1 + I_2}{I_1 I_2} P_0.$$

Теперь не составит труда определить ординату вершины:

$$P_{\max} = \frac{(I_1 + I_2)^2}{4 I_1 I_2} P_0 = 25 \text{ Вт}.$$

Критерии оценивания

Зависимость мощности от тока в цепи 2
Значение мощности при $I = I_1$ или $I = I_2$ 4
Максимум мощности 4

Задача 5. Необычная теплоёмкость

Поскольку теплоёмкость в процессе была постоянна, то подведённая теплота $Q = C\nu\Delta T$ и можно записать:

$$\alpha = \frac{A}{Q} = \frac{Q - \Delta U}{Q} = \frac{C\nu\Delta T - (3/2)\nu R\Delta T}{C\nu\Delta T} = \frac{C - 3R/2}{C}.$$

Тогда искомая теплоёмкость $C = \dfrac{3R/2}{1 - \alpha} = -R$.

Критерии оценивания

Работа и подведённое тепло при приращении температуры 5
Ответ 5

Осталось рассмотреть случай, когда $m_2 < m_1 - \mu M$. Тогда сила трения направлена вправо, и из уравнений (2), (3) и (4), проводя аналогичные вычисления, получим:

$$F = T_1 = \frac{M(1+\mu) + 2m_2}{m_1 + m_2 + M} m_1 g.$$

Критерии оценивания

Уравнения движения динамометра и грузов 4
Показания динамометра, когда он неподвижен 2
Показания динамометра, когда он движется влево 2
Показания динамометра, когда он движется вправо 2

Задача 3. Вода и бензин

Изначально давления у левого и правого концов трубки разные, и, так как плотность воды больше плотности бензина, вода начнёт переливаться по трубке в сосуд с бензином. Там вода будет опускаться на дно и достигнет некой высоты h. Предположим $h < H$. Тогда условие равенства давлений по обе стороны трубки:

$$p_1 = \rho_0 g(8H - h), \qquad p_2 = \rho_{\text{Б}}(8H + h), \qquad p_1 = p_2,$$

$$h = 8H\frac{\rho_0 - \rho_{\text{Б}}}{\rho_0 + \rho_{\text{Б}}} = 1\frac{13}{43}H > H.$$

Значит, наше предположение было неверным и вода поднимется выше конца трубки. В этом случае равенство давлений записывается следующим образом:

$$p_1 = \rho_0 g(8H - h), \qquad p_2 = \rho_{\text{Б}} g \cdot 9H + \rho_0 g(h - H), \qquad p_1 = p_2,$$

$$h = 9H\frac{\rho_0 - \rho_{\text{Б}}}{2\rho_0} = 1\frac{13}{50}H.$$

Видим, что $h < 2H$ и уровень бензина не поднимется до края стакана. Окончательно, уровни жидкости в сосуде с водой h_1 и в сосуде, в котором был бензин, h_2:

$$h_1 = 9H - h = 7\frac{37}{50}H, \qquad h_2 = 9H + h = 10\frac{13}{50}H.$$

Критерии оценивания

Условие равенства давлений на уровне концов трубки 5
Высота столба перетёкшей воды 2
Ответ 3

10 класс

Задача 1. Два против одного

Три одинаковые длинные «резинки», которые при растяжении подчиняются закону Гука, уложили параллельно друг другу и совместили концы, которые с одной стороны связали узлом. Два свободных конца взял в руки Вася, а третий свободный конец — Петя. Вася, держа концы резинок, бежит на север со скоростью 8 м/с, а Петя, держа свою резинку, бежит на восток со скоростью 9 м/с. В тот момент, когда резинки выпрямились и совсем немного растянулись, они расположились в направлении «восток–запад». С какой по модулю скоростью двигался в этот момент узел?

Задача 2. Динамометр

В установке (рис. 6) масса динамометра равна M, а массы грузов — m_1 и m_2. Коэффициент трения между динамометром и поверхностью стола μ. Участки AB и CD нити горизонтальны. Массами обеих нитей, блоков, а также пружинки можно пренебречь. Найдите показания динамометра, если они постоянны.

Рис. 6

Задача 3. Вода и бензин

Два стакана высотой $11H$ заполнены до уровня $9H$ водой и бензином соответственно (рис. 7). Плотность воды $\rho_0 = 1$ г/см^3, а плотность бензина $\rho_{\text{Б}} = 0{,}72$ г/см^3. Сверху стаканы соединены заполненной водой тонкой трубочкой с краном. Открытые концы трубки погружены на $8H$ в каждую из жидкостей. Какие уровни установятся в стаканах, если кран открыть?

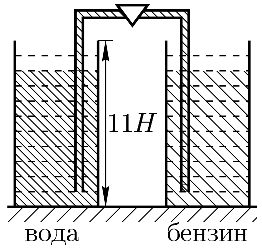


Рис. 7

Задача 4. В поисках максимума

Электрическая цепь (рис. 8) подключена к сети постоянного напряжения. При изменении сопротивления переменного резистора R, на нём выделяется мощность $P_0 = 16$ Вт при токе $I_1 = 1$ А и $I_2 = 4$ А. Определите наибольшую мощность $P_{\max}$, которая может выделяться на резисторе R.

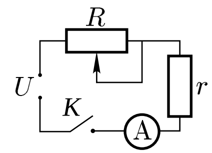


Рис. 8

Задача 5. Необычная теплоёмкость

Идеальный одноатомный газ расширился в политропном процессе. При этом оказалось, что отношение совершённой газом работы к количеству подведённой к нему теплоты составило $\alpha = 2{,}5$. Вычислите молярную теплоёмкость C газа в этом процессе.

Примечание. Политропным называется процесс, протекающий с постоянной теплоёмкостью.

11 класс

Задача 1. Неплоский процесс

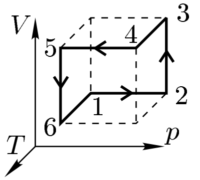


Рис. 9

Над одноатомным идеальным газом производят сложный процесс, показанный на рисунке 9, который состоит из шести простых процессов. У точки 1 координаты (p, V, T), а у точки 4 — $(3p, 3V, 3T)$. График каждого из простых процессов параллелен одной из координатных осей.

1. Среди простых процессов найдите все изотермические.
2. Определите в них изменение внутренней энергии газа.
3. Найдите все процессы, изменение внутренней энергии которых $\Delta U = 0$.

Задача 2. Космическая станция

На большом экране в Центре управления полётами отображается траектория Международной космической станции (МКС) — след от пересечения поверхности Земли прямой, проведённой от центра Земли к станции (рис. 10). Станция движется по круговой орбите.

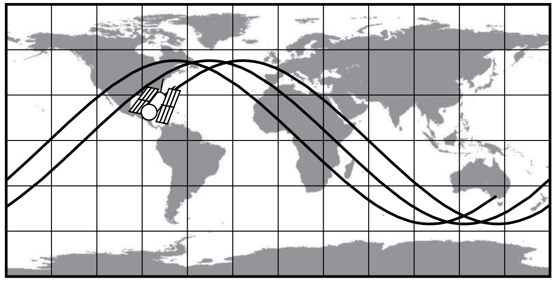


Рис. 10

Оцените с помощью данного рисунка высоту h космической станции над поверхностью Земли. Считайте, что радиус Земли равен $R = 6\,380$ км, ускорение свободного падения на поверхности земли $g = 9{,}81$ м/с^2.

Задача 3. Колебания системы

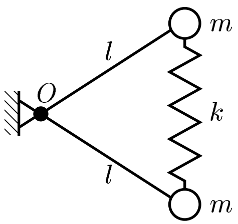


Рис. 11

Период малых колебаний системы (рис. 11) около положения равновесия равен $T = 2\pi\sqrt{m/k}$, где m — масса каждого из шариков, а k — жёсткость пружины. Соединение лёгких стержней шарнирное и закреплено в точке O. Найдите длину L пружины в нерастянутом состоянии.

Задача 2. Динамометр

Обозначим через a ускорение груза m_1, через T_1 — силу натяжения нити, привязанной к грузу m_1, а через T_2 — к грузу m_2 (рис. 17). Поскольку в процессе движения никакие силы не изменяются, то ускорения динамометра и второго груза по величине также равны a. Запишем уравнения движения для каждого из грузов и динамометра в общем случае. В проекции на вертикальную и горизонтальную ось:

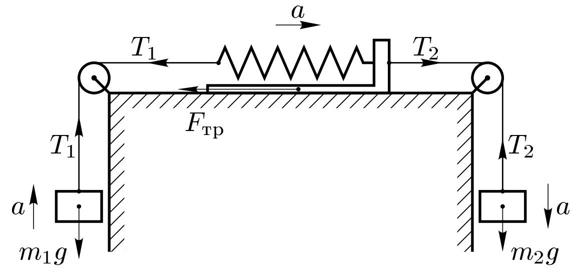


Рис. 17

$$m_1 a = T_1 - m_1 g, \tag{2}$$

$$m_2 a = -T_2 + m_2 g, \tag{3}$$

$$Ma = T_2 - F_{\text{тр}} - T_1, \tag{4}$$

где $F_{\text{тр}}$ — сила трения, действующая на динамометр.

Найдём условие, при котором динамометр не проскальзывает. В этом случае $a = 0$, а условие выглядит как $|F_{\text{тр}}| \leqslant F_{\text{трmax}} = \mu M g$. Из предыдущей системы уравнений при $a = 0$ получаем, что $F_{\text{тр}} = T_2 - T_1 = (m_2 - m_1)g$, и записанное условие примет вид:

$$-1 < \frac{m_2 - m_1}{\mu M} < 1.$$

В этом случае показания динамометра:

$$F = T_1 = m_1 g.$$

Теперь рассмотрим случай, когда между столом и динамометром есть проскальзывание, то есть $|m_2 - m_1| > \mu M$. В этом случае $|F_{\text{тр}}| = \mu M g$.

Пусть $m_2 > m_1 + \mu M$. Тогда сила трения направлена влево, и из уравнений (2), (3) и (4) получаем:

$$a = \frac{T_1}{m_1} - g, \qquad T_2 = 2m_2 g - \frac{m_2}{m_1} T_1,$$

$$\frac{M}{m_1} T_1 - Mg = 2m_2 g - \frac{m_2}{m_1} T_1 - T_1 - \mu M g.$$

Из последнего уравнения системы получаем, что показания динамометра равны:

$$F = T_1 = \frac{M(1-\mu) + 2m_2}{m_1 + m_2 + M} m_1 g.$$

10 класс

Задача 1. Два против одного

Обозначим скорость Васи через $v_{\text{В}}$, а скорость Пети — через v_{Π}. Разложим движение узла по двум направлениям: вдоль резинок и поперёк них, то есть спроецируем скорость узла на оси Ox (направлена на восток) и Oy (направлена на север).

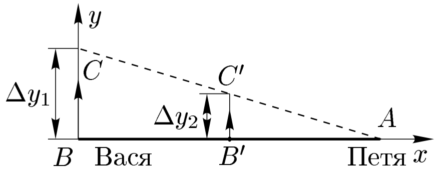


Рис. 16

Рассмотрим малый промежуток времени Δt. За это время Вася пробежит вдоль оси Oy расстояние $\Delta y_1 = v_{\text{В}}\Delta t$. Так как смещение Пети мало по сравнению с расстоянием AB, то им можно пренебречь. По условию $BB' = B'A$. Тогда из подобия треугольников ABC и $AB'C'$ (рис. 16) видно, что за то же самое время Δt узел сместится вдоль оси Oy на расстояние $\Delta y_2 = v_{\text{В}}\Delta t/2$. То есть проекция скорости узла на вертикальную ось равна $v_y = v_{\text{В}}/2 = 4$ м/с.

Вася держит в руке две резинки, которые можно считать одной с жёсткостью в два раза большей. Узел практически невесом, поэтому силы, с которыми на него действуют резинки, должны быть равны:

$$2k\Delta x_{\text{В}} = k\Delta x_{\Pi}, \qquad (1)$$

где k — жёсткость одной резинки, $\Delta x_{\text{В}}$ и Δx_{Π} — удлинения резинок со стороны Васи и Пети соответственно. Сумма этих смещений за время Δt равна расстоянию, пробегаемому Петей, то есть $\Delta x_0 = v_{\Pi}\Delta t = \Delta x_{\text{В}} + \Delta x_{\Pi}/$ Из уравнения (1) получим, что $v_{\Pi}\Delta t = 3\Delta x_{\text{В}} = 3v_x\Delta t$, так как скорость узла вдоль оси Ox равна $v_x = \Delta x_{\text{В}}/\Delta t$. Отсюда получаем, что $v_x = (1/3)v_{\Pi} = 3$ м/с.

Значит, полная скорость узла по теореме Пифагора:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = 5 \text{ м/с}.$$

Критерии оценивания

Компонента скорости узла в направлении на север 3
Связь растяжений одной и двух резинок 2
Компонента скорости узла в направлении на восток 3
Полная скорость узла 2

Задача 4. Цепь с катушкой

Электрическая схема (рис. 12) состоит из источника постоянного тока с ЭДС $\mathscr{E}$ и внутренним сопротивлением r, индуктивности L и сопротивления неизвестной величины.

Ключ K в схеме сначала замыкают, а затем размыкают в тот момент, когда скорость изменения энергии, запасённой индуктивностью, достигает максимума. Какое количество теплоты выделится в схеме после размыкания ключа?

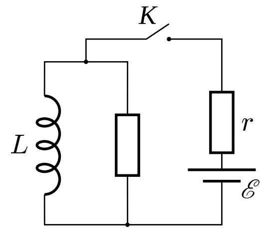


Рис. 12

Задача 5. Интересное соседство

В речке поймали карася и посадили в шарообразный аквариум радиуса R, а рядом поставили точно такой же аквариум с золотой рыбкой (рис. 13). Карасю такая соседка показалась необычной, и он начал с интересом разглядывать её, плавая в центре аквариума. Заметив наблюдение, золотая рыбка тоже замерла в центре аквариума и стала вглядываться в своего соседа.

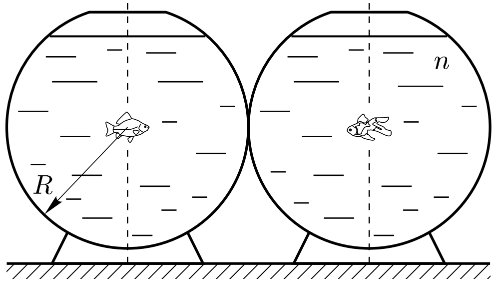


Рис. 13

1. На каком расстоянии с точки зрения карася плавает золотая рыбка, если показатель преломления воды в аквариумах равен $n = 4/3$?
2. Во сколько раз видимый поперечный размер золотой рыбки отличается от её истинного размера?
3. Прямое или перевёрнутое изображение соседки видит карась?

Примечание. Считайте, что размеры рыбок много меньше R.

Возможные решения

7 класс

Задача 1. Две шкалы

Найдём на рисунке совмещённые риски шкал линейки и термометра. Например, 69 мм соответствует 19 °C, а 60 мм — 13 °C. Расчёт показывает, что на 2 °C приходятся 3 мм, значит 5 °C соответствуют 3 мм $\cdot$ 5/2 = 7,5 мм. Таким образом, зная, что 45 мин = 0,75 ч, получим окончательно, что средняя скорость верхнего края столбика ртути составила 7,5 мм/0,75 ч = 10 мм/ч.

Критерии оценивания

Нахождение совмещённых рисок 2
Связь между делениями двух шкал 3
Приведение величин к миллиметрам и часам 2
Ответ 3

Задача 2. Винни-Пух и точное время

Когда Винни-Пух вернулся домой, его неверно выставленные часы показывали 14 часов 5 минут (2 часа 5 минут + 12 часов = 14 часов 5 минут). Значит, дома он отсутствовал 3 часа 30 минут (14 часов 5 минут − 10 часов 35 минут = = 3 часа 30 минут). Поскольку в гостях Винни-Пух провёл 3 часа, на дорогу в оба конца он затратил 30 минут (3 часа 30 минут − 3 часа = 30 минут). В один конец он шёл 15 минут. От Кролика Винни вышел (по точным часам) в 13 часов 10 минут (10 часов 10 минут + 3 часов = 13 часов 10 минут), а домой вернулся через 15 минут, то есть в 13 часов 25 минут. Это время он и выставил на своих часах.

Критерии оценивания

Определение полного времени отсутствия Винни-Пуха дома 4
Определение времени, затраченного медвежонком на дорогу 3
Ответ 3

Задача 3. Обманчивый куб

Объём куба $V = a^3 = 1000$ см^3. Пусть объём полости v, тогда масса куба:

$$m = V\rho = (V - v)\rho_1 + v\rho_2, \qquad \text{откуда найдём} \qquad v = V\frac{\rho - \rho_1}{\rho_2 - \rho_1} = 700\ \text{см}^3.$$

Критерии оценивания

Выражение для массы куба через измеренную плотность 2
Выражение для массы куба через неизвестный объём полости 4
Ответ 4

Критерии оценивания

Условие равенства давлений на уровне концов трубки 5
Высота столба перетёкшей воды 2
Ответ 3

Задача 3. Электронный ключ

Сила тока, проходящего через резистор R_1, когда электронный ключ замкнут (резистор r закорочен), равна $I_1 = U/(R_0 + R_1)$. Суммарная мощность, выделяемая на резисторах R_1 и r, $P_1 = I_1^2 R_1$. Когда ключ открыт (ток через диод не проходит), $I_2 = U/(R_0 + R_1 + r)$, а мощность $P_2 = I_2^2(R_1 + r)$. Так как по условию $P_1 = P_2$, получим:

$$U^2\frac{R_1}{(R_0 + R_1)^2} = U^2\frac{R_1 + r}{(R_0 + R_1 + r)^2}.$$

После преобразований приведём это выражение к квадратному уравнению относительно R_1:

$$R_1^2 + rR_1 - R_0^2 = 0, \qquad R_1 = \frac{1}{2}\left(-r \pm \sqrt{r^2 + 4R_0^2}\right).$$

Отрицательный корень уравнения не имеет физического смысла, поэтому $R_1 = 9$ Ом.

Критерии оценивания

Выражения мощностей для обеих полярностей приложенного напряжения . 5
Получение квадратного уравнения для R_1 2
Ответ 3

Задача 4. Старый график

Из графика видно, что на движение шарика сильно влияет сила сопротивления воздуха. Единственный момент, когда этого воздействия нет, наступает при $v_x = 0$, и при этом ускорение шарика равно ускорению свободного падения. Ускорение шарика $a = \Delta v/\Delta t$, то есть равно коэффициенту наклона графика в данной точке. Зная, что $g \approx 10$ м/с^2, определим масштаб на оси скорости (рис. 15):

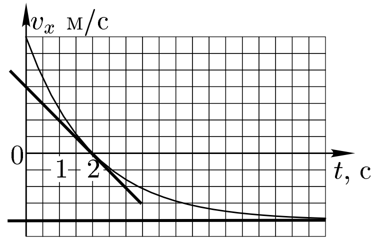


Рис. 15

$$a = 4\ \text{дел.}/(2\ \text{с}) = 10\ \text{м/с}^2, \qquad 1\ \text{дел.} = 5\ \text{м/с}.$$

Теперь, когда известен масштаб, можем определить искомые значения начальной скорости $v_0 = 7$ дел. = 35 м/с и скорости, с которой шарик упал на землю, $v = 4$ дел. = 20 м/с.

Критерии оценивания

Определение масштаба оси скорости 6
Ответ 4

9 класс

Задача 1. Табурет

Обозначим за P_0 вес стандартного табурета. Тогда $p_0 = P_0/(4a^2)$. Площадь боковой части табурета $s_1 = b^2-(b-a)(b-2a) = 3ab-2a^2$, а площадь сидения $S_1 = b^2$. Тогда для коэффициента β_0:

$$\beta_0 = \frac{S_1}{s_1} = \frac{1}{3x-2x^2} = 1{,}6,$$

где $x = a/b$. Отсюда получим уравнение $16x^2 - 24x + 5 = 0$. Корни уравнения: $x_1 = 1/4$ и $x_2 = 5/4$. Поскольку $0 < x < 1/2$, то $a = b/4$.

Объём стандартного табурета «Лакк» складывается из объёма сидения $V_с = ab^2 = b^3/4$ и четырёх объёмов ножек $V_н = a^2(b-a) = 3b^3/64$. То есть $V_0 = V_с + 4V_н = 7b^3/16$. Объём бракованного табурета $V_1 = V_с + 2V_н = 11b^3/32$, а его вес $P_1 = (V_1/V_0)P_0 = (11/14)P_0$. С другой стороны, суммарная площадь основания ножек уменьшается вдвое. Следовательно, $p_1 = 2\cdot(11/14)p_0 = 4{,}4$ кПа. А коэффициент β_1:

$$\beta_1 = \frac{b^2}{b^2-(b-a)^2} = \frac{1}{2x-x^2} = \frac{16}{7} \approx 2{,}3.$$

Критерии оценивания

Выражение для β_0 через размеры табурета 2
Связь размеров a и b 2
Нахождение объёма и веса бракованного табурета 2
Давление p_1 2
Коэффициент β_1 2

Задача 2. Вода и масло

Изначально давления у левого и правого открытых концов трубки разные, и, так как плотность воды больше плотности масла, вода начнет переливаться по трубке в сосуд с маслом. Там вода будет опускаться на дно и достигнет некой высоты h. Предположим $h < H$. Тогда условие равенства давлений по обе стороны трубки:

$$p_1 = \rho_0 g(2H-h) = p_2 = \rho_М g(2H+h), \qquad h = 2H\frac{\rho_0-\rho_М}{\rho_0+\rho_М} = \frac{2}{9}H < H.$$

Таким образом, наше предположение было верным и уровень воды в сосуде с маслом не поднялся выше уровня открытых концов трубки, и также масло не начало выливаться из сосуда. Окончательно, уровни жидкости в сосуде с водой h_1 и в сосуде, в котором было масло, h_2:

$$h_1 = 3H - h = 2\frac{7}{9}H, \qquad h_2 = 3H + h = 3\frac{2}{9}H.$$

Задача 4. Стыдно!

По дороге в школу Петя сначала прошёл путь от дома до места находки и на велосипеде проехал до школы. По дороге обратно он сперва проехал путь от школы до места находки, потом съездил до дома и обратно и уже пешком дошёл от места находки до дома. Получается, что время возвращения из школы отличается от путешествия на занятия только на продолжительность поездки на велосипеде от места находки до дома и обратно. На эту поездку у Пети ушло $(22-14)$ мин $= 8$ мин. Следовательно, чтобы проехать искомое расстояние на велосипеде, Пете нужно всего $(8/2)$ мин $= 4$ мин. Учитывая, что 15 км/ч $= 15/60$ (км/мин) $= 0{,}25$ км/мин, получим, что расстояние от дома до места находки составляет 4 мин $\cdot$ 0,25 км/мин $= 1$ км.

Критерии оценивания

Путь на велосипеде от дома до места находки занимает 4 минуты 5
Переход к одним единицам измерения 1
Ответ 4

8 класс

Задача 1. Скорый поезд и электричка

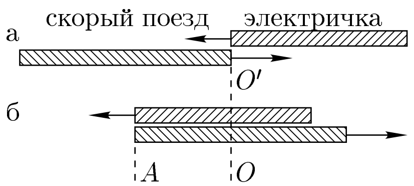


Рис. 14

Пусть Баг находился в начале электрички, а Глюк стоял на линии OO', где повстречались поезд и электричка (рис. 14 а). Рассмотрим ситуацию через 13 с, когда Баг поравнялся с концом скорого поезда (рис. 14 б). Получается, что расстояние OA Баг проехал за $t_2 = 13$ с. Потом конец скорого поезда то же самое расстояние AO проехал за оставшиеся $t = t_1 - t_2 = 10$ с. Следовательно, скорый поезд ехал быстрее в $\alpha = t_2/t = 1{,}3$ раза. С другой стороны, каждый из поездов прошёл расстояние равное своей длине за одно и то же время $t_1 = 23$ с.

Это могло быть только в том случае, если скорый поезд длинее электрички в $\alpha = 1{,}3$ раза.

Критерии оценивания

Отношение скоростей поезда и электрички 5
Отношение длины поезда к длине электрички 5

Задача 2. Определение плотности

В условии задачи не указано, как именно Глюк удерживал тела, поэтому их плотности могли быть как больше плотности воды (и тогда удерживающая их сила динамометра была направлена вверх), так и меньше её (удерживающая сила была направлена вниз). Также не сказано, какую силу показывал динамометр в опыте с телом указанной плотности. Таким образом, возможны различные варианты.

1. Так как плотность самого тяжелого тела $\rho_т > \rho_0$, удерживающая сила $F_т$ направлена вверх. Из равновесия тела:

$$F_A + F_т = mg, \qquad \rho_0 gV + F_т = \rho_т gV, \qquad V = \frac{F_т}{g(\rho_т - \rho_0)}.$$

Если показания динамометра в этом опыте составили $F_т = F_2 = 2$ Н, то $V = 0{,}51$ л. Если же $F_т = F_1 = 1$ Н, то $V = 0{,}255$ л. (Если Глюк определил $\rho_т$ при $F_т = F_1$, значит силу $F_2 = 2$ Н он мог получить только, когда тело было легче воды и удерживающая сила была направлена вниз.)

2. Найдём возможные плотности ρ_i тел, когда показания динамометра составляли F_i:

$$F_A \pm F_i = \rho_i gV, \qquad \rho_i = \rho_0 \pm (\rho_т - \rho_0)\frac{F_i}{F_т},$$

где знак плюс выбирается, если удерживающая сила направлена вверх, и минус, если в другую сторону.

Таким образом, в первом случае, когда $F_т = 2$ Н, возможные значения для плотности составят $\rho_i = 1{,}4;\ 1{,}2;\ 0{,}8;\ 0{,}6$ г/см^3. В случае, когда $F_т = 1$ Н, $\rho_i = 1{,}4;\ 0{,}6;\ 0{,}2$ г/см^3. (В принципе, подставляя $F_i = 2$ Н и знак плюс, можно получить плотность $\rho_i = 1{,}8$ г/см^3, но тогда $\rho_т = 1{,}4$ г/см^3 не будет самой большой плотностью, что противоречит условию задачи.)

Критерии оценивания

Условие равновесия самого тяжелого тела 2
Возможные значения объёма самого тяжелого тела 1
Условия равновесия других тел 3
Возможные плотности других тел 4

Задача 3. Что такое psi?

Определим коэффициент пересчёта килограммов в фунты. Один фунт золота стоит (5 413·43,78) руб. ≈ 237,0 тыс. руб. Следовательно, один килограмм составляет (522,0/237,0) фунтов = 2,203 фунта. Аналогично найдём, что один метр составляет $(10\,070/(5{,}845 \cdot 43{,}78))$ дюйма = 39,35 дюйма.

Таким образом, 15,0 фунтов имеют вес $(9{,}8 \cdot 15{,}0/2{,}203)$ Н = 66,73 Н, который приходится на площадь $(1/39{,}35)^2$ м$^2 = 6{,}457 \cdot 10^{-4}$ м^2. Окончательно получим:

$$15{,}0 \text{ psi} = \frac{66{,}73}{6{,}457 \cdot 10^{-4}} \text{ Па} = 103{,}3 \text{ кПа}.$$

Критерии оценивания

Выражение для килограммов через фунты и для метров через дюймы 4
Выражение для веса одного фунта и площади квадратного фута 2
Ответ 4

Задача 4. «Джоулеметр»

Обозначим масштаб шкалы джоулеметра $\alpha = 1$ кДж/°C. Выразим полученное прибором количество теплоты через изменение температуры $Q = \alpha \cdot \Delta t$.

1. Пусть масса воды равна m_0. Полученное системой тепло идёт на нагрев воды и стаканчика:

$$Q = \alpha\Delta t = (cm + c_0 m_0)\Delta t, \qquad \text{и} \qquad m_0 = \frac{\alpha - cm}{c_0} \approx 227 \text{ г}.$$

2. Поскольку количество полученной теплоты пропорционально изменению температуры, то пределы для количества теплоты находятся из пределов температуры джоулеметра:

$$t_{\min} - t_0 < \Delta t < t_{\max} - t_0, \qquad \alpha(t_{\min} - t_0) < Q < \alpha(t_{\max} - t_0),$$

$$-10 \text{ кДж} < Q < 70 \text{ кДж}.$$

Заметим, что если исследуемый образец отдаёт тепло ($Q > 0$), то температура растёт, а если он получает тепло ($Q < 0$), то температура падает.

Критерии оценивания

Определение массы воды 5
Определение пределов измеряемого количества теплоты 5

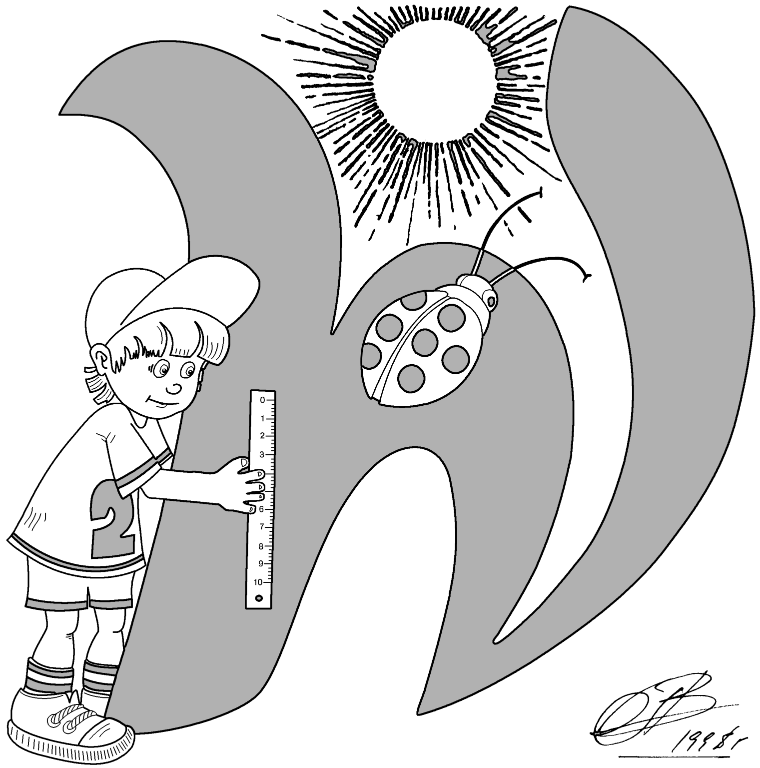
Методическая комиссия по физике
при центральном оргкомитете
Всероссийских олимпиад школьников

XLIII Всероссийская олимпиада школьников по физике

Региональный этап

Экспериментальный тур

Методическое пособие



МФТИ, 2008/2009 уч.г.

Комплект задач подготовлен методической комиссией по физике
при центральном оргкомитете Всероссийских олимпиад школьников
Телефоны: (495) 408-80-77, 408-86-95.
E-mail: **physolymp@gmail.com**

Авторы задач

7 класс
1. Фольклор
2. Матвеев Х.

8 класс
1. Фольклор
2. Слободянин В.

9 класс
1. Матвеев Х.
2. Тарнопольский Г.

10 класс
1. Варламов С.
2. Кармазин С.

11 класс
1. Киселёв А.
2. Варламов С.

Общая редакция — Слободянин В.

Оформление и вёрстка — Гущин И., Ерофеев И., Матвеев Х., Сметнёв Д.

При подготовке оригинал-макета
использовалась издательская система LaTeX 2ε.

Подписано в печать 22 ноября 2008 г. в 23:40.

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

может быть весьма большим. Для регулирования периода можно заранее расположить на конце линейки небольшой моток ниток и, передвигая его, добиваться нужного периода.

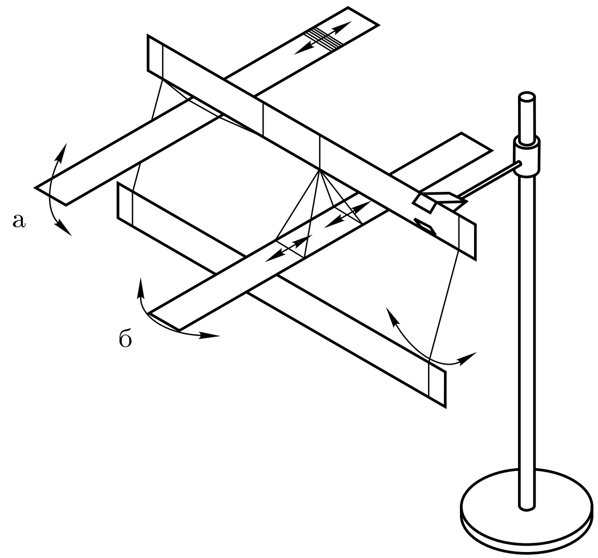


Рис. 7

В случае крутильного маятника можно регулировать период, меняя базу крепления ниток к линейке. Нити можно сделать двойными, тройными и так далее.

При одновременном запуске математического и «длиннопериодного» маятников добъёмся того, что в один период последнего укладывалось 5 периодов математического. В этом случае $T = 5T_1 = 5$ с.

Критерии оценивания

Идея использования математического маятника, как часов 5
Подбор удачной длины маятника 2
Описание способа создания пятисекундного маятника 5
Подбор верного периода T 3

11 класс

Задача 1. Бюрократия

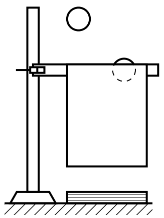


Рис. 5

Положим на стол стеклянную пластинку, а на неё — несколько листов выданной бумаги. Отпуская теннисный шарик с одинаковой высоты без начальной скорости (разумно выбрать высоту 0,5 м), снимем зависимость высоты подскока h от количества листов n, положенных на стол в месте удара шарика.

Для более точного измерения высоты подскока закрепим одну линейку в штативе и повесим на неё вертикально лист бумаги — экран (рис. 5). Будем отпускать шарик и наблюдать его подскок из-за экрана. Подберём такую высоту верхнего края экрана, при которой шарик начинает появляться из-за него. Это и будет искомая высота подскока шарика.

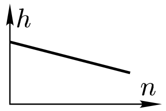


Рис. 6

Построим график измеренной зависимости (примерный вид зависимости высоты подскока h от количества листов n показан на рисунке 6). После чего проведём аналогичный эксперимент, подложив вместо бумаги «чёрный ящик». По графику найдём искомое количество листов.

Примечание. Если использовать экран, то определить количество листов можно с точностью ± 1 лист.

Критерии оценивания

Идея о получении результата 2
Снятие зависимости $h(n)$ 3
Построение графика 3
Увеличение точности определения высоты подскока (например, экран) 2
Экстраполяция зависимости 2
Получение ответа и погрешности 3

Задача 2. Очень медленный маятник

Для начала соберём математический маятник. Закрепим одну линейку в лапке, а вторую подвесим снизу на двух нитях одной длины l. При качании линейка ведёт себя как математический маятник. Следовательно, её период $T_1 = 2\pi\sqrt{l/g}$. При длине $l = 24{,}9$ см период маятника равен $T = 1$ с. Этот маятник мы будем использовать как часы.

Для маятников с большими периодами колебаний были предложены две конструкции. На рисунке 7 (положения а и б) показаны способы сборки физического и крутильного маятника (возможны и другие конструкции).

В случае физического маятника линейка обматывается ниткой в области центра масс и подвешивается на растянутых подвесах. При достаточно близком расположении точки подвеса к центру масс линейки период колебаний

7 класс

Задача 1. Спичка

Задание. Проведите на миллиметровой бумаге оси X и Y вдоль линий сетки. Проделайте следующую серию опытов. Бросьте спичку с высоты 15–20 см на лист миллиметровой бумаги, приклеенной скотчем к столу. Следите, чтобы, когда вы отпускаете спичку, она находилась в вертикальном положении, а после отскока падала на поверхность листа. Отметьте координаты x_1 и x_2 концов спички. Запишите в таблицу модуль разницы координат $l = |x_2 - x_1|$. Назовём эту величину модулем проекции спички на заданное направление.

Повторите этот опыт 30 раз. Аналогичным образом измерьте 30 раз модуль проекции на ось Y. Полученные результаты также заносите в таблицу.

Расчитайте среднее арифметическое $\langle l\rangle = (l_1 + l_2 + \cdots + l_{60})/60$ всех полученных значений проекции. Измерьте длину спички L и определите отношение $\alpha = L/\langle l\rangle$.

Оборудование. Спичка, лист миллиметровой бумаги.

Рекомендации организаторам.

Лист миллиметровой бумаги должен быть формата не меньше А4. Для удобства его следует прикрепить к столу (например, скотчем). Головку спички следует заранее удалить.

Задача 2. Диаметр неправильного тела

Задание. Определите диаметр D тела неправильной формы и длину L его перетяжки с наибольшей точностью. Опишите методику измерений.

Примечание. Диаметром тела называется наибольшее расстояние между двумя его точками.

Для двух областей плоского тела, выделенных цветом, длиной перетяжки называется минимальное расстояние между точками границы тела, принадлежащими разным областям. Пример приведён на рисунке 1.

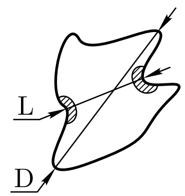


Рис. 1

Оборудование. Плоское тело неправильной формы, лист миллиметровой бумаги, линейка, нить.

Рекомендации организаторам.

Для изготовления тела неправильной формы можно взять плотный картон или разделитель для блочной тетради. Две выемки нужно выделить цветом.

8 класс

Задача 1. Капель

Задание.

1. Определите объём V_0 одной капли воды из шприца. При капании держите шприц вертикально иглой вниз. Старайтесь, чтобы скорость капания не превышала 1 капли в секунду. Напишите, от чего зависит точность измерений.

2. Повторите опыт с мыльным раствором.

3. Определите коэффициент поверхностного натяжения σ_M мыльного раствора, если известно, что для воды при комнатной температуре он равен $\sigma_0 = 72 \cdot 10^{-3}$ Н/м.

Примечание. Капля жидкости удерживается на кончике иглы шприца силой поверхностного натяжения $F_{\text{п.н.}}$, пропорциональной коэффициенту σ. При увеличении размеров капли наступает момент, когда $F_{\text{п.н.}}$ достигает своего максимального значения, и при дальнейшем увеличении массы капли происходит её отрыв. Поэтому масса капли пропорциональна σ.

Оборудование. Инсулиновый шприц, стаканы с водой и мыльным раствором, пустой стакан.

Рекомендации организаторам.

Мыльный раствор должен быть достаточно концентрированным, чтобы коэффициенты поверхностного натяжения σ_0 и σ_M отличались более, чем в полтора раза. Для приготовления раствора удобно брать стиральный порошок или моющее средство. Используйте одноразовые стаканчики.

Задача 2. Вертушка

Задание.

1. Из листа бумаги и чупа-чупса соберите вертушку, которая бы делала максимальное число оборотов при её падении с фиксированной высоты.

2. Придумайте метод точного измерения числа совершённых вертушкой оборотов и измерьте это число для вашей вертушки при падении с высоты около полутора метров. Результаты предъявите дежурному члену жюри. После этого чупа-чупс может съесть!

Примечание. Крепление бумаги к конфете производится следующим образом: в листе ножницами делаются необходимые отверстия. Лист надеваются на пластмассовую ножку конфеты, через отверстие в ножке продевается булавка, которая и удерживает чупа-чупс.

Оборудование. Чупа-чупс, 3 листа бумаги формата А4, ножницы, булавка, нить, скотч.

Рекомендации организаторам.

В качестве бумаги рекомендуется выдавать ватман. По просьбе участника можно выдавать дополнительные листы бумаги (чтобы не ограничивать число конструкций). В ножке чупа-чупса можно заранее проделать несколько отверстий на разном уровне, чтобы втыкание булавки не вызывало затруднений. Длина нити не должна быть меньше 3 м.

Задача 2. Брусочки

Задача предполагает множество решений. Приведём одно из них. Соберём конструкцию как показано на рисунке 4а. Нить крепится к кнопке, которая втыкается в верхнюю грань бруска. Будем нагружать чашечку до тех пор, пока она не начнёт перевешивать. В этом случае мы получим эффективный рычаг с точкой опоры на краю бруска:

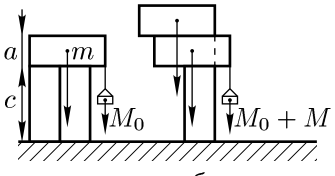


Рис. 4

$$mg(2a - c/2) = M_0 g(c - 2a), \qquad (1)$$

где M_0 — масса чашечки с грузами.

Переложим брусочек так, как показано на рисунке 4б. Будем добавлять в чашечку грузы до тех пор, пока не нарушится равновесие верхних брусков. Пусть добавленная масса равна M. Запишем правило моментов для добавленных грузов и переставленного бруска:

$$mgc/2 = Mg(c - 2a). \qquad (2)$$

Вычитая из уравнения (2) уравнение (1), получим:

$$mg(c - 2a) = (M - M_0)g(c - 2a), \qquad m = M - M_0.$$

Следовательно, вес брусочка составляет $P = (M - M_0)g$.

Примечание. Чтобы не учитывать неизвестную массу кнопки, её следует втыкать строго над положением центра рычага.

Критерии оценивания

Метод определения m 5
Избавление от массы кнопки 1
Проведение измерений 5
Оценка погрешности 1
Получение ответа 3

10 класс

Задача 1. Столкновение монет

Проведём вдоль листа бумаги линию OO'. Установим большую и маленькую монетки на одной линии OO' (рис. 3). Линейку расположим перпендикулярно плоскости стола и OO'. Отводим её на небольшой угол, отпускаем, и тем самым сообщаем большой монете скорость вдоль OO', что необходимо для того, чтобы удар был центральным. Заметим, что сделать это руками (без линейки) практически невозможно (сообщить одной монете щелчком скорость, направленную точно в центр другой).

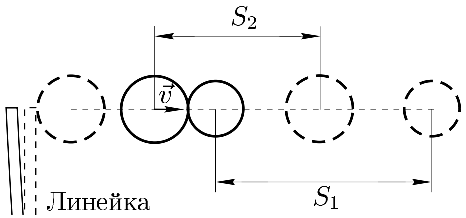


Рис. 3

Получим расчётную формулу для γ. Пусть v_1 и v_2 — скорости большой и маленькой монеток сразу после удара. Тогда имеем:

$$Mv_0 = Mv_2 + mv_1,$$

$$\gamma M v_0^2 = M v_2^2 + m v_1^2.$$

Длина пробега монет пропорциональна их кинетической энергии. Учитывая, что $v_1^2 \sim S_1$ и $v_2^2 \sim S_2$, получаем итоговое выражение для γ:

$$\gamma = \frac{1 + \dfrac{m}{M} \cdot \dfrac{S_m}{S_M}}{\left(1 + \left(\dfrac{m}{M}\right)^2 \sqrt{\dfrac{S_m}{S_M}}\right)^2}.$$

Непосредственно измеряя S_1 и S_2, можем вычислить γ.

Критерии оценивания

Методика решения 3
Запуск монеты линейкой 2
Теоретическое выражение для γ 3
Измерения S_1 и S_2 4
Экспериментальное значение γ 3

9 класс

Задача 1. Зебра

Задание. Предположим, что в некоторой комнате стоит животное: либо зебра, либо лошадь. В комнате есть дверь, сделанная из матового стекла, образец которого выдан вам. При помощи имеющегося оборудования оцените, при каком расстоянии от животного до двери, проходящий по коридору человек сможет точно определить, кто именно находится в комнате. Считайте, что ширина чёрных и белых полос зебры $d_0 = 6$ см.

Примечание. Стекло имеет только одну матовую поверхность. Учтите это при выполнении эксперимента.

Чёткость картинки зависит от освещённости объекта, который вы рассматриваете сквозь матовое стекло. Постарайтесь учесть это при выполнении работы, чтобы в одной серии экспериментов не было измерений при разных уровнях освещённости объектов.

Оборудование. Матовое стеклышко (размером 6×4 см), штатив, линейка, лист бумаги с рисунками со штриховкой с известным шагом d от 2 до 7 мм, скотч, ножницы (одни на аудиторию).

Рекомендации организаторам.

Файл с рисунками со штриховкой приложен к заданиям экспериментального тура. Ширина полос от рисунка к рисунку меняется в диапазоне от 2 до 7 мм с шагом 0,5 мм. Деления на выдаваемой линейки должны начинаться от края. Аудитория должна быть хорошо и равномерно освещена, и освещение не должно меняться в течение эксперимента.

Задача 2. Скрытый уровень

Задание. Определите уровень жидкости в коробке, когда шкала вертикальна.

Оборудование. Картонный пакет из под сока, частично наполненный водой, с небольшим отверстием на верхней грани и с приклеенной миллиметровой шкалой сбоку, пластиковая гибкая трубка, салфетка.

Рекомендации организаторам.

Удобно брать пакеты из под сока объёмом 0,5 л с отверстием под трубочку. Освободите пакет от сока. Промойте его и приблизительно на две трети заполните кипяченой водой. Если объёмы налитой жидкости в разных пакетах разные, пакеты следует пронумеровать. Гибкие трубки удобно брать от наборов для переливания крови, продающихся в аптеках. Длина выдаваемой трубки должна быть не менее удвоенной высоты коробки. В качестве шкалы рекомендуется наклеить на пакет полоску миллиметровой бумаги шириной 1 см и длиной, равной высоте коробки (отверстие для трубочки должно быть обращено вверх).

10 класс

Задача 1. Столкновение монет

Задание. Рассмотрите центральный удар пятикопеечной монеты массой $M = 2{,}56$ г о однокопеечную массой $m = 1{,}46$ г. Необходимо установить, какая доля γ кинетической энергии E_0 налетающей монеты выделяется в виде теплоты при столкновении.

Оборудование. Две монеты известной массы, лист бумаги, ластик, карандаш, линейка, скотч, ножницы (одни на аудиторию).

Рекомендации организаторам.

Лист бумаги следует скотчем закрепить на рабочем столе. Наиболее удобно использовать прозрачную пластиковую линейку.

Задача 2. Брусочки

Задание. Определите вес брусочков.

Оборудование. Три одинаковых брусочка, кнопка неизвестной массы, нитка, набор грузов и бумажная чашечка с известными массами.

Рекомендации организаторам.

Грузы должны иметь массы от одного грамма до 20, а их суммарная масса должна быть не меньше утроенной массы бруска. Например, можно взять набор монет разного достоинства и несколько крупных гаек. Следует указать массы грузов и чашечки для них. Для изготовления брусков рекомендуется взять рейку из мягких пород дерева (например, сосна), чтобы в них хорошо втыкалась кнопка. Размеры бруска должны быть примерно $6 \times 3 \times 2$ см, а все их углы — прямые, чтобы брусок стоял на столе строго вертикально на любой грани. Лучше взять обычные канцелярские кнопки с треугольными остриями. Бумажную чашечку следует изготовить из плотной бумаги или картона в форме небольшой коробочки. Она должна вмещать все монеты и выдерживать их вес. Стоит предусмотреть отверстия для крепления нити.

9 класс

Задача 1. Зебра

Приклеим скотчем лист со штриховками к столу. Стекло, обращённое матовой поверхностью вниз, закрепим в штативе параллельно плоскости стола. Обозначим через l расстояние от нижней плоскости стеклышка до плоскости стола (измеряем линейкой).

Для каждого рисунка со штриховкой с расстоянием между штрихами d будем находить $l_{\min}$ — минимальную высоту, на которой мы точно не различаем одну полоску от другой, и $l_{\max}$ — максимальную высоту, на которой мы еще можем отличать полоски штриховки. Тогда будем считать, что характерное расстояние, на котором теряется различие штриховки шириной d, это $l = (l_{\max} + l_{\min})/2$.

Таким образом получим «расстояние различимости» l для каждого из шагов штриховки d. Построим график зависимости l от d. Точки ложатся на прямую. Посчитаем угловой коэффициент наклона прямой и аналитически рассчитаем L_0, соответствующее d_0. Тогда при $0 < L < L_0$ из коридора можно будет точно определить, кто находится за стеклом, зебра или лошадь.

Критерии оценивания

Методика	2
Матовая сторона снизу	1
Измерения l для всех d	2
График $l(d)$	2
Идея экстраполяции	1
Ответ для диапазона L	2

Задача 2. Скрытый уровень

Через отверстие в пакете опустим в воду масимально глубоко один конец пластиковой трубки. Заткнём другой конец пальцем и извлечём большую часть трубки из пакета так, чтобы её другой конец остался в воде. Если опускать наружный конец трубки на разные уровни, то жидкость может течь либо вниз, либо вверх. Можно подобрать такой уровень, при котором вода будет неподвижна. При этом уровень воды в трубке совпадёт с уровнем воды в пакете.

Увеличить точность измерений можно, если водой заполнить всю трубку и наблюдать за мениском на её конце. Если мениск выпуклый, то он находится чуть ниже уровня воды в пакете. Если вогнутый — поднят чуть выше. Таким образом можно получить точность до 0,5 мм.

Критерии оценивания

Идея определения уровня сравнением с уровнем в трубке	4
Определение уровня	4
Идея с мениском для уменьшения погрешности	2

к полу. При вращении нити скрутятся, и по числу оборотов нитей можно точно определить число оборотов вертушки.

Критерии оценивания

Описание изготовления вертушки 3
Идея получения числа оборотов 2
Максимальное число оборотов 5

11 класс

Задача 1. Бюрократия

Задание. «Чёрный ящик» представляет собой несколько листов бумаги, скреплённых друг с другом, лежащих на стеклянной подложке. Определите количество листов бумаги в «чёрном ящике». Подумайте, как можно увеличить точность вашего эксперимента.

Примечание. Запрещается вскрывать «чёрный ящик», откреплять листы «чёрного ящика» друг от друга, рвать или мять их.

Оборудование. Штатив с двумя лапками, две линейки, шарик от настольного тенниса, 15 листов бумаги формата А5, «чёрный ящик», стеклянная пластинка.

Рекомендации организаторам.

Линейки должны быть длиной 50 см. Бумага офисная 80 г/см^3. Чтобы получить листы А5, можно резать А4 пополам. «Чёрный ящик» можно изготовить из фоторамки 15 см$\times$20 см и 8 листов бумаги (конструкция собирается таким образом, чтобы листы располагались поверх стекла фоторамки). Стеклянная пластинка должна быть аналогична той, что в «чёрном ящике». Листы должны прилегать друг к другу плотно, но не быть деформированными.

Задача 2. Очень медленный маятник

Задание. Из предоставленного вам оборудования изготовьте маятник, период колебания которого будет равен $T = 5$ с, и предъявите его жюри.

Примечание. Возможны различные виды маятников, в частности, можно изготовить физические или крутильные маятники. Пользоваться какими-либо часами или секундомерами запрещается.

Оборудование. Штатив с лапкой, катушка ниток, три линейки.

Рекомендации организаторам.

Нити должны легко рваться руками, в противном случае нужно выдать ножницы.

Возможные решения
7 класс

Задача 1. Спичка

При достаточно большом количестве проведенных измерений искомое соотношение α будет стремиться к $\pi/2 \approx 1{,}57$. При $N = 60$ ошибка не должна превышать 10%.

Критерии оценивания

Получение 60 измерений 3
Таблица результатов 2
Измерение длины спички 1
Определение $L/\langle l\rangle$ 4

Задача 2. Диаметр неправильного тела

Совместим край линейки с одной из линий миллиметровой бумаги и прижмём её к столу. Будем катить тело по линейке, наблюдая за наиболее удалённым от неё краем. В тот момент, когда противоположный край перестанет удаляться от линейки, отметим карандашом на бумаге точку, соответствующую его положению (это достаточно просто подметить, так как противоположный конец тела сначала пересекает линии миллиметровой бумаги, параллельные линейке, а потом перестаёт). Это положение соответствует локальному максимуму. После того, как тело сделает полный оборот, из отмеченных точек выберем ту, расстояние которой до линейки наибольшее.

Для определения длины перетяжки натянем через выделенные цветом области нить. Слегка смещая нить и натягивая её, можно подобрать положение, где длина её будет наименьшей — это и будет длиной перетяжки.

При аккуратном выполнении эксперимента возможно определение искомых величин с точностью 1 мм.

Критерии оценивания

Идея получения максимального диаметра 2
Снятие точек 1
Учёт возможных локальных максимумов 1
Ответ для диаметра 2
Идея получения длины перетяжки 2
Снятие точек 1
Ответ для длины перетяжки 1

8 класс

Задача 1. Капель

1. Наберём в шприц объём $V = 1$ мл воды и измерим, сколько капель N вытечет из иглы при полном медленном перемещении поршня. Искомый объём одной капли $V_0 = V/N$.

2. Аналогичным образом найдём объём $V_{\text{М}}$ капли мыльного раствора.

3. Масса капли равна произведению её объёма на плотность жидкости. Плотности мыльного раствора и воды практически одинаковы, поэтому отношение масс капель воды и раствора равно отношению их объёмов. В примечании было показано, что масса капли пропорциональна коэффициенту поверхностного натяжения. Сравнив массы капель воды и мыльного раствора, получим соотношение

$$\frac{\sigma_M}{\sigma_0} = \frac{m_{\text{М}}}{m_0} = \frac{V_{\text{М}}}{V_0}.$$

Из него следует, что искомое значение $\sigma_M = (V_{\text{М}}/V_0)\sigma_0$.

Критерии оценивания

Определение объёма капли воды 3
Определение объёма капли мыльного раствора 3
Идея получения $\sigma_{\text{М}}$ 2
Ответ 2

Задача 2. Вертушка

Приведём выкройку наиболее удачной по мнению жюри вертушки (рис. 2). Сначала отрезается часть листа, чтобы получить квадрат. Потом производятся разрезы, как показано на рисунке, и прорезаются отверстия для ножки чупа-чупса. Вырезание заштрихованных областей увеличивает эффективность закручивания. Сборка производится следующим образом: сначала на ножку чупа-чупса по очереди надеваются углы вертушки, потом — центр листа. В ножку вставляется булавка, чтобы зафиксировать конструкцию. Закручивание происходит тем эффективнее, чем более «раскрыты» лопасти вертушки, то есть чем больше расстояние от конфеты до булавки.

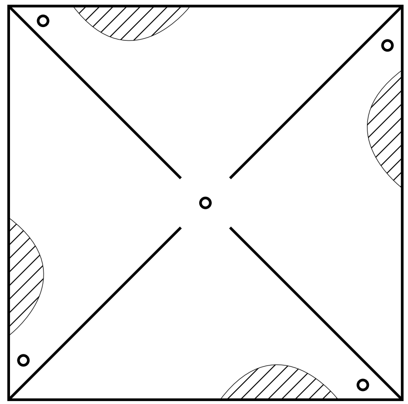
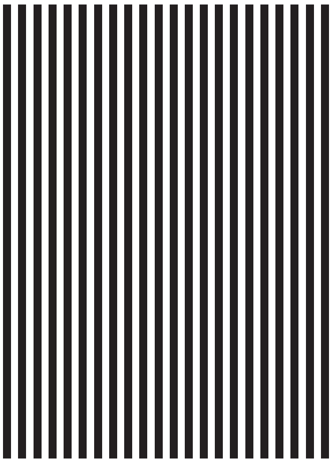
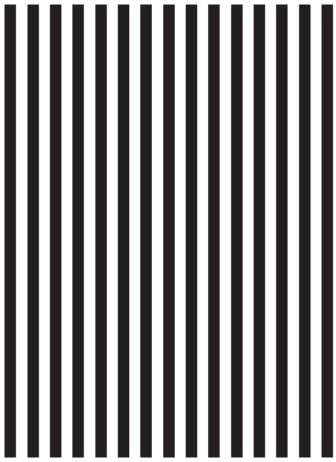


Рис. 2

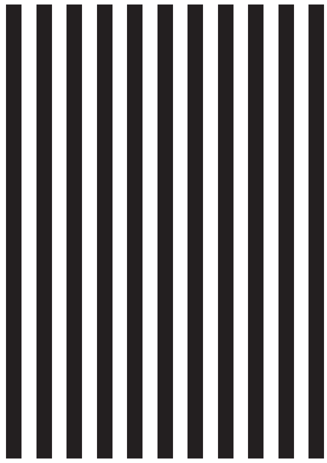
Для измерения числа оборотов можно скотчем закрепить две нити на диаметрально противоположных точках конфеты, а их нижние концы приклеить



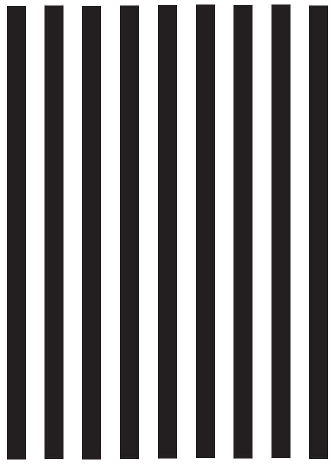
$d = 1{,}0$ мм



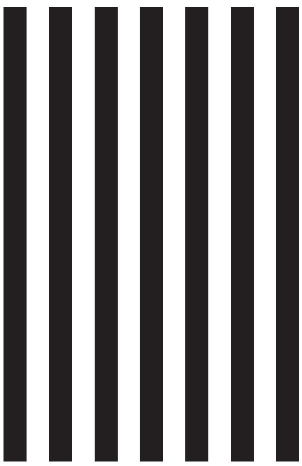
$d = 1{,}5$ мм



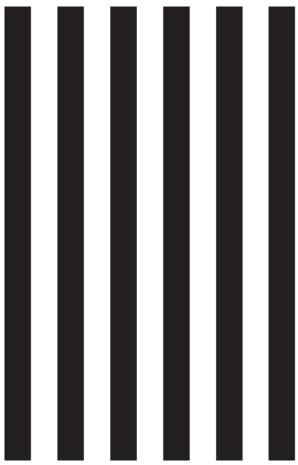
$d = 2{,}0$ мм



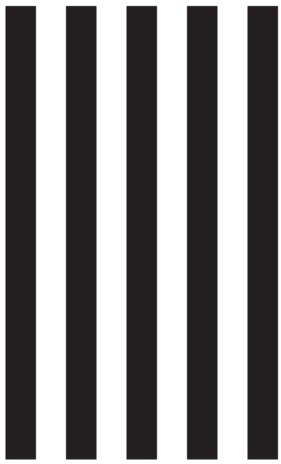
$d = 2{,}5$ мм



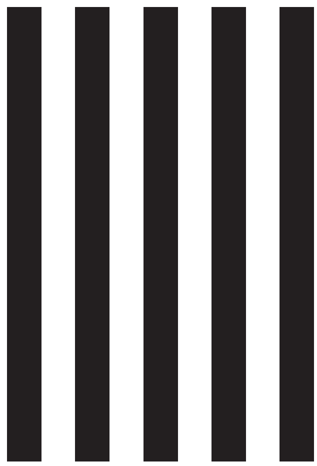
$d = 3{,}0$ мм



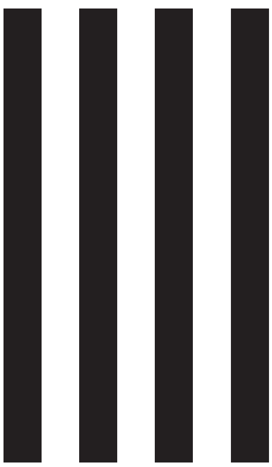
$d = 3{,}5$ мм



$d = 4{,}0$ мм



$d = 4{,}5$ мм



$d = 5{,}0$ мм

$d = 6{,}5$ мм

$d = 7{,}0$ мм