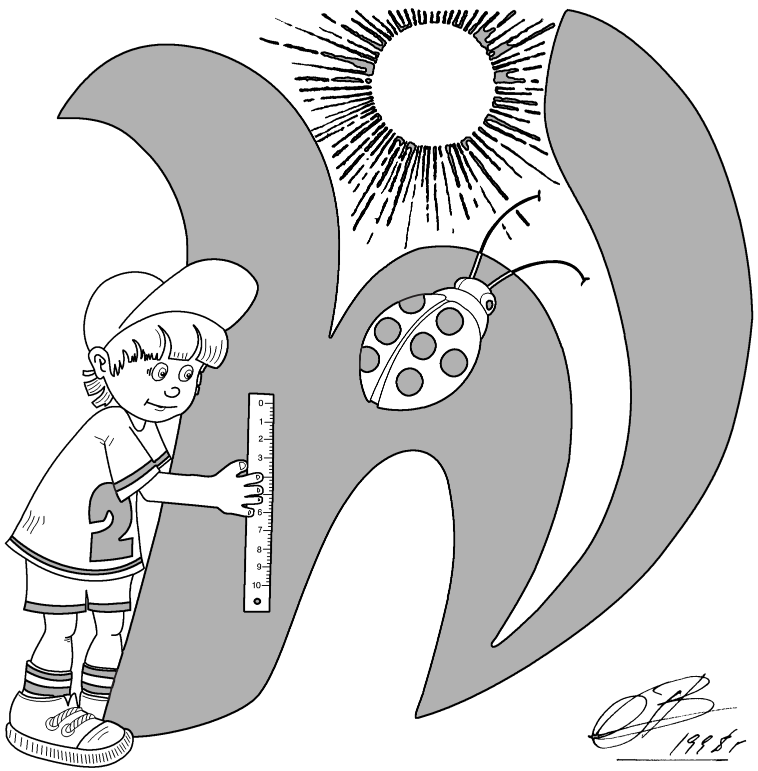
Федеральное агентство по образованию
Центральный оргкомитет Всероссийских олимпиад

XXXIX Всероссийская олимпиада школьников по физике

Районно-городской этап

Теоретический тур

Методическое пособие



МФТИ, 2004/2005 уч.г.

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

Авторы задач

8 класс
1. Фольклор
2. Фольклор
3. Александров Д.
4. Кармазин С.

9 класс
1. Фольклор
2. Слободянин В.
3. Русаков А.
4. Кирьяков Б.

10 класс
1. Слободянин В.
2. Тихомирова С.
3. Балк М.
4. Васильев М.
5. Прут Э.

11 класс
1. Фольклор
2. Миронов А.
3. Фольклор
4. Орлов В.
5. Дерябкин В.

Общая редакция — Слободянин В., Чудновский А., Самокотин А.

Оформление и верстка — Чудновский А., Самокотин А., Имакаев М., Перунов Н.

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

Подписано в печать 14 марта 2005 г. в 22:43.

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

8 класс

Задача 1. Кто скорее?

По реке, скорость которой постоянна, плыл плот. Когда он оказался посередине между пристанями M и N, от них навстречу друг другу отплыли два одинаковых катера (m и n), двигатели которых работали на полную мощность(рис. 1). Какой из катеров раньше достиг плота?

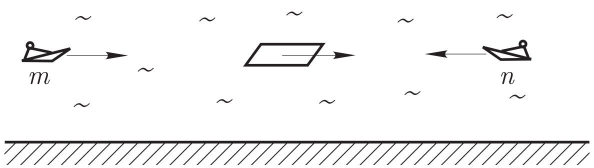


Рис. 1

Задача 2. Шайба в мерном цилиндре.

Стеклянный цилиндр с нанесенной на его боковую поверхность миллиметровой шкалой, служащей для определения уровня налитой жидкости, заполнен водой до отметки в 200 мм. Площадь зеркала воды в сосуде $S = 500$ см^2. В цилиндр опустили деревянную шайбу толщиной $H = 50$ мм и площадью основания $s = 100$ см^2(рис. 2). Плотность дерева $\rho = 0{,}8$ г/см^3, плотность воды $\rho_0 = 1{,}0$ г/см^3. Вычислите, на сколько миллиметров основание шайбы опустится ниже отметки в 200 мм (исходного уровня воды)?

Задача 3. Композитный стержень

Композитный стержень(рис. 3) составлен из трех кусков одинаковых размеров, плотности которых $\rho_1 = 7{,}3$ г/см^3, $\rho_2 = 1{,}8$ г/см^3, $\rho_3 = 8{,}9$ г/см^3, а удельные теплоемкости $c_1 = 230$ Дж/(кг·°C), $c_2 = 1300$ Дж/(кг·°C), $c_3 = 460$ Дж/(кг·°C). Определите среднюю удельную теплоемкость композитного стержня.

Задача 4. Кирпичная констукция

Кирпичная конструкция, составленная из шести кирпичей, покоится на земле(рис. 4). Определите отношение давлений p_1 и p_2, которые оказывают нижний левый и нижний правый кирпичи на землю. Кирпич представляет собой параллелепипед, стороны которого относятся как 1:2:4.

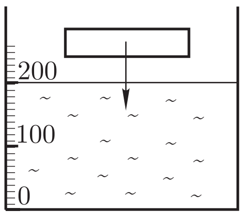


Рис. 2

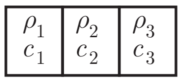


Рис. 3

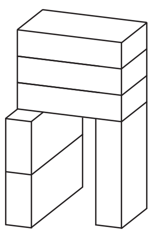


Рис. 4

9 класс

Задача 1. Полет спутника

По низкой круговой орбите вокруг Земли летит спутник. В момент времени t_0 он оказался в точке A. На какое расстояние h от касательной, проведенной к траектории спутника в точке A(рис. 5), он удалился за время $\tau = 20$ с?

Примечание. Радиус Земли $R = 6400$ км, ускорение свободного падения $g \approx 10$ м/с^2.

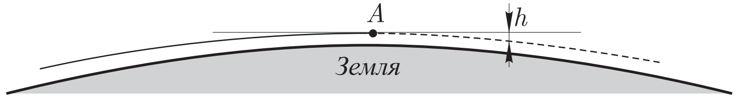


Рис. 5

Задача 2. «Улитка» сил

На материальную точку массой $m = 140$ кг действуют силы, расположенные в одной плоскости. Величины этих сил указаны у концов соответствующих векторов(рис. 6). Угол между каждой парой соседних сил равен 30°. С каким ускорением a, будет двигаться материальная точка? Найдите угол α между равнодействующей и силой величиной 360 Н.

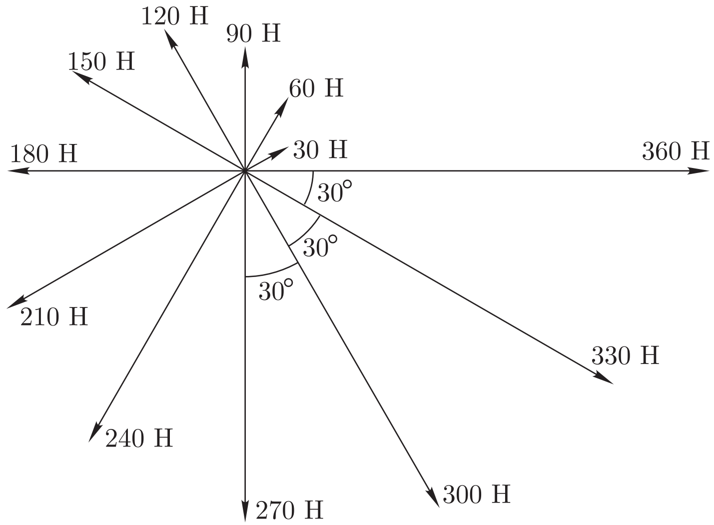


Рис. 6

Задача 3. Леопольд и мыши

Кот Леопольд едет по Большой дороге на самокате со скоростью $v_1 = 12$ км/ч. Как только он появился на площади Согласия и Примирения, его увидели два хитрых мышонка, которые тотчас пустились на перехват на велосипеде со скоростью $v_2 = 13$ км/ч. Известно, что в момент появления кота мыши находились от него на расстоянии $L = 100$ м(рис. 7) и затратили на погоню минимально возможное время t. Вычислите это время.

Задача 4. Изогнутая стрелка

Из пяти одинаковых вольтметров собрана цепь(рис. 8). Показания вольтметров составляют: $U_1 = 5$ В, $U_2 = 4$ В, $U_3 = 2$ В, $U_4 = 1$ В, $U_5 = 1$ В. Известно, что у одного из вольтметров согнута стрелка и его показания неверны. Укажите, какой из вольтметров неисправен. Чему равно истинное напряжение на этом вольтметре?

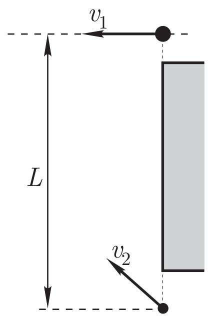


Рис. 7

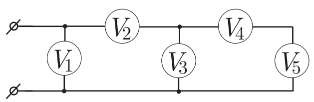


Рис. 8

10 класс

Задача 1. Патрульный катер

По реке, скорость течения которой постоянна, на плоту плыли туристы. Когда они оказались на расстоянии L от стоящего в засаде патрульного катера, тот поплыл им навстречу. Поравнявшись с плотом, патрульные быстро убедились, что туристы ничего предосудительного не делают, и поплыли обратно со скоростью v относительно берега(рис. 9). Двигатели катера все время работали на полную мощность. Сколько времени прошло от старта катера до его возвращения в засаду?

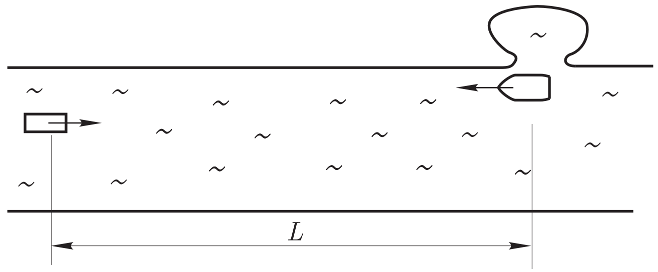


Рис. 9

Задача 2. Ускорение тележки

К массивной тележке, стоящей на горизонтальном столе, прикреплена легкая нерастяжимая нить, перекинутая через блок. К свободному концу нити привязали груз массой m и освободили систему(рис. 10). При этом тележка покатилась без трения с ускорением a_1. С каким ускорением a_2 покатится тележка, если к нити прикрепить груз массой $2m$(рис. 11)?

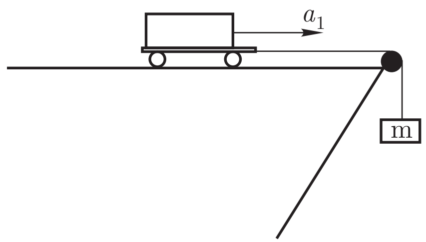


Рис. 10

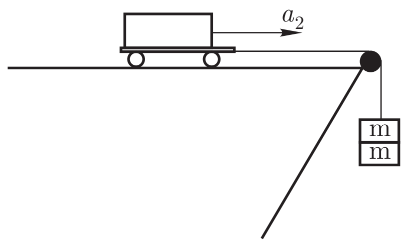


Рис. 11

Задача 3. Равновесие треугольника

Три легкие спицы разной длины соединили между собой. К вершинам A, B и C получившегося треугольника прикрепили маленькие шарики m_A, m_B, m_C. Вычислите массу M всей конструкции, если известно, что ее центр масс находится в точке O, лежащей на пересечении отрезков CD и AE(рис. 12). Точка D делит спицу AB в отношении 1:2, а точка E — спицу BC в отношении 3:4. Масса шарика $m_A = 40$ г.

Задача 4. Токи в кольце

Разветвленная электрическая цепь состоит из трех аккумуляторов и шести резисторов(рис. 13). Напряжение на выводах аккумуляторов постоянно и равно $U = 1{,}5$ В. Сопротивления резисторов, включенных во внешний участок цепи, $R_1 = R_2 = R_3 = R = 15$ Ом, а сопротивления резисторов r, ограничивающих ток аккумуляторов, составляют 5 Ом. Вычислите силы токов, протекающих через резисторы R_1, R_2, R_3.

Задача 5. Импульсный нагреватель

Через находящуюся в вакууме нихромовую проволоку пропустили прямоугольный импульс тока напряжением U_0 и длительностью $\tau = 1{,}0$ мс(рис. 14), в результате чего проволока нагрелась и ее сопротивление возросло на 1%. Определите напряжение U_0 импульса. Сопротивление проволоки $R = 1{,}0$ Ом, ее масса $m = 1{,}0$ г, удельная теплоемкость $c = 460$ Дж/(кг·°C), температурный коэффициент сопротивления $\alpha = 8 \cdot 10^{-5} (°\mathrm{C})^{-1}$.

Примечание. Изменение сопротивления R проволоки, вызванное ее нагревом на Δt, можно определить по формуле $\Delta R = R\alpha\Delta t$.

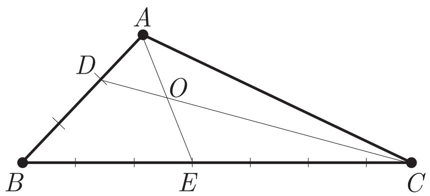


Рис. 12

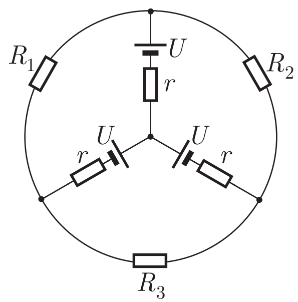


Рис. 13

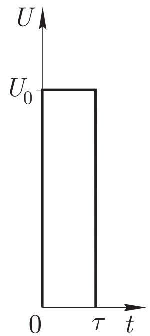


Рис. 14

11 класс

Задача 1. Путь материальной точки

Небольшой груз, закрепленный на конце легкой нерастяжимой нити называется математическим маятником. Грузу сообщили скорость $v_0 = 3$ см/с, в результате чего маятник стал совершать малые колебания. Определите путь, пройденный грузом за время $\tau = 2$ мин.

Задача 2. Старый снимок

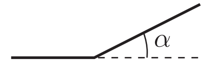


Рис. 15

В архиве Д. Глейзера, изобретателя пузырьковой камеры, нашли фотопластинку, запечатлевшую столкновение двух протонов. От времени эмульсия потемнела, и след покоившегося протона невозможно было разглядеть(рис. 15). Под каким углом β к вектору скорости бомбардирующего протона полетел покоившийся протон, если налетевший протон отклонился от первоначального направления на угол $\alpha = 17°$?

Задача 3. Воздушный океан

Какую глубину H имел бы воздушный океан Земли(рис. 16), если бы плотность воздуха не изменялась с высотой, а всюду была такой же как у поверхности? Молярная масса воздуха $\mu = 29$ г/моль, его средняя температура $t \approx 0°$C, универсальная газовая постоянная $R = 8{,}31$ Дж/(моль·К), ускорение свободного падения $g = 9{,}8$ м/с^2.

Рис. 16

Задача 4. Тепловая машина

На pT-диаграмме(рис. 17) показан цикл тепловой машины, у которой рабочим телом является идеальный газ. Расставьте участки AB, BC, CD, DA в порядке возрастания абсолютных величин совершаемых на них работ.

Задача 5. Минимальная и максимальная мощности

Для электрической цепи(рис. 18) определите, при каком значении сопротивления резистора R_2, которое можно изменять от 0 до ∞, мощность, выделяющаяся на резисторе R_N, минимальна. Чему она равна? Сопротивления резисторов R_1 и R_N, ЭДС $\mathscr{E}_1$ и $\mathscr{E}_2$, считать известными, причем $\mathscr{E}_1 < \mathscr{E}_2$. При каком значении R_2 мощность, выделяющаяся на R_N, максимальна? Чему она равна?

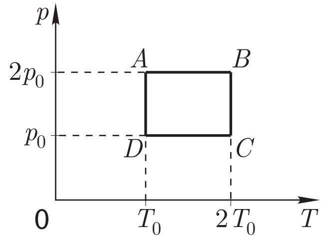


Рис. 17

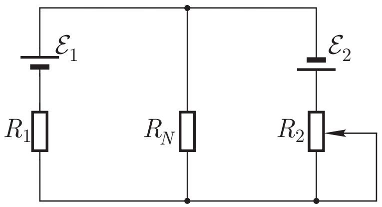


Рис. 18

Возможные решения

К решениям прилагаются рекомендуемые разбалловки. В случае необходимости проверяющие могут их изменить. Каждая задача оценивается из 10 баллов. Любое правильное решение заслуживает максимальной оценки. При отсутствии правильного окончательного ответа оцениваются фрагменты решения.

8 класс

Задача 1. Кто скорее?

Пусть в момент старта катеров расстояние от них до плота было L. В системе отсчета, связанной с плотом (движущейся со скоростью воды в реке), скорость v_0 катеров одинакова, так как одинаковы сами катера и их двигатели работают на полную мощность. Следовательно, оба катера подплывут к плоту одновременно.

Можно рассуждать иначе. Предположим, что скорость воды в реке равна u. Катер m догонит плот за время

$$t_m = \frac{L}{(v_0+u)-u} = \frac{L}{v_0},$$

а катеру n потребуется время

$$t_n = \frac{L}{(v_0-u)+u} = \frac{L}{v_0}.$$

Вновь получилось: $t_m = t_n$.

Разбалловка

Нахождение t_m 4

Нахождение t_n 4

Ответ 2

Задача 2. Шайба в мерном цилиндре.

Допустим, что основание шайбы опустилось ниже исходного уровня воды на расстояние x. Вытесненный этой частью шайбы объем жидкости ($V_x = sx$) поднимется над исходным уровнем на высоту

$$h = \frac{V_x}{S-s} = \frac{sx}{S-s}. \tag{1}$$

По закону Архимеда шайба будет плавать, если

$$(\rho s H)g = \rho_0 s(x+h)g. \tag{2}$$

Решая систему уравнений(1) и(2) получим:

$$x = H\frac{\rho}{\rho_0}\left(1 - \frac{s}{S}\right) = 32 \text{ мм.}$$

Разбалловка

Выражение для h 3
Закон Архимеда 3
Ответ в общем виде 2
Численный ответ 2

Задача 3. Композитный стержень

Средняя удельная теплоемкость стержня

$$\langle c\rangle = \frac{C}{M}, \tag{3}$$

где C — теплоемкость всего стержня, а M — его масса. Пусть L и S — длина и площадь поперечного сечения каждого куска стержня. Тогда теплоемкость всего композитного стержня

$$C = c_1(\rho_1 SL) + c_2(\rho_2 SL) + c_3(\rho_3 SL) = (c_1\rho_1 + c_2\rho_2 + c_3\rho_3)SL. \tag{4}$$

Масса композитного стержня

$$M = (\rho_1 SL) + (\rho_2 SL) + (\rho_3 SL) = (\rho_1 + \rho_2 + \rho_3)SL. \tag{5}$$

После подстановки(4) и(5) в() получим

$$\langle c\rangle = \frac{C}{M} = \frac{(c_1\rho_1 + c_2\rho_2 + c_3\rho_3)SL}{(\rho_1 + \rho_2 + \rho_3)SL} = \frac{c_1\rho_1 + c_2\rho_2 + c_3\rho_3}{\rho_1 + \rho_2 + \rho_3} \approx 450 \text{ Дж/(кг} \cdot {}^\circ\text{C)}.$$

Разбалловка

Выражение для $\langle c\rangle$ (формула(3)) 1
Выражение для C 3
Выражение для M 2
Ответ в общем виде 2
Численный ответ 2

Задача 4. Кирпичная констукция

Пусть F — сила тяжести, действующая на один кирпич. Сила F_1, с которой левая часть кирпичной конструкции действует на землю, складывается из половины силы тяжести, действующей на три верхних кирпича и силы тяжести двух нижних кирпичей:

$$F_1 = \frac{3}{2}F + 2F = \frac{7}{2}F.$$

Пусть b — длина самого короткого ребра кирпича. Тогда площадь основания левой опоры $S_1 = 4b^2$, а давление

$$p_1 = \frac{F_1}{S_1} = \frac{7F}{8b^2}.$$

Аналогичным образом, для правой части кирпичной конструкции найдем:

$$F_2 = \frac{3}{2}F + F = \frac{5}{2}F, \qquad S_2 = 2b^2, \qquad p_2 = \frac{F_2}{S_2} = \frac{5F}{4b^2}.$$

Искомое отношение давлений $p_1/p_2 = 0{,}7$.

Разбалловка

Выражение для F_1 2
Выражение для S_1 1
Выражение для p_1 1
Выражение для F_2 2
Выражение для S_2 1
Выражение для p_2 1
Ответ 2

9 класс

Задача 1. Полет спутника

Вокруг Земли спутник летит с первой космической скоростью $v_1 \approx 8$ км/с, все время «падая» на ее поверхность. За малый промежуток времени $\tau = 20$ с его вертикальное смещение составит $h = g\tau^2/2 \approx 2000$ м.

Этот же результат получается, если определить расстояние h из геометрических соображений(рис. 19), принимая во внимание, что за время τ спутник пролетит вдоль поверхности Земли расстояние $L \approx v_0\tau$. Поскольку

$$R^2 - (R - h)^2 = L^2,$$

из этого уравнения находим $h \approx L^2/2R \approx 2$ км. После раскрытия скобок мы пренебрегли членом h^2 по сравнению со слагаемыми L^2 и $2Rh$.

Разбалловка

На усмотрение проверяющих.

Задача 2. «Улитка» сил

Заметим, что сумма каждой из 6 пар противоположно направленных сил равна 180 Н, а сами эти силы, расположены симметрично относительно оси AA_1(рис. 20). Следовательно, равнодействующая направлена вдоль оси AA_1, и искомый угол $\alpha = 75°$. Пары сил $(\vec{F_1},\vec{F_4})$, $(\vec{F_2},\vec{F_5})$, $(\vec{F_3},\vec{F_6})$ перпендикулярны, поэтому их сумма равна $180\sqrt{2}$ Н ≈ 255 Н. Суммирование трех получившихся сил дает $F \approx 697$ Н. Отсюда находим ускорение материальной точки: $a = F/m \approx 5$ м/с^2.

Разбалловка

Нахождение α 3
Нахождение F 5
Численное значение a 2

Задача 3. Леопольд и мыши

За искомое время t кот проедет расстояние $L_1 = v_1 t$, а мыши $L_2 = v_2 t$. Из условия задачи ясно, что отрезки L, L_1 и L_2 образуют прямоугольный треугольник. По теореме Пифагора

$$L^2 = L_2^2 - L_1^2 = (v_2^2 - v_1^2)t^2.$$

Отсюда находим искомое время

$$t = \frac{L}{\sqrt{v_2^2 - v_1^2}} = 72 \text{ с}.$$

Разбалловка

Выражение для L_1 1
Выражение для L_2 1
Применение теоремы Пифагора 4
Ответ в общем виде 2
Численный ответ 2

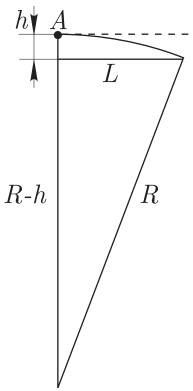


Рис. 19

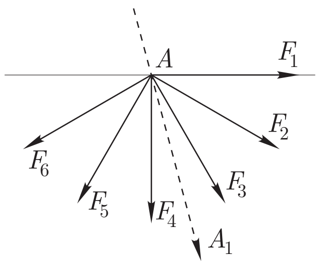


Рис. 20

Задача 4. Изогнутая стрелка

Согласно схеме, представленной в условии, показания вольтметров должны удовлетворять равенствам:

$$U_1 = U_2 + U_3, \tag{6}$$

$$U_3 = U_4 + U_5. \tag{7}$$

Подстановка числовых данных свидетельствует о том, что равенство() не выполняется. Следовательно, неисправен либо вольтметр V_1, либо вольтметр V_2. Для уточнения, у какого из этих двух вольтметров согнута стрелка, воспользуемся еще одним равенством:

$$I_2 = I_3 + I_4, \tag{8}$$

$$\frac{U_2}{R} = \frac{U_3}{R} + \frac{U_4}{R}, \tag{9}$$

где I_2, I_3 и I_4 — токи, текущие через вольтметры V_2, V_3 и V_4, R — сопротивление каждого из вольтметров. Из() следует, что

$$U_2 = U_3 + U_4. \tag{10}$$

Подстановка числовых данных в равенство() показывает, что оно нарушается, следовательно, неисправен вольтметр V_2. Из() и() находим напряжение на этом вольтметре: $U_2 = 3$ В.

Разбалловка

Формула (3) 1
Формула (7) 1
Формула (9) 2
Формула (10) 3
Правильное указание неисправного вольтметра 1
Численный ответ 2

10 класс

Задача 1. Патрульный катер

Предположим, что выше по течению на расстоянии L от плота стоит еще один (вспомогательный) патрульный катер. Предположим далее, что оба катера одновременно стартовали по направлению к «подозрительным» туристам и двигатели катеров работали на полную мощность. Если перейти в систему отсчета, связанную с плотом, сразу станет ясно, что оба катера достигнут его одновременно и далее, после разворота основного катера, вместе поплывут к месту стоянки последнего. Поскольку время плавания обоих катеров одинаковое, определим его для вспомогательного катера: $\tau = 2L/v$. Это и есть искомое время.

Другое решение. Задачу можно решить, не вводя вспомогательный катер. Пусть u — скорость течения реки, тогда скорость катера относительно воды $v_0 = v - u$. Время движения катера до встречи с плотом

$$\tau_1 = \frac{L}{(v_0 - u) + u} = \frac{L}{v_0},$$

а время возвращения в засаду

$$\tau_2 = \frac{(v_0 - u)\tau_1}{v_0 + u}.$$

Полное время движения

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 = \tau_1 \frac{2v_0}{v_0 + u} = \frac{2L}{v}.$$

Разбалловка

Выражение для скорости катера относительно воды 1
Выражение для τ_1 3
Выражение для τ_2 4
Ответ 2

Задача 2. Ускорение тележки

Пусть M — масса тележки, $\overrightarrow{T_1}$ и $\overrightarrow{T_2}$ — силы натяжения нити на горизонтальном и вертикальном участках, причем $T_1 = T_2 = T$. В первом случае второй закон Ньютона для тележки и груза имеет вид:

$$Ma_1 = T; \qquad ma_1 = mg - T.$$

Преобразуем эту систему к виду:

$$Ma_1 = m(g - a_1). \tag{11}$$

Аналогичное выражение запишем для второго случая:

$$Ma_2 = 2m(g - a_2). \tag{12}$$

Поделив почленно(3) на(7), получим:

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{g - a_1}{2(g - a_2)}, \qquad \text{откуда} \qquad a_2 = \frac{2a_1}{1 + a_1/g}.$$

Разбалловка

Формула(3) 2
Формула(7) 2
Ответ 6

Задача 3. Равновесие треугольника

Если подобрать массу груза m_B так, чтобы центр масс грузов m_A и m_B оказался в точке D, то неизвестную массу m_B можно найти из правила моментов:

$$m_A \cdot AD = m_B \cdot DB.$$

Из этого соотношения находим $m_B = m_A/2 = 20$ г. Аналогичным образом, учитывая, что центр масс грузов m_C и m_B должен находиться в точке E, можно подобрать массу груза m_C:

$$m_B \cdot BE = m_C \cdot EC.$$

Из этого соотношения находим $m_C = \frac{3}{4}m_B = \frac{3}{8}m_A = 15$ г. При таких значениях масс грузов центр масс системы окажется в точке O. Масса всей конструкции $M = 75$ г.

Разбалловка

Нахождение m_B 4
Нахождение m_C 4
Численный ответ 2

Задача 4. Токи в кольце

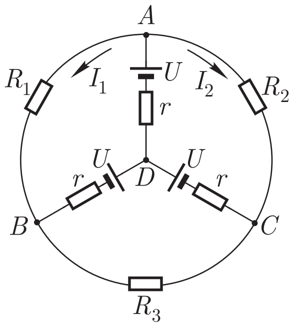


Рис. 21

Из симметрии схемы относительно участка цепи AD(рис. 21) следует:
1. силы токов I_1 и I_2 на участках цепи AB и AC одинаковы, а сами токи направлены от узла A к узлам B и C; по этой же причине $I_1 = I_{BD}$, $I_2 = I_{CD}$;
2. ток через резистор R_3 не течет, то есть $I_3 = 0$.

Сила тока $I_{AD} = I_1 + I_2$. Совершим обход контура ABD против часовой стрелки. В этом случае сумма всех напряжений в данном контуре будет равна нулю:

$$2U - I_1 r - (I_1 + I_2)r - I_1 R = 0. \tag{13}$$

Следовательно,

$$I_1 = \frac{2U}{3r + R} = 0{,}1 \text{ А} = I_2.$$

Разбалловка

Утверждение $I_3 = 0$ с обоснованием 2
Утверждение $I_1 = I_2$ с обоснованием 2
Утверждение $I_{AD} = I_1 + I_2$ с обоснованием 2
Формула(13) 2
Численный ответ 2

Задача 5. Импульсный нагреватель

При протекании по проволоке импульса тока длительностью τ в ней выделится в виде теплоты энергия

$$Q_\tau = \frac{U_0^2}{R}\tau. \tag{14}$$

Количество теплоты, пошедшее на нагревание проволоки

$$Q_m = cm\Delta t, \tag{15}$$

где Δt найдем из формулы, данной в примечании:

$$\Delta t = \frac{1}{\alpha}\frac{\Delta R}{R}. \tag{16}$$

В силу закона сохранения энергии $Q_\tau = Q_m$, откуда

$$U_0 = \sqrt{\frac{cmR}{\alpha\tau}\left(\frac{\Delta R}{R}\right)} \approx 240 \text{ В}.$$

Разбалловка

Формула(14) 2
Формула(15) 2
Формула(16) 1
Ответ в общем виде 3
Численный ответ 2

11 класс

Задача 1. Путь материальной точки

Найдем путь S, пройденный грузом за время τ много большее периода колебаний T:

$$S = 4NA, \tag{17}$$

где A — амплитуда колебаний, N — число колебаний, совершенных за время τ, причем

$$N = \frac{\tau}{T}. \tag{18}$$

Амплитуда колебаний связана с максимальной скоростью груза соотношением:

$$v_0 = \omega A = \frac{2\pi}{T} A. \tag{19}$$

Окончательно получим:

$$S = \frac{2}{\pi} v_0 \tau \approx 2{,}3 \text{ м}.$$

Разбалловка

Формула(17) 2
Формула(18) 1
Формула(19) 3
Ответ в общем виде 2
Численный ответ 2

Задача 2. Старый снимок

Пусть $\vec{p}_0$ — импульс, налетающего протона, $\vec{p}_1$ — его импульс после столкновения с покоящимся протоном, $\vec{p}_2$ — импульс протона-мишени после столкновения. Запишем законы сохранения энергии и импульса для этих протонов:

$$\vec{p}_0 = \vec{p}_1 + \vec{p}_2, \tag{20}$$

$$\frac{p_0^2}{2m} = \frac{p_1^2}{2m} + \frac{p_2^2}{2m}, \tag{21}$$

где m — масса протона. Возведем(20) в квадрат:

$$p_0^2 = p_1^2 + p_2^2 + 2(\vec{p}_1, \vec{p}_2). \tag{22}$$

Сравнивая(21) с(22), замечаем, что эти два равенства совместны, если $(\vec{p}_1, \vec{p}_2) = 0$, то есть протоны после столкновения разлетаются под прямым углом. Следовательно, $\beta = 90^\circ - \alpha = 73^\circ$.

Разбалловка

Закон сохранения импульса (формула(20)) 2

Закон сохранения энергии (формула(21)) 2
Формула(22) 2
Ответ в общем виде 2
Численный ответ 2

Задача 3. Воздушный океан

Давление у поверхности Земли:

$$p = \frac{\rho}{\mu} RT. \tag{23}$$

Гидростатическое давление на дне воздушного океана

$$p = \rho g h. \tag{24}$$

Из (23) и (24) находим

$$h = \frac{RT}{\mu g} \approx 8 \text{ км}.$$

Разбалловка

Формула(23) 3
Формула(24) 3
Ответ в общем виде 2
Численный ответ 2

Задача 4. Тепловая машина

Изобразим цикл $ABCDA$ на pV плоскости(рис. 22). Пусть $V_A = V_0$. Тогда $V_B = 2V_0$, $V_C = 4V_0$, $V_D = 2V_0$. Работа, совершаемая газом на каждом из участков цикла, численно равна площади под соответствующим графиком. Сравнивая эти площади, получим:

$$A_{BC} > A_{DC} = A_{AB} > A_{AD}. \tag{25}$$

Разбалловка

Координаты точек A, B, C и D на pV-диаграмме цикла 4
Три верных знака отношения в ответе(25) 6

Задача 5. Минимальная и максимальная мощности

Предположим, что минимальная мощность $P_{\min}$, выделяющаяся на резисторе R_N, равна нулю. Это возможно, когда через резистор R_N ток не течет, то есть

$$I_1 = \frac{\mathscr{E}_1}{R_1} = I_2 = \frac{\mathscr{E}_2}{R_2}. \tag{26}$$

Отсюда

$$R_2 = R_1 \frac{\mathscr{E}_2}{\mathscr{E}_1}. \tag{27}$$

Максимальная мощность будет выделяться на резисторе R_N тогда, когда $R_2 = 0$. В этом случае

$$P_{\max} = \frac{\mathscr{E}_2^2}{R_N}.$$

Разбалловка

Нахождение $P_{\min}$ 1
Формула(26) 2
Формула(27) 2
Нахождение R_2, при котором мощность максимальна 2
Нахождение $P_{\max}$ 3

Для заметок

Планета Физтех

Вообще-то планет с таким названием несколько. Одна — малая планета (астероид) «Физтех» — находится между орбитами Марса и Юпитера, имеет регистрационный номер 4139, открыта в ноябре 1975 года Крымской астрофизической обсерваторией и получила свое название в 1996 году, в честь 50-летия системы Физтеха. Вторая планета Физтех — обитаемая — населена выпускниками института. За полвека численность популяции физтехов на этой планете перевалила за 20000, более 50 из них стали членами Академии наук, более 2500 — докторами наук. Раньше, лет 15 назад, физтехи встречались почти исключительно в СССР. Теперь они всюду — от Австралии и Японии до Бостона и Долгопрудного. Город Долгопрудный — Московская область, Россия — по праву провозглашен столицей этой планеты. Третья планета Физтех — комплекс зданий Московского физико-технического института (государственного университета). Слово «университет», добавленное в скобках к названию, отражает современный статус учебного заведения, аббревиатура которого — МФТИ — давно известна во всем мире. Попасть на первую планету «Физтех» довольно сложно. Сначала необходимо запустить ракету-носитель... Дальнейшее принципиально ясно. Для того, чтобы стать обитателем второй планеты — а среди них академики и министры, поэты и актеры, режиссеры и писатели, военные, музыканты, бизнесмены (удачливые и не очень), — надо несколько лет проучиться в МФТИ. До третьей планеты вы сможете добраться и без ракеты-носителя: электричкой от Савеловского вокзала Москвы до платформы Новодачная или Долгопрудная, на автобусе 368 или маршрутном такси от метро «Речной вокзал» до станции Долгопрудная или почти до входа в институт на маршрутке N5 от метро «Алтуфьево». Как поступают в наш институт и что это может дать — читайте в нашем проспекте.

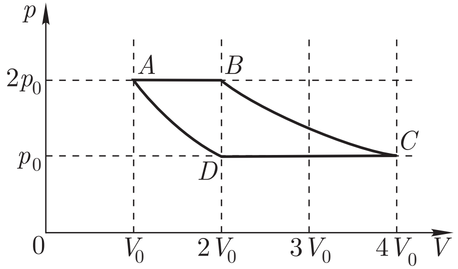


Рис. 22