



I Всероссийская олимпиада по физике
имени Дж. К. Максвелла

Заключительный этап
Теоретический тур

Сочи, 2016

Комплект задач подготовлен Центральной предметно-методической комиссией по физике Всероссийской олимпиады школьников

Авторы задач

7 класс

1. Подлесный Д.
2. Слободянин В.
3. Ерофеев И.
4. Замятнин М.

8 класс

1. Подлесный Д.
2. Замятнин М.
3. Замятнин М.
4. Черников Ю.

Общая редакция — Ерофеев И., Замятнин М.,
Кармазин С., Слободянин В.
Вёрстка — Биктаиров Ю., Ерофеев И.

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

7 класс
Задача 1. Вдоль да по речке

От пристани А к пристани Б вниз по течению реки стартует катер, а одновременно с ним по берегу — пешеход и велосипедист, которые движутся **неравномерно**. Капитану катера передаётся информация о скоростях движения пешехода и велосипедиста, и он, моментально реагируя, поддерживает скорость катера **относительно воды** равной среднему арифметическому скоростей пешехода и велосипедиста. К пристани Б катер прибывает одновременно с велосипедистом через время $t = 30$ мин после старта. Пешеход к этому моменту оказывается позади них на расстоянии $S = 3$ км. Определите скорость течения реки.

Задача 2. Золото?!

Два однородных стержня одинаковой длины с одинаковой площадью поперечного сечения $S = 1,0 \text{ см}^2$ могут свободно вращаться вокруг неподвижных горизонтальных осей O_1 и O_2 , расположенных на одной вертикали (рис. 1). Длина короткого участка каждого стержня $l = 51$ см, а длинного $L = 105$ см. Стержни находятся в равновесии благодаря нити AB . Верхний стержень изготовлен из стали.

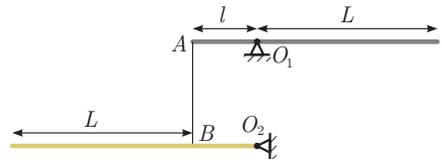


Рис. 1

Длина короткого участка каждого стержня $l = 51$ см, а длинного $L = 105$ см. Стержни находятся в равновесии благодаря нити AB . Верхний стержень изготовлен из стали.

1. Какова плотность материала нижнего стержня?
2. С помощью таблицы определите что это за материал.
3. Найдите силу F натяжения нити AB .

Ускорение свободного падения $g = 10 \text{ Н/кг}$.

металл	$\rho, \text{ г/см}^3$	металл	$\rho, \text{ г/см}^3$	металл	$\rho, \text{ г/см}^3$
магний	1,74	сталь	7,80	свинец	11,3
алюминий	2,70	никель	8,80	золото	19,3
цинк	7,14	серебро	10,5	платина	21,2

Задача 3. Высыпайтесь!

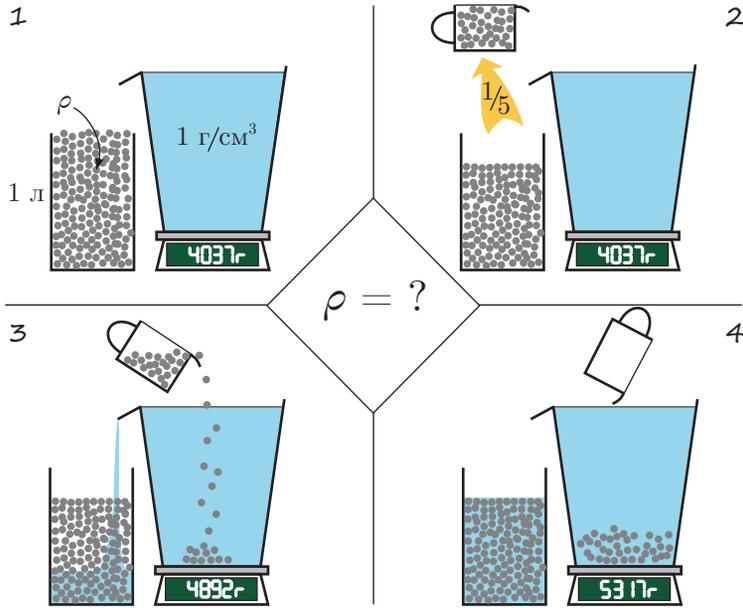


Рис. 2

Изначально банка объёмом $V_0 = 1000$ мл доверху заполнена маленькими одинаковыми металлическими шариками (рис. 2). Одну пятую часть шариков высыпали в стоящий на весах мерный цилиндрический сосуд, заполненный водой. В результате показания весов увеличились с $m_0 = 4037$ г до $m_1 = 5317$ г, а уровень вылившейся в банку воды сравнялся с уровнем оставшихся шариков. Определите плотность материала, из которого изготовлены шарики, если плотность воды $\rho_0 = 1000$ кг/м³.

Задача 4. Трасса

Исследования пропускной способности однополосной односторонней автомобильной дороги (рис. 3) показали, что с ростом скорости потока машин пропускная способность дороги может уменьшаться (график зависимости скорости потока от интенсивности движения $v(n)$ приведён на рис. 4). В предположении, что основная причина изменения пропускной способности связана с изменением дистанции между машинами (расстояния от переднего бампера задней машины до заднего бампера передней), определите среднюю дистанцию s между автомобилями при скорости потока v и постройте график зависимости $s(v)$. Для упрощения можете считать, что все машины следуют с одинаковой скоростью и имеют одинаковую длину $L = 4$ м.



Рис. 3

Примечание. Интенсивностью движения n называется количество автомобилей, проезжающих мимо неподвижного наблюдателя в единицу времени.

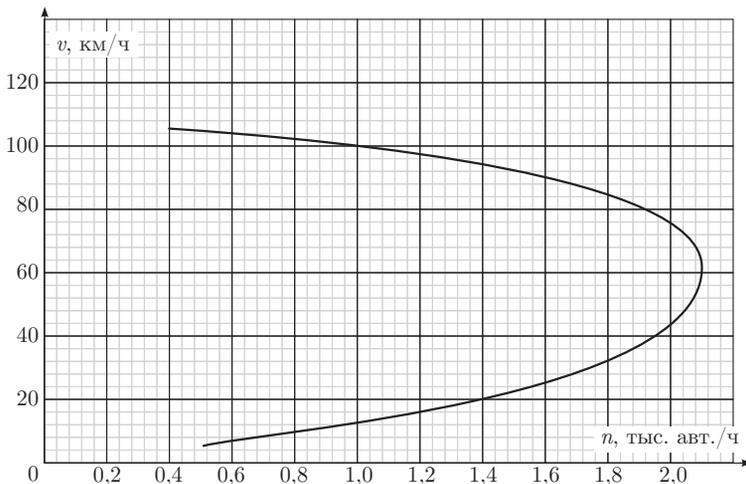


Рис. 4

8 класс

Задача 1. Велосипед и катер

От пристани А к пристани Б вниз по течению реки стартует катер, а одновременно с ним по берегу — велосипедист, который движется **неравномерно**. Расстояние между пристанями $L = 5$ км. Капитану катера передаётся информация о скорости велосипедиста, и он, моментально реагируя, поддерживает скорость катера **относительно воды** равной скорости велосипедиста. Доплыв до пристани Б, катер быстро разворачивается и встречает велосипедиста на расстоянии $S = 4$ км от пристани А. На сколько дольше катер плыл по течению реки, чем против течения до встречи с велосипедистом? Скорость течения реки $u = 5$ км/ч.

Задача 2. График с вареньем

При производстве варенья в большой бак постепенно наливают сироп. В первую порцию, имеющую плотность ρ_1 , добавляют вторую, плотность которой ρ_2 , затем третью с плотностью ρ_3 . На графике (рис. 5) показано, как изменяется **средняя** плотность находящегося в баке сиропа по мере заполнения бака. К сожалению, на график капнули готовым вареньем, и часть информации пропала. Найдите массу каждой порции сиропа. До какого объёма V_0 был заполнен бак к тому моменту, когда средняя плотность содержимого составила $\rho_0 = 1250$ кг/м³?

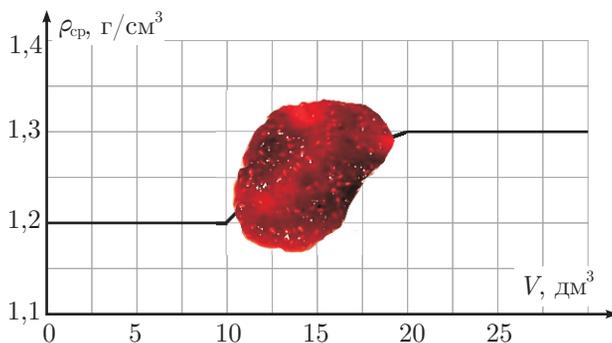


Рис. 5

Задача 3. Эврика

Говорят, что однажды Архимед, найдя точку опоры, приподнял себя вместе с ванной, используя систему блоков (рис. 6).

Масса ванны с водой $M = 120$ кг, масса Архимеда $m = 90$ кг. Чему равна «сила Архимеда» — сила, которую Архимед прикладывал к верёвке при подъёме? Какая минимальная часть объёма Архимеда могла при этом находиться над водой? Считайте среднюю плотность Архимеда примерно равной плотности воды. Трением в осях блоков, массой блоков и верёвки можно пренебречь. Ускорение свободного падения $g = 10$ Н/кг.

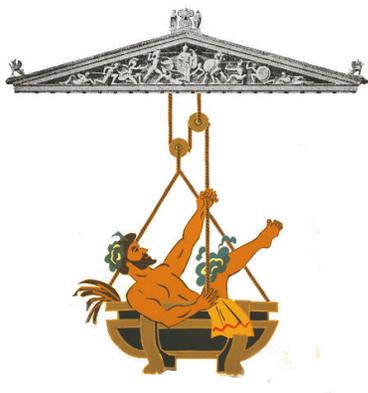


Рис. 6

Задача 4. Термоглюк Черникова

Экспериментатор Глюк собрал демонстрационный термометр. Для этого он взял стеклянную колбу с вставленной в неё тонкой трубкой, площадь поперечного сечения которой $S = 25$ мм² (рис. 7). Колбу экспериментатор заполнил до самого верха подкрашенным спиртом, имеющим комнатную температуру t_0 . После погружения в банку, в которой находился $V_B = 1$ л тёплой воды,

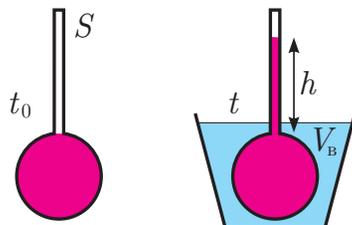


Рис. 7

столбик спирта в трубке поднялся на $h = 10$ см, а термометр показал температуру $t_1 = 40$ °С. Определите температуру воды в банке до погружения в неё термометра. Теплоёмкостью стекла, банки, а также потерями тепла в окружающую среду можно пренебречь. Теплоёмкость воды $c_B = 4200$ Дж/(кг · °С), спирта $c_c = 2400$ Дж/(кг · °С), плотность воды $\rho_B = 1000$ кг/м³, плотность спирта при температуре t_0 $\rho_c = 790$ кг/м³.

Указание: в рассматриваемом диапазоне температур можно считать, что с ростом температуры t объём спирта V увеличивается по линейному закону $V = V_0(1 + \beta(t - t_0))$, где V_0 — объём спирта при температуре t_0 , $\beta = 1,1 \cdot 10^{-3}$ °С⁻¹ — температурный коэффициент объёмного расширения спирта.

Возможные решения 7 класс

Задача 1. Вдоль да по речке

Пусть скорость катера v , скорость пешехода v_1 , велосипедиста v_2 , а течения реки u . Тогда, с точки зрения велосипедиста скорость катера в любой момент времени равна

$$v_{\text{кв}} = \frac{v_1 + v_2}{2} + u - v_2 = \frac{v_1 - v_2}{2} + u.$$

За небольшое время Δt катер сместится относительно велосипедиста на расстояние:

$$v_{\text{кв}}\Delta t = \frac{v_1 - v_2}{2}\Delta t + u\Delta t,$$

но первое слагаемое справа — это половина расстояния, на которое пешеход отстаёт от велосипедиста, взятое со знаком минус, а второе — смещение воды в реке за время Δt . Если просуммировать все эти небольшие смещения, то получится:

$$0 = -\frac{S}{2} + ut, \quad \text{откуда} \quad u = \frac{S}{2t} = 3 \text{ км/ч.}$$

Задача 2. Золото?!

Масса верхнего и нижнего стержней:

$$m_{\text{в}} = (l + L)S\rho_{\text{ст}}. \quad (1)$$

$$m_{\text{н}} = (l + L)S\rho. \quad (2)$$

Рассмотрим систему стержней как целое. Применим правило моментов, приняв в качестве полюса точку O_1 (или O_2).

$$m_{\text{в}}g \left(L - \frac{L+l}{2} \right) = m_{\text{н}}g \frac{L+l}{2}. \quad (3)$$

Решая систему уравнений (1), (2) и (3) получим:

$$\rho = \rho_{\text{ст}} \frac{L-l}{L+l} = 2,7 \text{ г/см}^3,$$

то есть нижний стержень изготовлен из алюминия.

Ещё раз воспользуемся правилом моментов для нижнего стержня, удерживаемого в равновесии нитью AB (относительно полюса O_2):

$$m_{\text{нг}} \frac{L+l}{2} = Tl, \quad \text{откуда} \quad T = \rho_{\text{ст}} g \left(\frac{L+l}{L-l} \right) \frac{S}{2l} = 6,3 \text{ Н.}$$

Задача 3. Высыпайтесь!

Обозначим объём всех шариков в банке $V_{\text{шар}}$, тогда объём вытесненной из сосуда воды равен $V_{\text{шар}}/5$. Так как уровень вылившейся в банку воды сравнялся с уровнем оставшихся шариков, получаем, что:

$$\frac{1}{5}V_{\text{шар}} + \frac{4}{5}V_{\text{шар}} = \frac{4}{5}V_0, \quad \text{откуда} \quad V_{\text{шар}} = \frac{4}{5}V_0 = 800 \text{ мл.}$$

Изменение показаний весов:

$$\Delta m = \frac{1}{5}V_{\text{шар}}(\rho - \rho_0), \quad \text{окончательно} \quad \rho = \frac{25\Delta m}{4V_0} + \rho_0 = 9000 \text{ кг/м}^3.$$

Задача 4. Трасса

Длина колонны из N машин, проходящих за время t мимо неподвижного наблюдателя на трассе, равна $(s + L)N$. Скорость этой колонны равна

$$v = \frac{s + L}{t}N.$$

Отношение $n = N/t$ — заданная в условии интенсивность транспортного потока n . Окончательно получаем:

$$s = \frac{v}{n} - L$$

По приведённой в условии зависимости можно составить таблицу интенсивности транспортного потока от скорости, которую с помощью полученной формулы следует пересчитать в дистанцию между машинами.

v , км/ч	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
n , авт/ч	800	1400	1720	1940	2060	2100	2060	1920	1600	1000
s , м	8,5	10,3	13,4	16,6	20,3	24,6	30,0	37,7	52,3	96,0

По данным таблицы строим график зависимости $s(v)$ (рис. 8).

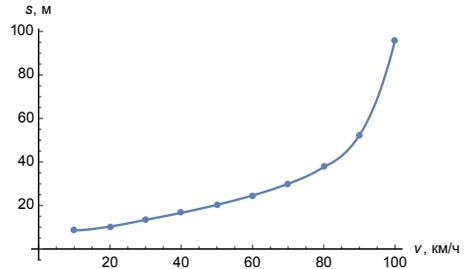


Рис. 8

8 класс**Задача 1. Велосипед и катер**

Доплыв до пункта Б, катер преодолел путь

$$L = S_1 + ut_1,$$

где S_1 — путь, пройденный велосипедистом за это же время t_1 .

После этого, до встречи с велосипедистом, катер преодолел путь

$$l = S_2 - ut_2,$$

где S_2 — путь, пройденный велосипедистом за время t_2 до встречи с катером.

Сложив полученные выражения, получаем

$$l + L = S_1 + S_2 + u(t_1 - t_2).$$

Заметим, что $S_1 + S_2$ — полный путь, проделанный велосипедистом, причём $S_1 + S_2 = L - l$. То есть

$$l + L = L - l + u(t_1 - t_2),$$

откуда

$$t_1 - t_2 = \frac{2l}{u} = \frac{2(L - S)}{u} = 24 \text{ мин.}$$

Задача 2. График с вареньем

Масса первой порции может быть найдена как произведение средней плотности на объем первой порции

$$m_1 = V_1 \rho_{\text{ср1}} = 10 \cdot 10^{-3} \cdot 1200 = 12 \text{ кг.}$$

Масса второй порции равна разности массы содержимого при объёме 20 дм^3 и массы первой порции

$$m_2 = V_2 \rho_{\text{ср2}} - m_1 = 20 \cdot 10^{-3} \cdot 1300 - 12 = 14 \text{ кг.}$$

Масса третьей порции равна разности конечной массы всего содержимого бака и масс первой и второй порции

$$m_3 = V_3 \rho_{\text{ср3}} - m_1 - m_2 = 30 \cdot 10^{-3} \cdot 1300 - 12 - 14 = 13 \text{ кг.}$$

Заметим, что плотность первой порции $\rho_1 = 1200 \text{ кг/м}^3$, а второй порции $\rho_2 = 1400 \text{ кг/м}^3$. Среднюю плотность содержимого ρ_0 можно представить как

$$\rho_0 = \frac{m_1 + V\rho_2}{V_1 + V},$$

где V — объем добавленного сиропа, имеющего плотность ρ_2 . Откуда

$$V = \frac{\rho_0 V_1 - m_1}{\rho_2 - \rho_0} = 3,3 \text{ дм}^3,$$

и окончательно $V_0 = 13,3 \text{ дм}^3$.

Задача 3. Эврика

На систему, как единое целое, вверх действуют три силы натяжения верёвки, а вниз суммарная сила тяжести

$$3T = (M + m)g,$$

откуда «сила Архимеда»

$$T = \frac{M + m}{3}g = 700 \text{ Н.}$$

На самого Архимеда действует вверх сила реакции опоры N , выталкивающая сила со стороны воды F и сила натяжения верёвки T ; вниз — сила тяжести, то есть

$$F + N + T = mg.$$

Причём, силы mg и T однозначно определены, а для F и N определена лишь их сумма. Минимальному объёму Архимеда над водой соответствует максимальный объем погруженной части и максимальная выталкивающая сила, что реализуется в случае, когда $N = 0$. Окончательно

$$F = mg - T = \frac{2m - M}{3}g,$$

откуда

$$\frac{\Delta V}{V} = 1 - \frac{F}{mg} = \frac{M + m}{3m} = \frac{7}{9}.$$

Задача 4. Термоглюк Черникова

В результате теплообмена между водой и спиртом их температуры выравниваются. Запишем уравнение теплового баланса для этого процесса:

$$c_{\text{в}}\rho_{\text{в}}V_{\text{в}}(t_1 - t_{\text{в}}) + c_{\text{с}}m_{\text{с}}(t_1 - t_0) = 0,$$

где $t_{\text{в}}$ — конечная температура воды, $m_{\text{с}}$ — масса спирта.

Массу спирта определим через его плотность и объём при температуре t_0

$$m_{\text{с}} = \rho_{\text{с}}V_0,$$

где V_0 — объём спирта при температуре t_0 .

Согласно условию задачи, при увеличении температуры до t_1 изменение объёма спирта

$$\Delta V = V_0\beta(t_1 - t_0).$$

С другой стороны, пренебрегая тепловым расширением колбы, приращение объёма спирта можно выразить через изменение его уровня в трубке

$$\Delta V = Sh.$$

Решая данную систему уравнений, получим выражение для температуры воды до погружения в неё термометра

$$t_{\text{в}} = t_1 + \frac{c_{\text{с}}\rho_{\text{с}}Sh}{c_{\text{в}}\rho_{\text{в}}V_{\text{в}}\beta} = 40 \text{ }^\circ\text{C} + 1 \text{ }^\circ\text{C} = 41 \text{ }^\circ\text{C}.$$