Кировское областное государственное автономное образовательное учреждение дополнительного образования
«ЦЕНТР ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ ОДАРЕННЫХ ШКОЛЬНИКОВ»

ФИЗИКА, 2024

ЗАДАНИЯ, РЕШЕНИЯ
И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по проверке и оценке решений
муниципального этапа
всероссийской олимпиады школьников
по физике

в Кировской области
в 2024/2025 учебном году

Киров
2024

Печатается по решению региональной предметно-методической комиссии всероссийской олимпиады школьников по физике

Задания, решения и методические указания по проверке и оценке решений муниципального этапа всероссийской олимпиады школьников по физике в Кировской области в 2024/2025 учебном году. – Киров: Изд-во ЦДООШ, 2024. – 23 с.

Авторы задач
Кантор П. Я.: 11.2, 11.3, 11.5
Коханов К. А. (сост.): 9.1, 9.2, 9.5, 10.2, 10.4, 11.1, 11.4
Минина О. В.: 7.1, 7.5
Перевощиков Д. В.: 10.1, 10.3,
Сорокин А. П.: 7.2, 7.3, 7.4, 7.6, 8.1, 8.2, 8.3, 8.4, 8.5, 8.6, 9.3, 9.4, 9.6, 10.5, 10.6, 11.6
Научное редактирование
Кантор П. Я., канд. физ.-мат. наук, доцент
Перевощиков Д. В., канд. пед. наук
Подписано в печать 01.11.2024
Формат $60\times84^{1}/_{16}$. Усл. печ. л. 1,5

ОРГКОМИТЕТУ И ЖЮРИ

1. На муниципальном этапе установлена следующая продолжительность олимпиады: для учащихся **VII-VIII классов – 2 часа 20 минут,** для учащихся **IX–XI классов – 3 часа**, не считая времени, потраченного на заполнение титульных листов. Начало олимпиады во всех муниципалитетах – в 10:00.
2. Работы муниципального этапа *шифруются*. **Поэтому перед началом олимпиады следует предупредить всех участников, что в работе нельзя делать никаких пометок, которые бы указывали на авторство работы. Необходимые персональные сведения участники вносят только на титульный лист, не скреплённый с работой.**
3. Если в работе приведено несколько решений, то жюри оценивает *худшее* из них. Проверяющие также не должны учитывать полученные в черновике результаты.
4. До проверки члены жюри должны решить все задачи, изучить предлагаемые решения и указания по проверке и оценке решений задач своего класса.
5. Предложенная разбалловка решений задач применяется для решений, приведённых в рекомендациях. При отличных решениях для оценивания работ членами жюри может быть разработана своя разбалловка с аналогичным соотношением баллов за идеи, формулы и численные результаты. При этом следует учитывать, что максимальная оценка за решение каждой задачи не может превышать *10 баллов*: то есть максимальное количество баллов во всех классах за все задачи равно 60. *Жюри вправе снизить баллы за решённую задачу при отсутствии в решении достаточных пояснений к используемым физическим величинам.*
6. В процессе показа работ учащиеся знакомятся со своими результатами, и, в случае несогласия с оценкой жюри, имеют право подать апелляцию, в ходе которой обосновать своё решение. По результатам апелляции *апелляционная комиссия может изменить оценку или оставить её без изменения*.

Желаем успеха!

УСЛОВИЯ ЗАДАЧ ДЛЯ VII КЛАССА

7.1. *«Крепкий мороз».* В России на рубеже XIX – XX столетий широко применялись термометры, имеющие одновременно шкалы Реомюра и Цельсия. На рис. 7.1 приведена фотография термометра, установленного в учебном помещении одной из гимназий. На термометре слева нанесена шкала Реомюра, справа – шкала Цельсия.

Из архивных документов известно, что педагогический совет этой гимназии принял решение закрывать классы в те дни, когда мороз по шкале Реомюра достигал –28°R. Определите, при какой температуре по шкале Цельсия прекращались уроки в гимназии.

Рис. 7.1

7.2. *«Опознанный летающий объект».* Девочка Аглая играет с собакой, кидая ей летающий диск фрисби. Если собака бежит за диском с постоянной скоростью $\upsilon_1 = 3$ м/с, то добегает до него через $t_1 = 7$ с после его падения на землю. Если собака бежит с постоянной скоростью $\upsilon_2 = 5$ м/с, то добегает спустя $t_2 = 3$ с после падения. Определите время полета фрисби t, если известно, что собака начинает бежать одновременно с запуском диска.

Примечание: диск фрисби запускают всегда с одной и той же скоростью, он движется равномерно строго по прямой, собака в момент запуска диска находится рядом с девочкой.

7.3. *«Кто-то с горочки спустился…».* Никита и Андрей катаются на лыжах с горки длиной $S = 70$ м. Когда один из мальчиков начинает скатываться с горки, другой тут же начинает пеший подъём в горку рядом с лыжнёй. Если Никита спускается с горки, а Андрей поднимается, то их встреча происходит на расстоянии $S_1 = 7$ м от основания горки. Если с горки спускается Андрей, а Никита поднимается, то встреча происходит на расстоянии $S_2 = 10$ м от основания горки. Определите, во сколько раз средняя скорость движения с горки Никиты υ_H больше, чем средняя скорость движения с горки Андрея υ_A, если скорость пешего движения мальчиков υ_n в горку одинакова.

7.4. *«Шарики».* Коля купил в магазине два набора шариков. В одном наборе были одинаковые шарики диаметром d_1, в другом – d_2. Мальчик решил сравнить, во сколько раз различаются диаметры шариков, для этого он выложил их в два ряда одинаковой длины. В одном ряду оказалось $n_1 = 12$ шариков диаметром d_1, во втором – $n_2 = 18$ шариков диаметром d_2.

1) Определите, во сколько раз различаются диаметры шариков.

2) К своему удивлению Коля обнаружил, что совпали не только длины рядов, но и суммарные массы шариков, которые он использовал в эксперименте.

Сравните, во сколько раз различаются плотности шариков.

Примечание: плотность тела массой m вычисляется по формуле $\rho = \dfrac{m}{V}$, объём шара вычисляется по формуле $V = \dfrac{\pi d^3}{6}$, где d – его диаметр.

7.5. *«Переливашки».* Цилиндрический сосуд поставили на весы и стали наливать в него воду. Затем в этот же сосуд стали доливать неизвестную жидкость. По результатам эксперимента построили график зависимости массы сосуда с жидкостями от общей высоты жидкостей в сосуде (рис. 7.2). Используя график, определите:

1) массу пустого сосуда m_c;

2) площадь дна сосуда S;

3) плотность неизвестной жидкости $\rho_ж$.

Плотность воды равна $\rho_в = 1000$ кг/м^3.

Объём цилиндра можно найти по формуле: $V = h \cdot S$, где S – площадь его основания, h – высота.

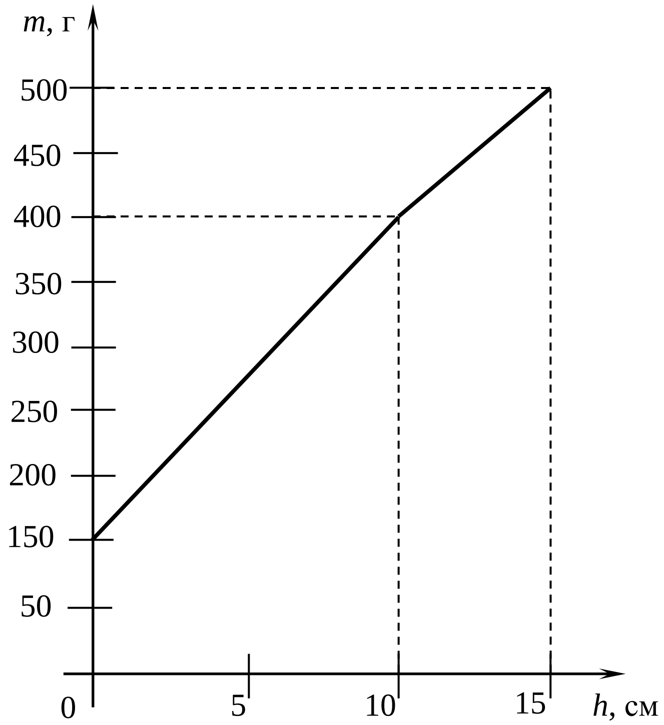

Рис. 7.2

7.6. «*На теплоходе*». Теплоход плавает по реке из пункта *ЦД* в *ООШ* и обратно с постоянной относительно воды скоростью. В таблице приведена зависимость пройденного им пути S от времени t.

S, км	0,00	0,96	1,92	2,40	2,64	3,12	3,60	4,08	4,56	4,80
t, мин	0	4	8	10	12	16	20	24	28	30

1) На миллиметровой бумаге постройте график зависимости пройденного теплоходом пути S от времени t.

2) Используя построенный график, определите расстояние между пунктами, скорость теплохода и скорость течения реки.

Примечание: время стоянки в пункте *ООШ* пренебрежимо мало.

УСЛОВИЯ ЗАДАЧ ДЛЯ VIII КЛАССА

8.1. *«Кубик с маслом».* В открытый сосуд, сделанный в форме полого кубика со стороной $a = 20$ см и массой $m_1 = 4{,}5$ кг, налили до краёв масло плотностью $\rho = 800$ кг/м^3, в результате чего масса сосуда с маслом оказалась равной $m_2 = 5$ кг. Определите:

1) объём масла,

2) плотность материала, из которого изготовлены стенки сосуда.

8.2. *«Опознанный летающий объект-2».* Девочка Аглая играет с собакой, кидая ей летающий диск фрисби. Если собака бежит за диском с постоянной скоростью

$\upsilon_1 = 3$ м/с, то добегает до него через $t_1 = 7$ с после его падения на землю. Если собака бежит с постоянной скоростью $\upsilon_2 = 5$ м/с, то добегает спустя $t_2 = 3$ с после падения диска. Определите:

1) время полёта фрисби t,

2) среднюю скорость полёта фрисби υ.

Примечание: диск фрисби запускают всегда с одной и той же скоростью, он движется строго по прямой, собака в момент запуска диска находится рядом с девочкой и начинает бежать одновременно с запуском диска.

8.3. *«Смесь»*. На заводе для изготовления некоторой смеси в смесительный бак по двум трубам одинакового сечения подаются два жидких вещества с плотностями $\rho_1 = 1{,}2$ г/см^3 и $\rho_2 = 1{,}6$ г/см^3. Вещества подается по трубам так, что в смесительный бак за 1 с попадает $m_1 = 60$ г первого вещества и $m_2 = 40$ г второго. После попадания в смесительный бак вещества перемешиваются и вытекают по третьей трубе, при этом суммарная масса вещества в баке остаётся постоянной.

Определите:

1) среднюю плотность полученной смеси в баке $\rho_{ср}$;

2) скорость вытекания из бака полученной смеси по трубе сечением $S = 10$ см^2.

Примечание: в процессе смешивания веществ пустот и полостей не образуется.

8.4. *«Аквариумы»*. В зоомагазине на полке стоит три аквариума. Площадь основания первого – ab, второго – $2ab$, третьего – $3ab$. Сотрудник зоомагазина налил в них одинаковые объёмы жидкости, после чего рассчитал силы, с которыми вода стала действовать на дно каждого из аквариумов. В первом – вода действовала с силой F_1, во втором – F_2. Определите силу, с которой вода действовала на дно третьего аквариума.

Известно, что при проведении экспериментов атмосферное давление не менялось.

8.5. *«На опорах»*. На детской площадке на двух кирпичах лежит массивное однородное бревно длиной $L = 5$ м. Бревно действует на кирпичи с силами $F_1 = 100$ Н и $F_2 = 400$ Н. Определите:

1) массу бревна;

2) максимальную массу ребенка, который сможет перейти с одного края бревна на другой так, чтобы оно не опрокинулась. Известно, что расстояние между кирпичами равно $l = 2$ м, при этом бревно выступает за один из кирпичей на расстояние $l_1 = 0{,}9$ м.

8.6. *«Две резинки»*. Лёгкую пустую коробку подвесили на две резинки так, что изначально одна из них провисала (рис. 8.1). Затем в коробку начали медленно наливать воду и фиксировать зависимость удлинения Δl_1 первой резинки от массы m налитой воды. Результаты измерений приведены в таблице.

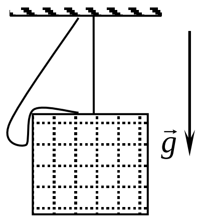

Рис. 8.1

Δl_1, см	0	20	50	90	120	160	190	210	240	270
m, кг	0,0	0,4	1,0	1,8	2,4	4,4	5,9	6,9	8,4	9,9

1) На основе таблицы постройте на миллиметровой бумаге график зависимости удлинения Δl_1 первой резинки от массы m налитой воды.

2) Используя построенный график, определите коэффициенты жёсткости каждой из резинок.

Примечание: считайте, что постоянная $g = 10$ Н/кг.

УСЛОВИЯ ЗАДАЧ ДЛЯ IX КЛАССА

9.1. *«Теория относительности»*. Моторная лодка стартует от берега по реке и практически сразу движется с постоянной относительно воды скоростью. Сперва лодка движется к противоположному берегу перпендикулярно течению реки и за $t_1 = 10$ с проходит относительно воды путь $S_1 = 50$ м. Затем лодка в течение времени $t_2 = 20$ с движется строго по течению реки, а после этого – время $t_3 = 30$ с по направлению к противоположному берегу так, чтобы её не сносило течением. Зная, что скорость течения реки везде одинакова и равна $u = 2$ м/с, определите:

1) среднюю скорость движения лодки относительно воды на всём пути;

2) пройденный лодкой путь относительно воды;

3) пройденный лодкой путь относительно берега.

9.2. *«Равновесие»*. На электронных весах расположен равноплечий однородный рычаг массой $M = 1$ кг и длиной $L = 1$ м, при этом один край рычага может опираться на стопку книг, сохраняя при этом почти горизонтальное положение. На левый (ближний к книгам) край рычага поставили груз массой $m_1 = 500$ г, а на середину правой части рычага – груз массой m_2 (рис. 9.1). Считая массу опоры под рычагом равной нулю, определите:

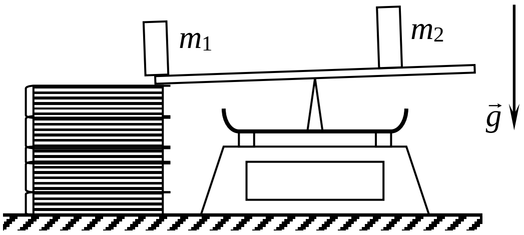

Рис. 9.1

1) минимальную массу груза $m_{2\min}$, при которой рычаг сможет оторваться от книг;

2) какую массу покажут электронные весы, если второй груз будет иметь массу $m_2 = 300$ г?

3) Какую массу покажут весы, если груз m_2 будет перенесён на середину рычага?

4) На какое расстояние относительно точки опоры следовало бы переместить рычаг, чтобы он перестал действовать на книги, но находился в равновесии после того, как груз m_2 будет снят с рычага?

9.3. *«Жидкая смесь»*. На заводе для изготовления некоторой смеси в смесительный бак по двум трубам одинакового сечения S подаются два жидких вещества с плотностями $\rho_1 = 1{,}2$ г/см^2 и $\rho_2 = 1{,}6$ г/см^2. Первое вещество подается по трубе со скоростью $\upsilon_1 = 0{,}6$ см/с, второе – $\upsilon_2 = 0{,}4$ см/с. После попадания в смесительный бак вещества перемешиваются и вытекают по третьей трубе, при этом суммарная масса вещества в баке остаётся постоянной. Определите:

1) среднюю плотность смеси в смесительном баке;

2) скорость движения полученной смеси из смесительного бака по трубе сечением $3S$.

Примечание: в процессе смешивания пустот и полостей не образуется.

9.4. *«Тепло в стакане»*. В первом стакане находится $m_1 = 150$ г воды при температуре $t_1 = 60$°С, во втором – $m_2 = 100$ г воды при температуре $t_2 = 20$°С. Воду начали переливать из одного стакана в другой и обратно до тех пор, пока во втором стакане не оказалась прежняя масса воды при температуре $t_3 = 35$°С.

1) Какой при этом будет температура воды t_4 в первом стакане?

2) Какой станет температура воды t_5, если всю воду перельют в первый стакан?

Удельная теплоёмкость воды $c_в = 4200$ Дж/(кг · °С). Теплопотерями и теплоёмкостью стаканов пренебречь.

9.5. *«Треугольное соединение»*. Из трёх прямых металлических проволок с одинаковым удельным сопротивлением спаяли прямоугольный треугольник, как показано на рис. 9.2. Известно, что сопротивления кусков проволоки AB и BC равны R_{AB} = 3 Ом и R_{AC} = 2 Ом соответственно.

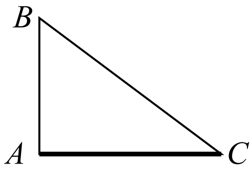

Рис. 9.2

1) Каково сопротивление куска проволоки BC, если площади поперечного сечения проволок AB, BC и AC связаны соотношением $S_{AB} = S_{BC} = S_{AC}/2$?

2) Вершины треугольника B и C подключили к источнику тока с напряжением 5 В. Определите силу тока через каждую из проволок.

Сопротивлением мест спайки проводов пренебречь.

9.6. «*Погружение*». Тело в форме прямоугольного параллелепипеда погружают в воду при помощи системы, изображенной на рис. 9.3. В таблице приведена зависимость силы F, прикладываемой ко второму концу невесомой нити, от объёма V погружённой части тела. Отсчёты сделаны через равные промежутки времени.

F, Н	4	8	12	16	20	20	20
V, дм^3	3,4	3,8	4,2	4,6	5,0	5,0	5,0

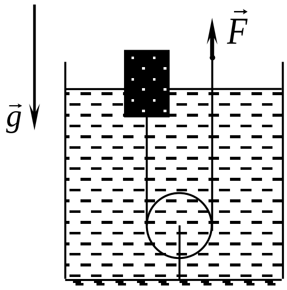

Рис. 9.3

1) На миллиметровой бумаге постройте график зависимости силы F от объёма V.

2) Используя построенный график, определите массу и плотность тела.

Примечание: плотность воды считать известной и равной ρ = 1000 кг/м^3.

УСЛОВИЯ ЗАДАЧ ДЛЯ X КЛАССА

10.1. *«Готовая продукция»*. Транспортёр, предназначенный для перемещения по цеху банок с готовой продукцией, состоит из двух лент, движущихся перпендикулярно друг другу с постоянными скоростями $\upsilon_1 = \upsilon_2 = \upsilon$ (рис. 10.1).

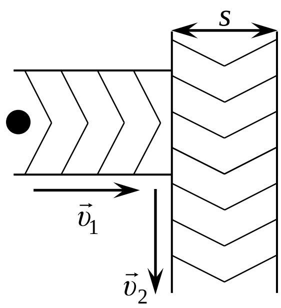

Рис. 10.1

1) Определите минимальную необходимую ширину ленты транспортёра s для того, чтобы банки не падали с неё при переходе с одного транспортёра на другой. Размеры банок малы по сравнению с размерами транспортёра, а коэффициенты трения банки о ленты равны μ.

2) Какое количество теплоты выделяется в системе при переходе одной банки с первого транспортёра на второй? Масса банки равна m.

10.2. *«На пружинах»*. К потолку подвешены две невесомые пружины одинаковой длины, но разной жёсткости. К концам пружин прикрепили однородную палку длиной L = 1 м и массой M = 0,8 кг, а затем на расстоянии L_1 = 20 см от левого края подвесили к ней груз массой m = 0,5 кг. Оказалось, что палка при этом заняла горизонтальное положение (рис. 10.2). Определите:

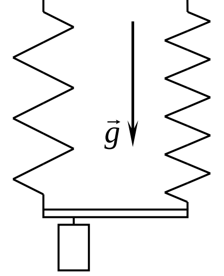

Рис. 10.2

1) суммарную силу упругости, возникающую в пружинах;

2) деформацию каждой пружины, если жёсткость левой пружины равна k_1 = 100 Н/м;

3) жёсткость правой пружины k_2;

4) деформацию левой пружины после погружения системы в бассейн с водой плотностью $\rho_в$ = 1000 кг/м^3. Считать, что площадь сечения стержня равна S = 1 см^2, объём груза V = 0,5 л. Объёмом и массой пружин пренебречь. Пружины в воде сохраняют вертикальность. Принять, что g = 10 м/с^2.

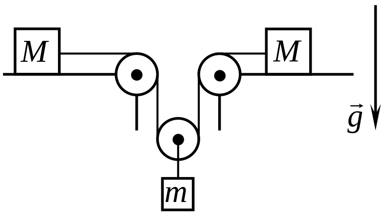

Рис. 10.3

10.3. *«Поехали!»* В системе, показанной на рис. 10.3, определите силы натяжения нитей, действующих на грузы с известными массами M и m. Трение в системе отсутствует; массами нитей, блоков, а также растяжением нитей пренебречь.

10.4. «*Реостат*». К идеальному источнику с напряжением U_0 = 30 В подключили последовательно резистор с сопротивлением R_1 = 10 Ом, а также реостат с максимальным сопротивлением R_2 = 20 Ом. Учитывая, что ползунок реостата можно двигать между крайними положениями, определите:

1) максимальную и минимальную силу тока через сопротивление R_1;

2) максимальное и минимальное напряжения на реостате;

3) наибольшую тепловую мощность, выделяющуюся на реостате.

10.5. *«По стаканам»*. В первом стакане находится m_1 = 150 г воды при температуре t_1 = 60°С, во втором – m_2 = 100 г воды при температуре t_2 = 20°С. В первый стакан положили кубик льда массой m_3 = 10 г при нулевой температуре. Спустя некоторое время воду начали переливать из одного стакана в другой до тех пор, пока во втором стакане не оказалась вода массой $m_1 + m_3$ = 160 г при температуре t_3 = 35°С.

1) Какой при этом будет установившаяся температура воды t_4 в первом стакане?

2) Какой станет окончательная температура воды t_5, если всю воду перельют в один стакан?

Удельная теплота плавления льда λ = 330 кДж/кг, удельная теплоёмкость воды $c_в$ = 4200 Дж/(кг · °С). Теплопотерями и теплоёмкостью стаканов пренебречь.

10.6. «*На весах*». На электронных весах лежит нерастяжимый жгут. Коля начинает поднимать его за один из концов так, что длина поднятой с чашки весов части увеличивается на 2 см за 1 с. В таблице приведена зависимость показаний весов m от времени t.

m, кг	0,52	0,48	0,44	0,40	0,36	0,32	0,28	0,24	0,20	0,16
t, с	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110

1) Постройте на миллиметровой бумаге график зависимости показаний весов m от времени t.

2) Используя построенный график, определите время t_0, спустя которое Коля поднимет весь жгут.

3) Используя построенный график, определите массу жгута m_0 и его полную длину l_0.

УСЛОВИЯ ЗАДАЧ ДЛЯ XI КЛАССА

11.1. *«Запуск»*. Пушка с помощью тягача передвигается по прямой горизонтальной дороге с постоянной скоростью $\upsilon = 20$ м/с. В некоторый момент времени, когда её ствол был направлен вертикально вверх, из неё был запущен снаряд (рис. 11.1) со скоростью $u = 100$ м/с относительно ствола. На каком расстоянии от пушки упадёт снаряд, если сразу после выстрела пушка стала останавливаться с постоянным ускорением $a = 5$ м/с^2? Высотой пушки при решении задачи пренебречь, ускорение свободного падения $g = 10$ м/с^2.

Рис. 11.1

11.2. *«Система грузов»*. Система грузов M, m_1 и m_2, расположенная на столе (рис. 11.2), удерживается в состоянии покоя. Учитывая, что грузы M и m_2 связаны лёгкой нерастяжимой нитью, блок невесом и вращается относительно оси без трения, определите:

1) с каким максимальным ускорением может двигаться верхний груз массой m_1 после освобождения системы, если коэффициент трения между всеми поверхностями равен μ?

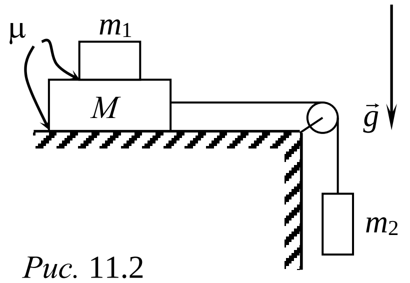

Рис. 11.2

2) При каком значении коэффициента трения μ между соприкасающимися поверхностями груз m_2 сможет сдвинуть систему грузов M и m_1?

3) При каком значении коэффициента трения μ грузы M и m_1 смогут двигаться как одно целое?

11.3. «*Газовый процесс»* Количество $\nu = 0{,}05$ моль идеального одноатомного газа участвует в процессе 1–2–3, график которого в переменных $U - p$ изображён на рис. 11.3 (здесь U – внутренняя энергия газа, p – его давление).

1) Определите, получает или отдаёт газ положительное количество теплоты в процессах 1–2 и 2–3. Ответ обоснуйте.

2) Пусть процесс 4–2–5 осуществляется с тем же газом в теплоизолирующей оболочке. Перестройте график с рис. 11.3 в работу и изобразите вместе с ним приблизительный график процесса 4–2–5 для того же диапазона давлений. Известно, что давление и объём газа в таком процессе связаны соотношением $pV^{\frac{5}{3}} = \text{const}$.

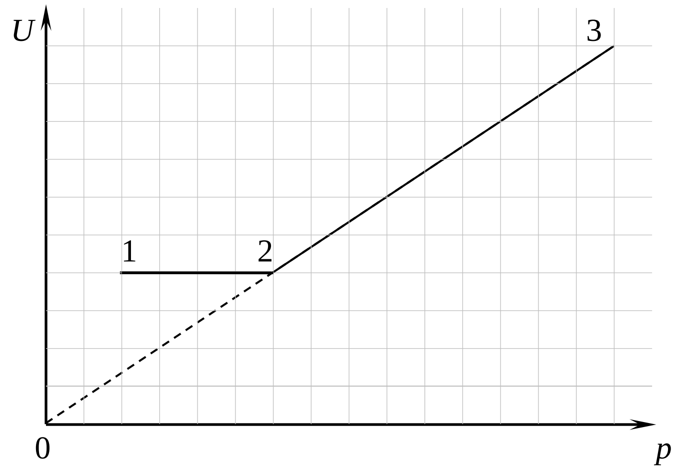

Рис. 11.3

11.4. *«Игры с ключом»*. Конденсаторы ёмкостями C, $2C$ и $3C$ соединили последовательно и через ключ подключили к источнику тока с известной ЭДС ε и внутренним сопротивлением r.

1) Определите наибольшее значение силы тока, заряжающего конденсатор $2C$ после замыкания ключа.

2) После зарядки конденсаторов ключ разъединили и конденсатор ёмкостью 3С замкнули проводником. После того, как система пришла в равновесие, ключ вновь замкнули. Определите наибольшее значение силы тока, заряжающего конденсатор $2C$ после повторного замыкания ключа.

3) Определите суммарный заряд, который прошёл через ключ в указанных процессах.

11.5. *«Максимальный выигрыш».* Солнечная панель (рис. 11.4), имеющая высоту a = 420 мм, установлена так, что нормаль к её поверхности лежит в вертикальной плоскости. Солнце находится на высоте $\varphi = 57°$ над горизонтом.

Рис. 11.4

1) При каком угле α между плоскостью панели и горизонтом мощность солнечного излучения, падающего на панель, максимальна?

2) При каком угле β между плоскостью панели и горизонтом тень, отбрасываемая панелью на горизонтальную поверхность, имеет максимальную длину?

3) Чему равна эта длина?

11.6. *«Катушка с проводом».* Однородный провод постоянной площади сечения S = 2,5 мм^2 и покрытый изоляцией разматывают с катушки с постоянной линейной скоростью v. В таблице приведена зависимость сопротивления оставшегося на катушке провода R от времени t.

R, Ом	32,5	30	27,5	25	22,5	20	17,5
t, с	100	150	200	250	300	350	400

1) На миллиметровой бумаге постройте график зависимости сопротивления оставшегося на катушке провода R от времени t.

2) Используя полученный график, определите начальное сопротивление провода R_0 и время t_0, через которое будет размотан весь провод.

3) Используя построенный график, определите время, через которое длина размотанной части провода будет равна l = 500 м, если удельное сопротивление провода $\rho = 1{,}7 \cdot 10^{-8}$ Ом · м.

РЕШЕНИЯ И РАЗБАЛЛОВКА ПО ЗАДАЧАМ ДЛЯ VII КЛАССА

7.1. *«Крепкий мороз».* На шкалах совпадают штрихи 40 и 50 (*2 балла*), а также нулевое значение температур (*2 балла*). Найдём соотношение между интервалом в один градус Реомюра и градусами Цельсия: $1°\mathrm{R} = \frac{50-0}{40-0}°\mathrm{C} = 1{,}25°\mathrm{C}$ (*4 балла*). Тогда искомая температура равна $-28°\mathrm{R} = -28 \cdot 1{,}25°\mathrm{C} = -35°\mathrm{C}$ (*2 балла*).

7.2. *«Опознанный летающий объект».* Условия запуска фрисби остаются неизменными, следовательно, диск пролетает всегда одинаковое расстояние S (*2 балла*). Тогда для первого и второго броска можно записать уравнения: $S = \upsilon_1(t + t_1)$ (*3 балла*) и $S = \upsilon_2(t + t_2)$ (*3 балла*). Решая совместно последние два уравнения, находим время полета фрисби $t = \frac{\upsilon_1 t_1 - \upsilon_2 t_2}{\upsilon_2 - \upsilon_1}$ (*1 балл*), численно $t = 3$ с (*1 балл*).

7.3. *«Кто-то с горочки спустился…».* Так как до встречи мальчики двигаются одинаковое время, то $\frac{S_1}{\upsilon_п} = \frac{S - S_1}{\upsilon_Н}$ или $\frac{7}{\upsilon_п} = \frac{70-7}{\upsilon_Н}$ (*3 балла*) и $\frac{S_2}{\upsilon_п} = \frac{S - S_2}{\upsilon_А}$ или $\frac{10}{\upsilon_п} = \frac{70-10}{\upsilon_А}$ (*3 балла*). Решая совместно уравнения, получаем, что $\frac{\upsilon_Н}{\upsilon_А} = \frac{3}{2}$ (*4 балла*).

7.4. *«Шарики».* 1) Длина l ряда из шариков может быть выражена через их количество и диаметр $l = dn$ (*1 балл*). По условию длины l рядов совпадают, следовательно, $d_1 n_1 = d_2 n_2$ (*1 балл*), откуда отношение диаметров шариков $\frac{d_1}{d_2} = \frac{n_2}{n_1} = 1{,}5$ (*1 балл*).

2) Масса m ряда из шариков может быть выражена через их количество и массу одного шарика $m = nm_0$ (*1 балл*). Массы m рядов шариков совпадают, следовательно, $m_1 n_1 = m_2 n_2$ (*1 балл*), откуда отношение масс шариков $\frac{m_1}{m_2} = \frac{n_2}{n_1} = 1{,}5$ (*1 балл*). Отношение плотностей шариков $\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{m_1}{V_1} \cdot \frac{V_2}{m_2} = \frac{n_2}{n_1} \cdot \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$ (*1 балл*), численно $\frac{\rho_1}{\rho_2} \cong 0{,}44$ (*3 балла*).

7.5. *«Переливашки».* 1) Массу пустого сосуда определим по графику, это точка пересечения с осью m (*1 балл*): $m_c = 150$ г (*1 балл*).

2) Площадь дна сосуда найдём, проанализировав первый участок графика. По условию, на этом участке наливали воду. Так как $m = \rho_в Sh$, то $S = \frac{\Delta m_1}{\rho_в \cdot \Delta h_1}$ (*2 балла*), численно $S = \frac{(400-150)\ \text{г}}{1\,\frac{\text{г}}{\text{см}^3} \cdot (10-0)\ \text{см}} = 25\ \text{см}^2$ (*2 балла*).

3) Плотность неизвестной жидкости найдем по второму участку графика: $\rho_{ж} = \dfrac{\Delta m_2}{S \cdot \Delta h_2}$ (*2 балла*), численно $\rho_{ж} = \dfrac{(500-400)\ \text{г}}{25\ \text{см}^2 \cdot (15-10)\ \text{см}} = 0{,}8\dfrac{\text{г}}{\text{см}^3}$ (*2 балла*).

7.6. *«На теплоходе».* 1) Необходимый график зависимости пройденного теплоходом пути S от времени t представлен на рис. 7.3 (*2 балла; при отсутствии подписи хотя бы одной из осей координат, масштаба, единиц измерения, одной и более контрольных точек ставится 1 балл*).

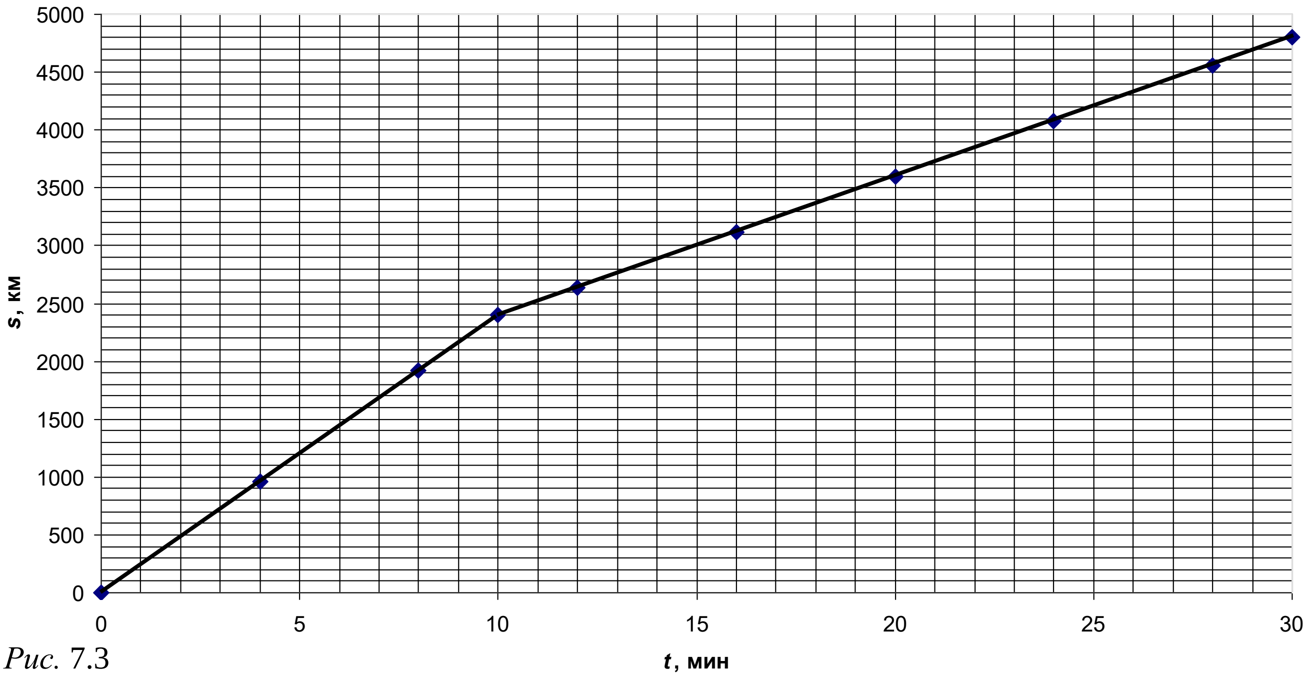

Рис. 7.3

2) На графике можно заметить излом, что свидетельствует о том, что теплоход доплыл до пункта ООШ и развернулся (*1 балл*), причём после излома участок графика более пологий, следовательно, теплоход из ООШ в ЦД поплыл против течения (*1 балл*). Из сделанных рассуждений следует, что расстояние между пунктами составляет S = 2,4 км (*1 балл*). Чтобы найти скорость теплохода и скорость течения, выразим пути, пройденные теплоходом по течению и против: $S = (\upsilon_m + \upsilon_p)t_1$ (*0,5 балла*) и $S = (\upsilon_m - \upsilon_p)t_2$ (*0,5 балла*). Из последних равенств получим, что $\upsilon_m = 10{,}8$ км/ч (*2 балла*) и течения $\upsilon_p = 3{,}6$ км/ч (*2 балла*).

РЕШЕНИЯ И РАЗБАЛЛОВКА ПО ЗАДАЧАМ ДЛЯ VIII КЛАССА

8.1. *«Кубик с маслом».* 1) Масса масла составляет $m = m_2 - m_1 = 0{,}5$ кг (*2 балла*), а его объём $V = \dfrac{m}{\rho} = 625\ \text{см}^3$ (*3 балла*).

2) Объём материала, из которого изготовлен сосуд, равен $V_0 = a^3 - V = 7375\ \text{см}^3$ (*2 балла*), плотность материала $\rho_0 = \dfrac{m_1}{V_0} \approx 0{,}61\ \text{г/см}^3$ (*3 балла*).

8.2. «*Опознанный летающий объект-2*». 1) Так как условия запуска и движения диска остаются неизменными, он в обоих случаях пролетает одно и то же расстояние S (*1 балл*). Тогда для первого и второго случая можно записать следующие равенства $S = \upsilon_1(t + t_1)$ (*2 балла*) и $S = \upsilon_2(t + t_2)$ (*2 балла*). Из записанных равенств находим время полета фрисби $t = \dfrac{\upsilon_1 t_1 - \upsilon_2 t_2}{\upsilon_2 - \upsilon_1} = 3$ (с) (*2 балла*).

2) Расстояние, которое пролетает диск, равно $S = \upsilon_1(t + t_1) = 3 \cdot (3 + 7) = 30$ (м) (*1 балл, такой же результат получается при использовании значений υ_2 и t_2*), тогда средняя скорость его полета $\upsilon = \dfrac{S}{t} = \dfrac{30}{3} = 10$ (м/с) (*2 балла*).

8.3. *«Смесь»*. 1) За 1 с в смесительный бак поступает первое вещество объёмом $V_1 = \dfrac{m_1}{\rho_1} = \dfrac{60}{1{,}2} = 50$ (см^3) (*2 балла*) и второе вещество объёмом $V_2 = \dfrac{m_2}{\rho_2} = \dfrac{40}{1{,}6} = 25$ (см^3) (*2 балла*). Средняя плотность смеси может быть рассчитана по формуле $\rho_{ср} = \dfrac{m_1 + m_2}{V_1 + V_2} = \dfrac{60 + 40}{50 + 25} = 1{,}33$ (г/см^3) (*3 балла*).

2) Ежесекундно из бака вытекает вещество объёмом $V_{см} = V_1 + V_2 = 75$ (см^3), поэтому скорость вытекания смеси равна $\upsilon = \dfrac{V_1 + V_2}{S} = \dfrac{50 + 25}{10} = 7{,}5$ (см/с) (*3 балла*).

8.4. *«Аквариумы»*. Пусть масса воды в аквариуме равна m. Тогда сила давления воды на дно первого аквариума равна $F_1 = p_0 ab + mg$ (*2 балла*), второго – $F_2 = p_0 2ab + mg$ (*2 балла*), третьего – $F_3 = p_0 3ab + mg$ (*2 балла*). Из первого равенства получаем, что $p_0 ab = F_1 - mg$, из второго $F_2 = 2F_1 - 2mg + mg = 2F_1 - mg$, откуда $mg = 2F_1 - F_2$ и $p_0 ab = F_1 - 2F_1 + F_2 = F_2 - F_1$. Подставляя выражения для mg и $p_0 ab$ в третье равенство, получим, что $F_3 = 3F_2 - 3F_1 + 2F_1 - F_2 = 2F_2 - F_1$ (*4 балла*).

8.5. *«На опорах»*. 1) Сила тяжести равна сумме сил, с которыми кирпичи действуют на бревно, $mg = F_1 + F_2$ (*1 балл*), поэтому $m = \dfrac{F_1 + F_2}{g} = 50$ (кг) (*2 балла*).

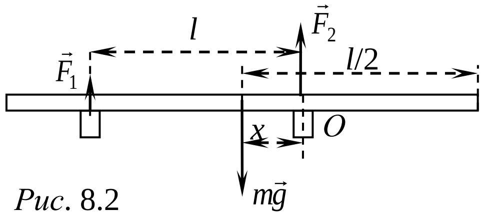

Рис. 8.2

2) Очевидно, что бревно скорее опрокинется тогда, когда ребёнок встанет на тот его край, который дальше всего выступает за кирпичи (*1 балл*). Длина этой части бревна равна $l_2 = L - l - l_1 = 5 - 2 - 0{,}9 = 2{,}1$ (м) (*1 балл*). Тогда, с учётом рис. 8.2, запишем правило рычага для момента, когда ребёнок массой M встал на правый край бревна: $mgx = Mgl_2$ (*2 балла*), где $x = \dfrac{L}{2} - l_2 = 0{,}4$ (м) (*1 балл*). Из записанных равенств получаем, что масса ребёнка не должна превышать $M = m\dfrac{x}{l_2} = 50 \cdot \dfrac{0{,}4}{2{,}1} = 9{,}5$ (кг) (*2 балла*).

8.6. *«Две резинки»*. График зависимости удлинения первой резинки Δl_1 от массы m налитой воды приведён на рис. 8.3 (*2 балла; при отсутствии подписи хотя бы одной из осей координат, масштаба, единиц измерения, одной и более контрольных точек ставится 1 балл*).

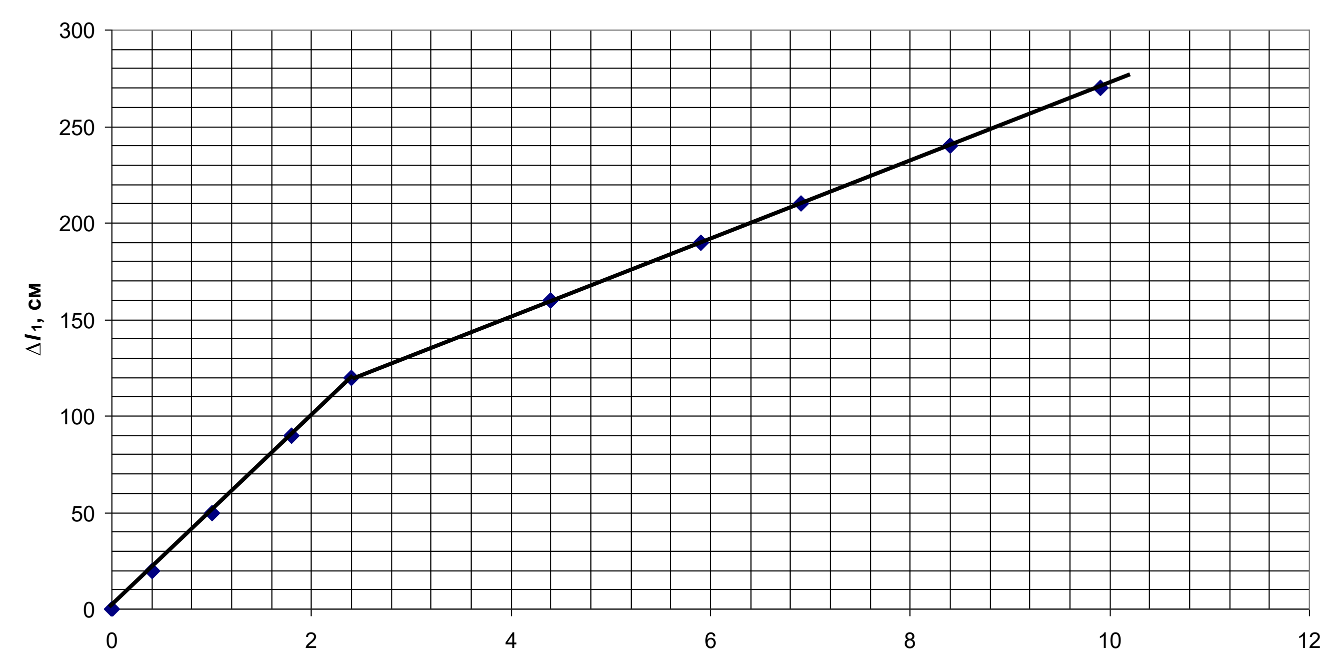

Рис. 8.3

На графике можно отметить излом, после которого следующий участок графика располагается более полого. Это свидетельствует о том, что начали растягиваться обе резинки (*1 балл*). Для первого участка графика (до излома) можно записать $m_1g = k_1\Delta l_1$ (*0,5 баллов*), откуда коэффициент жёсткости первой резинки $k_1 = 20$ Н/м (*1 балл*).

После того, как начинает растягиваться вторая резинка, силы суммируются: $F_{упр} = F_{упр1} + F_{упр2}$ (*1 балл*). При удлинении первой резинки на $\Delta l_1 = 2$ м в ней возникает сила упругости $F_{упр1} = 40$ Н (*0,5 баллов*), в то время как суммарная сила упругости $F_{упр} = 60$ Н (*1 балл*). Тогда для второй резинки $F_{упр2} = F_{упр} - F_{упр1} = 60\text{ Н} - 40\text{ Н} = 20\text{ Н}$ (*1 балл*). При этом вторая резинка растянулась на $\Delta l_2 = 2\text{ м} - 1{,}2\text{ м} = 0{,}8\text{ м}$ (*1 балл*), откуда следует, что коэффициент жёсткости второй резинки $k_2 = 30$ Н/м (*1 балл*).

РЕШЕНИЯ И РАЗБАЛЛОВКА ПО ЗАДАЧАМ ДЛЯ IX КЛАССА

9.1. *«Теория относительности»*. 1) Так как скорость лодки относительно воды не менялась, то средняя собственная скорость лодки на всём пути равна скорости на первом участке $\upsilon = \upsilon_1 = \dfrac{S_1}{t_1} = \dfrac{50}{10} = 5$ (м/с) (*2 балла*).

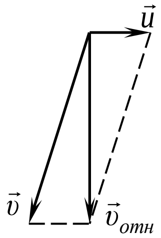

Рис. 9.4

2) Путь, пройденный лодкой относительно воды, равен $\upsilon \cdot (t_1 + t_2 + t_3) = 5 \cdot 60 = 150$ (м). (*2 балла*)

3) На первом участке лодка проплыла относительно берега расстояние $S_{1б} = \sqrt{\upsilon^2 + u^2} \cdot t_1 = \sqrt{25 + 4} \cdot 10 = 53{,}9$ (м) (*1 балл*), на втором $S_{2б} = (\upsilon + u)t_2 = (5 + 2) \cdot 20 = 140$ (м) (*1 балл*), и на последнем со скоростью $\upsilon_{отн} = \sqrt{\upsilon^2 - u^2}$ (рис. 9.4) расстояние $S_{3б} = \sqrt{\upsilon^2 - u^2}t_3 = 4{,}58 \cdot 30 = 137{,}4$ (м) (*2 балла*).

Тогда суммарный путь относительно берега равен $S_б = 53{,}9 + 140 + 137{,}4 = 331{,}3$ (м) (*2 балла*).

9.2. «*Равновесие*». 1) При равновесии рычага $m_1 g \frac{L}{2} = m_{2\min} g \frac{L}{4}$, откуда $m_{2\min} = 2m_1 = 1$ кг (*2 балла; при отсутствии правильного численного ответа и/или необходимых исходных преобразований в ходе решения баллы не ставятся*).

2) Пусть книги действуют на левый конец рычага с силой N. Тогда из правила рычага $m_1 g \frac{L}{2} = N \frac{L}{2} + m_2 g \frac{L}{4}$ получаем, что $N = m_1 g - \frac{m_2 g}{2} = 3{,}5$(Н). Значит, на электронные весы приходится вес $Mg + m_1 g + m_2 g - N = 10 + 5 + 3 - 3{,}5 = 14{,}5$ (Н), весы покажут массу 1 кг 450 г (*4 балла; при отсутствии правильного численного ответа и/или необходимых исходных преобразований в ходе решения баллы не ставятся*).

3) После переноса груза книги будут действовать на рычаг с силой N_1, которая из уравнения $m_1 g \frac{L}{2} = N_1 \frac{L}{2}$ будет равна $m_1 g$; тогда электронные весы покажут массу $\frac{Mg + m_1 g + m_2 g - N_1}{g} = \frac{10 + 5 + 3 - 5}{10} = 1{,}3$ кг = 1 кг 300 г (*2 балла; при отсутствии правильного численного ответа и/или необходимых исходных преобразований в ходе решения баллы не ставятся*).

4) Чтобы после снятия груза m_2 рычаг вновь оказался в равновесии, должно выполняться условие равновесия в виде: $m_1 g\left(\frac{L}{2} - x\right) = Mgx$, где x – расстояние от точки опоры до центра рычага, а также искомое смещение рычага; $x = L\frac{m_1}{2(M + m_1)} = 0{,}6 \cdot \frac{0{,}5}{2 \cdot (1 + 0{,}5)} = 0{,}1$ (м) (*2 балла; при отсутствии правильного численного ответа и/или необходимых исходных преобразований в ходе решения баллы не ставятся*).

9.3. *«Жидкая смесь»*. 1) Средняя плотность смеси, поступившая в бак за время t, может быть найдена по формуле $\rho_{ср} = \frac{m_1 + m_1}{V_1 + V_2}$ (*1 балл*), где $m_1 = \rho_1 \upsilon_1 t S$ (*1 балл*), $m_2 = \rho_2 \upsilon_2 t S$, $V_1 = \upsilon_1 t S$, $V_2 = \upsilon_2 t S$. Тогда $\rho_{ср} = \frac{\rho_1 \upsilon_1 + \rho_2 \upsilon_2}{\upsilon_1 + \upsilon_2} = 1{,}36$ (г/см^3) (*3 балла; при отсутствии правильного численного ответа и/или необходимых исходных преобразований в ходе решения баллы не ставятся*).

2) Скорость вытекания смеси можно найти из условия $m_{см} = m_1 + m_2$ или $\rho_{ср} 3S\upsilon t = \rho_1 S\upsilon_1 t + \rho_2 S\upsilon_2 t$: $\upsilon = \frac{\rho_1 \upsilon_1 + \rho_2 \upsilon_2}{3\rho_{ср}} = 0{,}33$ (см/с) (*5 баллов; при отсутствии правильного численного ответа ставится не более 3-х баллов*).

9.4. *«Тепло в стакане»*. 1) Суммарно второму стакану было передано такое же количество теплоты $Q_2 = c_в m_2 (t_3 - t_2)$, какое отдано первым стаканом $Q_1 = c_в m_1 (t_1 - t_4)$:

$Q_1 = Q_2$. Тогда из равенства $c_в m_1(t_1 - t_4) = c_в m_2(t_3 - t_2)$ (*2 балла*) получаем, что $t_4 = t_1 - \frac{m_2}{m_1}(t_3 - t_2) = 60 - \frac{0,1}{0,15} \cdot 15 = 50$ (°C) (*3 балла*).

2) При переливании воды в один стакан уравнение теплового баланса можно записать так: $c_в m_1(t_1 - t_5) = c_в m_2(t_5 - t_2)$ (*2 балла*). Отсюда $t_5 = \frac{m_1 t_1 + m_2 t_2}{m_1 + m_2} = \frac{0,15 \cdot 60 + 0,1 \cdot 20}{0,15 + 0,1} = 44$ (°C) (*3 балла*).

9.5. *«Треугольное соединение»*. 1) Поскольку $S_{AC} = 2S_{AB}$, то из формулы $R = \rho \frac{l}{S}$ (*1 балл*) длины проволок AC и AB относятся как $\frac{AC}{AB} = \frac{R_{AC} S_{AC}}{R_{AB} S_{AB}} = \frac{2 \cdot 2S_{AB}}{3 \cdot S_{AB}} = \frac{4}{3}$. Из теоремы Пифагора следует, что $BC = \sqrt{AB^2 + AC^2} = \frac{5}{3} AB$, а значит $R_{BC} = \frac{5}{3} R_{AB} = 5$ (Ом) (*4 балла; при отсутствии правильного численного ответа и/или необходимых исходных преобразований в ходе решения баллы не ставятся*).

2) По закону Ома $I = \frac{U}{R}$ (*1 балл*). После подключения источника тока сила тока через проволоку BC будет равна $I_{BC} = \frac{U}{R_{BC}} = \frac{5}{5} = 1$ (А) (*2 балла*). Полное сопротивление участка цепи ABC равно $R_{ABC} = R_{AB} + R_{AC} = 5$ (Ом); сила тока в проволоках AB и BC $I_{AB} = I_{AC} = \frac{U}{R_{AB} + R_{AC}} = \frac{5}{5} = 1$ (А) (*2 балла*).

9.6. *«Погружение»*.

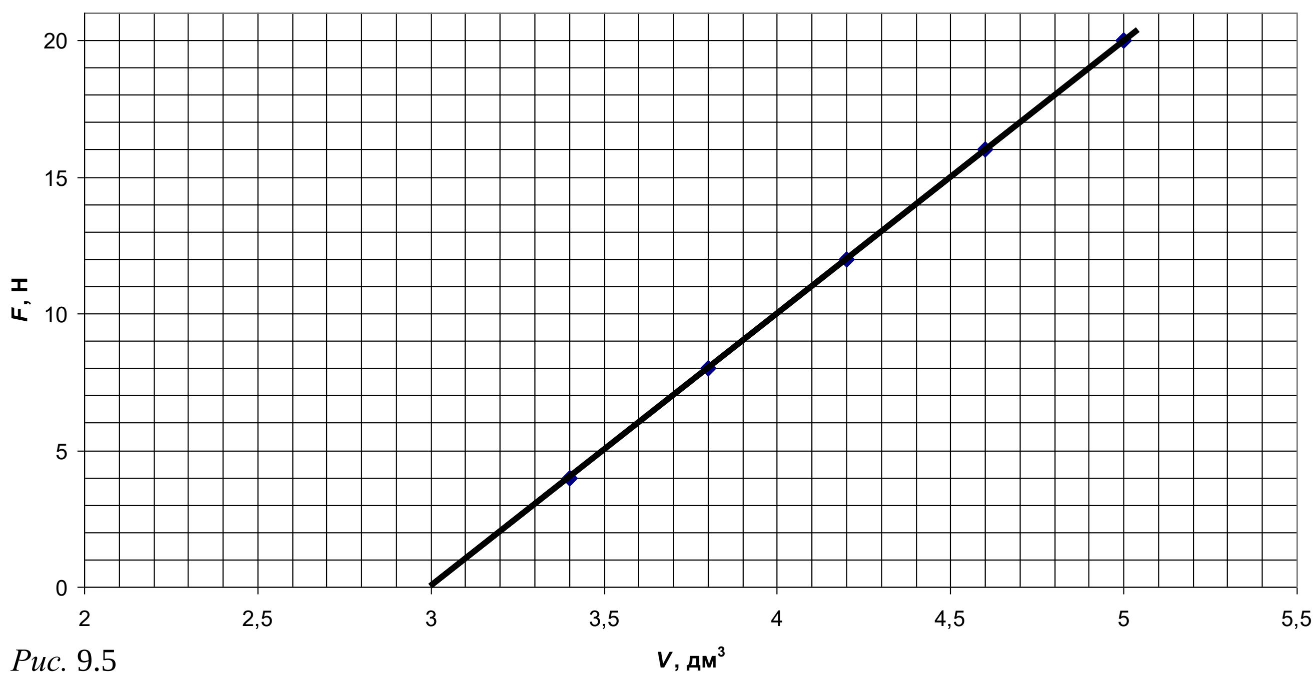

Рис. 9.5

1) График зависимости силы F, прикладываемой ко второму концу нити в зависимости от объёма V погруженной части тела, показан на рис. 9.5 (*2 балла; при отсутствии*

подписи хотя бы одной из осей координат, масштаба, хотя бы одной единицы измерения, одной и более контрольных точек на графике точек ставится 1 балл).

2) Полученная зависимость F от V изображается прямой линией (*2 балла*). Продлим график до пересечения с горизонтальной осью и запишем условия плавания тела при условии $F = 0$ Н: $mg = \rho_в gV$. Поскольку $V = 3$ дм^3, масса получается равной $m = 3$ кг (*2 балла*). Согласно исходным данным, что при некотором значении силы объём погруженной части тела перестаёт изменяться, следовательно, тело целиком находится под водой и его объём равен $V_m = 5$ дм^3 (*2 балла*). Тогда плотность тела равна $\rho = \dfrac{m}{V_m} = 600$ кг/м^3 (*2 балла*).

РЕШЕНИЯ И РАЗБАЛЛОВКА ПО ЗАДАЧАМ ДЛЯ X КЛАССА

10.1. *«Готовая продукция»*. 1) При нахождении на ленте первого транспортёра скорость банки равна скорости ленты $\vec{\upsilon}_1$. Сразу после попадания на второй транспортёр (рис. 10.4) скорость банки относительно ленты второго транспортёра $\vec{\upsilon}_{отн}$ будет направлена под углом 45° по отношению к $\vec{\upsilon}_1$ (*2 балла*). В свою очередь, сила трения скольжения, действующая на банку, направлена противоположно относительной скорости (*1 балл*), а значит под углом 45° к направлению движения второго транспортёра $\vec{\upsilon}_2$ (рис. 10.4). Чтобы банка не упала со второго транспортёра, должно выполняться условие: $\dfrac{\upsilon_1^2}{2a\cos\alpha} \le s$, где, согласно второму закону Ньютона $ma = F_{тр} = mg\mu$, $a = \mu g$ (*1 балл*). Таким образом, $s \ge \dfrac{\sqrt{2}\upsilon^2}{2\mu g}$ (*2 балла*).

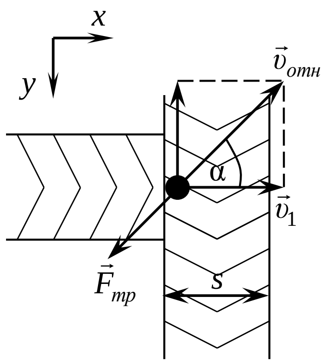

Рис. 10.4

2) При движении тела под действием силы трения скольжения выделяющаяся теплота равна модулю работы силы трения.

Вариант 1. Относительно ленты второго транспортёра банка проходит путь $\dfrac{\left(\upsilon\sqrt{2}\right)^2}{2a} = \dfrac{\upsilon^2}{\mu g}$; при этом выделяется теплота $Q = \left|A_{тр}\right| = mg\mu\dfrac{\upsilon^2}{\mu g} = m\upsilon^2$ (*4 балла; при отсутствии в решении необходимых исходных преобразований баллы не ставятся*).

Вариант 2. При переходе банки с одного транспортёра на другой проекция силы трения на ось 0x $F_{тр_x}$ совершает работу по уменьшению проекции скорости банки на ось 0x υ_x от υ до 0; при этом выделяется теплота $Q_1 = \left|A_{тр_x}\right| = \dfrac{m\upsilon^2}{2}$ (*1 балл*). Двигатель транспортёра совершает работу, против проекции силы трения на ось 0y $F_{тр_y} = \dfrac{mg\mu}{\sqrt{2}}$, прикладывая к ленте равную противодействующую силу. Проекция перемещения банки на ось Оy за время ускорения равна $\frac{\sqrt{2}\upsilon^2}{2\mu g}$; лента транспортёра при этом совершает в 2 раза большее перемещение $\frac{\sqrt{2}\upsilon^2}{\mu g}$. При этом работа двигателя $A = \frac{mg\mu}{\sqrt{2}}\frac{\sqrt{2}\upsilon^2}{\mu g} = m\upsilon^2$ (*1 балл*) расходуется на сообщение кинетической энергии банке и выделение тепла: $m\upsilon^2 = \frac{m\upsilon^2}{2} + Q_2$, откуда $Q_2 = \frac{m\upsilon^2}{2}$ (*1 балл*). Полное количество теплоты $Q = Q_1 + Q_2 = m\upsilon^2$ (*1 балл*).

Вариант 3. В инерциальной системе отсчёта, связанной со вторым транспортёром, кинетическая энергия банки, первоначально равная $\frac{m\upsilon_{отн}^2}{2} = m\upsilon^2$, уменьшается до 0, переходя в тепло. Таким образом, искомая теплота равна $Q = m\upsilon^2$ (*4 балла, при отсутствии в решении необходимых исходных преобразований баллы не ставятся*).

При любом варианте решения за часть 2) даётся не более 4-х баллов.

10.2. «*На пружинах*». 1) Суммарная сила упругости пружин равна суммарной силе тяжести, действующей на палку и груз: $(M + m)g = 13$ (Н) (*2 балла*).

2) Запишем правило рычага относительно крепления палки к правой пружине: $k_1\Delta lL = Mg\frac{L}{2} + mg(L - L_1)$. Тогда деформация каждой пружины равна: $\Delta l = \frac{Mg\frac{L}{2} + mg(L - L_1)}{k_1 L} = \frac{8\cdot 0{,}5 + 5\cdot 0{,}8}{100} = 0{,}08$ (м) (*4 балла, при отсутствии правильного численного ответа и/или необходимых исходных преобразований в ходе решения баллы не ставятся*).

3) Для определения жёсткости второй пружины запишем условие равновесия палки: $k_1\Delta l + k_2\Delta l = Mg + mg$ (также можно было записать правило рычага относительно левой точки подвеса палки), откуда $k_2 = \frac{Mg + mg}{\Delta l} - k_1 = \frac{8+5}{0{,}08} - 100 = 62{,}5$ (Н/м) (*2 балла, при отсутствии правильного численного ответа и/или необходимых исходных преобразований в ходе решения баллы не ставятся*).

4) Поскольку плотность груза равна $\rho_г = \frac{m}{V} = \frac{0{,}5}{0{,}5\cdot 10^{-3}} = 1000$ (кг/м^3), то в воде суммарное действие на него силы тяжести и силы Архимеда будет равно нулю. Тогда правило рычага относительно правой пружины можно записать так: $k_1\Delta l_1 L = (Mg - F_A)\cdot\frac{L}{2}$, где $F_A = \rho_в gSL$ – сила Архимеда, действующая на стержень; тогда $\Delta l_1 = \frac{g}{2k_1}\cdot(M - \rho_в SL) = \frac{10}{2\cdot 100}\cdot(0{,}8 - 1000\cdot 10^{-4}\cdot 1) = 0{,}035$ (м) (*2 балла, при отсутствии правильного численного ответа и/или необходимых исходных преобразований в ходе решения баллы не ставятся*).

10.3. *«Поехали!»* Из второго закона Ньютона получаем, что $Ma_1 = T_1$ (*2 балла*), $ma_2 = mg - T_2$ (*2 балла*), где a_1 и a_2 – ускорения тел массами M и m соответственно, T_1 – сила натяжения длинной нити, T_2 – сила натяжения нити, связывающей нижний блок с грузом массой m. Из невесомости блоков следует, что $T_2 = 2T_1$ (*1 балл*); из нерастяжимости нитей следует соотношение $a_1 = \frac{a_2 + a_2}{2} = a_2$ (*1 балл*). Выражая из первых двух равенств ускорения и приравнивая их, получим, что $T_1 = \frac{mMg}{m + 2M}$ (*2 балла*), $T_2 = \frac{2mMg}{m + 2M}$ (*2 балла*).

10.4. «*Реостат*». 1) Силу тока в цепи найдём из закона Ома: $I = \frac{U}{R_1 + R_2}$ (*1 балл*). Максимальное значение силы тока на первом резисторе равно $I_{\max} = \frac{U}{R_1} = \frac{30}{10} = 3$ (А) (*1 балл*), а минимальное $I_{\max} = \frac{U}{R_1 + R_2} = \frac{30}{10 + 20} = 1$ (А) (*1 балл*).

2) Напряжение на реостате выражается формулой $U_2 = IR_2 = \frac{UR_2}{R_1 + R_2} = \frac{U}{\frac{R_1}{R_2} + 1}$ (*1 балл*). Тогда, наименьшее напряжение на реостате составляет $U_{2\min} = \frac{U \cdot 0}{R_1 + 0} = 0$ (В) (*1 балл*). Из формулы $U_2 = \frac{U}{\frac{R_1}{R_2} + 1}$ следует, что с ростом R_2 напряжение на реостате постоянно увеличивается, поэтом наибольшее напряжение на реостате составляет $U_{2\max} = \frac{U}{\frac{R_1}{R_2} + 1} = \frac{30}{3/2} = 20$ В (*1 балл*).

3) Тепловая мощность на реостате равна $P_2 = U_2 I = (U - IR_1)I$ (вид функции от тока – парабола, ветви которой направлены вниз); наибольшее значение мощности достигается при значении тока $I = \frac{U}{2R_1}$, что возможно, когда сопротивление реостата будет составлять 10 Ом; наибольшее значение тепловой мощности равно $P_2 = (U - IR_1)I = \frac{UI}{2} = \frac{U^2}{4R_1} = \frac{900}{40} = 22{,}5$ (Вт) (*4 балла, при отсутствии правильного численного ответа и/или необходимых исходных преобразований в ходе решения баллы не ставятся*).

10.5. *«По стаканам»*. После погружения льда в первый стакан в нём установится температура t_1', которую найдём из уравнения теплового баланса:

$c_в m_1(t_1 - t_1') = \lambda m_3 + c_в m_3(t_1' - 0)$:

$t_1' = \dfrac{c_в m_1 t_1 - \lambda m_3}{c_в(m_1 + m_3)} = \dfrac{4200 \cdot 0{,}15 \cdot 60 - 330000 \cdot 0{,}01}{4200 \cdot 0{,}16} = 51{,}3\,°\text{C}$ (*2 балла; если для предложенного участником метода решения эта температура не требовалась, то по 1 баллу добавляются к конечной сумме баллов за первый и второй результаты*).

1) *Вариант 1*. После переливаний в первом стакане окажется вода массой m_2 с температурой t_4. Уравнение теплового баланса для этого случая можно записать с учётом того, что у воды массой m_2 температура изменилась с t_2 до t_4, а у $m_1 + m_3$ с t_1' до t_3. Тогда из уравнения теплового баланса $c_в(m_1 + m_3)(t_1' - t_3) = c_в m_2(t_4 - t_2)$ (*2 балла*) $t_4 = \dfrac{(m_1 + m_3)(t_1' - t_3)}{m_2} + t_2 = \dfrac{0{,}16 \cdot (51{,}3 - 35)}{0{,}1} + 20 = 46{,}1°\text{C}$ (*2 балла*).

Вариант 2. Найдём массу воды Δm_1, которую нужно перелить из первого стакана во второй, чтобы температура во втором стала равной $t_3 = 35°\text{C}$. Из уравнения теплового баланса $c_в \Delta m_1(t_1' - t_3) = c_в m_2(t_3 - t_2)$ $\Delta m_1 = \dfrac{m_2(t_3 - t_2)}{t_1' - t_3} = \dfrac{0{,}1 \cdot (35 - 20)}{51{,}3 - 35} = 0{,}092\,(\text{кг})$ (*2 балла*). Тогда во втором стакане окажется масса воды $m_2 + \Delta m = 0{,}192$ кг, что больше необходимых $m_1 + m_3 = 0{,}16$ кг при температуре $t_3 = 35°\text{C}$. В первый стакан нужно вернуть воду массой $\Delta m_2 = m_2 + \Delta m_1 - m_1 - m_3 = 0{,}032$ кг. Из уравнения теплового баланса $c_в \Delta m_2(t_4 - t_3) = c_в(m_1 + m_3 - \Delta m_1)(t_1' - t_4)$ в первом стакане установится температура $t_4 = \dfrac{(m_1 + m_3 - \Delta m_1)t_1' + \Delta m_2 t_3}{m_1 + m_3 - \Delta m_1 + m_2 + \Delta m_1 - m_1 - m_3}$, численно $t_4 = \dfrac{(0{,}16 - 0{,}092) \cdot 51{,}3 + 0{,}032 \cdot 35}{0{,}1} = 46{,}1\,°\text{C}$ (*2 балла*).

При любом варианте решения за часть 1) даётся не более 4-х баллов.

2) Для второго случая уравнение теплового баланса можно также записать для масс воды $m_1 + m_3$ и m_2 и начальных температур t_1' и t_2: $c_в(m_1 + m_3)(t_1' - t_5) = c_в m_2(t_5 - t_2)$ (*2 балла*), откуда $t_5 = \dfrac{(m_1 + m_3)t_1' + m_2 t_2}{m_1 + m_2 + m_3} = \dfrac{0{,}16 \cdot 51{,}3 + 0{,}1 \cdot 20}{0{,}15 + 0{,}1 + 0{,}01} = 39{,}3\,°\text{C}$ (*2 балла*).

10.6. *«На весах»*. 1) График зависимости показаний весов m от времени t показан на рис. 10.5 (*2 балла; при отсутствии подписи хотя бы одной из осей координат, масштаба, хотя бы одной единицы измерения, одной и более контрольных точек на графике точек ставится 1 балл*).

2) Полученная зависимость m от t изображается прямой линией (*1 балл*). Продлим график до пересечения с горизонтальной осью, тем самым мы найдем время, спустя которое Коля поднимет весь жгут: $t_0 = 150$ с (*2 балла*).

3) Продлим график до пересечения с вертикальной осью и найдем начальную массу жгута $m_0 = 0{,}6$ кг (*2 балла*). Зная, что Коля поднимает жгут за один из концов с постоянной скоростью 2 см/с, вычислим полную длину жгута $l_0 = 300$ см (*3 балла*).

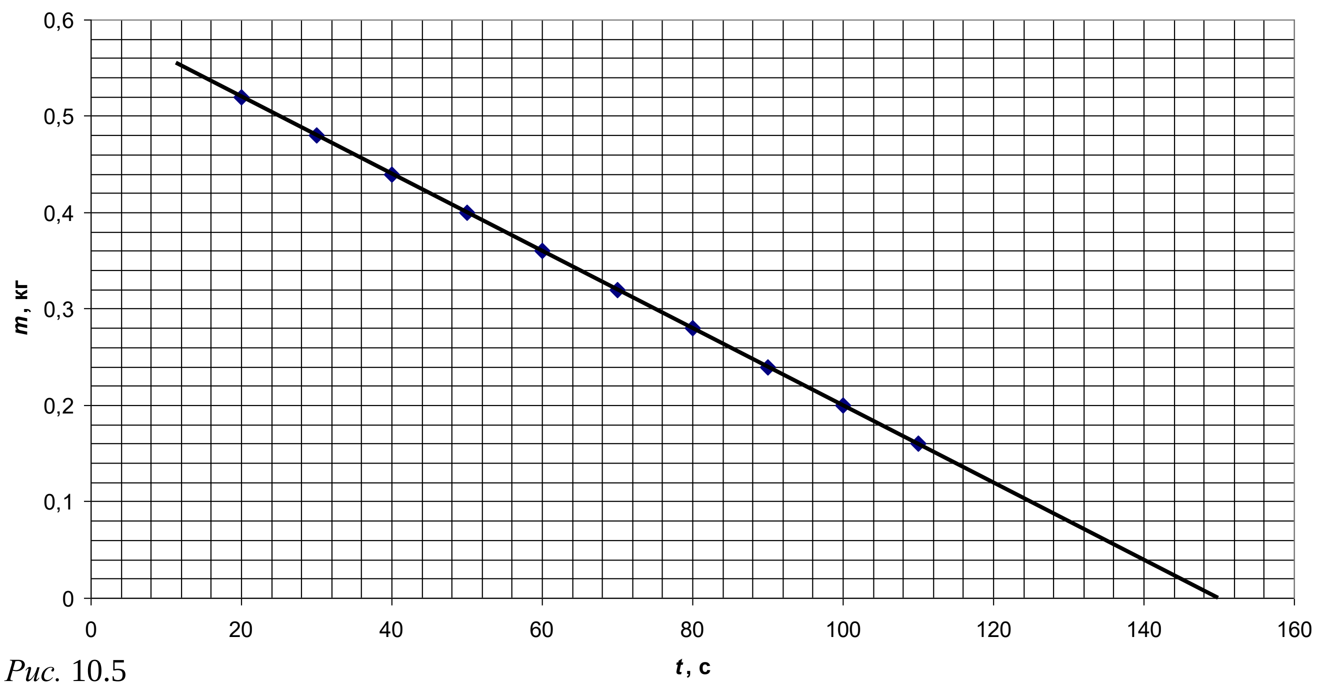

Рис. 10.5

РЕШЕНИЯ И РАЗБАЛЛОВКА ПО ЗАДАЧАМ ДЛЯ XI КЛАССА

11.1. *«Запуск»*. Определим время полёта снаряда t_1 из уравнения движения: $0 = ut - \dfrac{gt^2}{2}$, $t_1 = \dfrac{2u}{g} = \dfrac{2 \cdot 100}{10} = 20$ (с) (*2 балла*). Тогда смещение снаряда по горизонтали составит расстояние $S_1 = \upsilon t_1 = \dfrac{2u\upsilon}{g} = 400$ (м) (*2 балла*).

После запуска снаряда пушка останавливается через $t_2 = \dfrac{\upsilon}{a} = \dfrac{20}{5} = 4$ (с) (*2 балла*), преодолев расстояние $S_2 = \upsilon t_2 - \dfrac{at_2^{\,2}}{2} = 40$ (м) (*2 балла*). Тогда расстояние между упавшим снарядом и пушкой составит $S_1 - S_2 = 360$ (м) (*2 балла*).

11.2. *«Система грузов»*. 1) Груз m_1 может двигаться с максимальным ускорением μg (*2 балла*).

2) Система придёт в движение, если $m_2 g > \mu(m_1 + M)g$ (*1 балл*), откуда $\mu < \dfrac{m_2}{M + m_1}$ (*2 балла*).

3) Согласно второму закону Ньютона, ускорение груза m_2 равно $g\dfrac{m_2 - \mu(m_1 + M)}{m_1 + m_2 + M}$ (*2 балла*). С учётом результата 1), найденное ускорение не может быть более величины μg, поэтому $\dfrac{m_2 - \mu(m_1 + M)}{m_1 + m_2 + M} < \mu$ (*1 балл*), откуда $\mu > \dfrac{m_2}{2(M + m_1) + m_2}$ (*2 балла*).

11.3. *«Газовый процесс»*. 1) Так как $U = 3\nu RT/2$, то процесс 1–2 – изотермический (*1 балл*). Согласно закону Бойля – Мариотта, объём газа при этом уменьшается и над ним совершается положительная работа A' (или самим газом совершается отрицательная работа A) (*1 балл*). По первому закону термодинамики $Q = A + \Delta U$ (*1 балл*); так как $\Delta U = 0$, а $A < 0$, то $Q < 0$, т. е. в процессе 1–2 отдаёт положительное количество теплоты (*1 балл*).

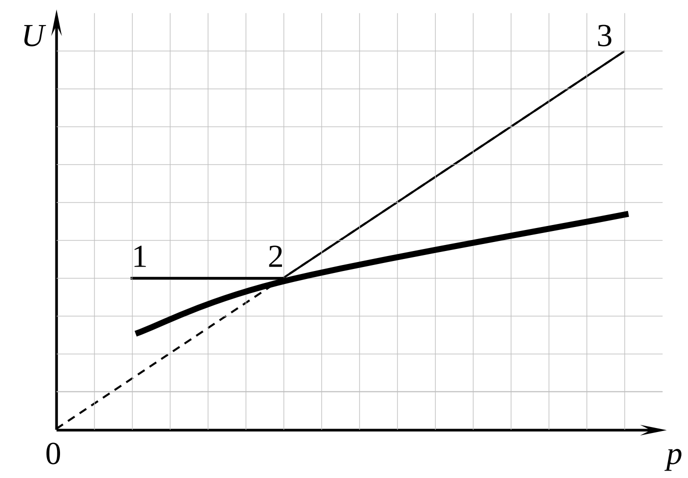

Рис. 11.5

В процессе 2–3 давление пропорционально температуре, следовательно, процесс – изохорный и работа при этом не совершается (*1 балл*). Поскольку внутренняя энергия растёт, то в процессе 2–3 газ получает положительное количество теплоты (*1 балл*).

2) Согласно уравнению Клапейрона–Менделеева $V = \alpha U/p$, где $\alpha = \text{const}$ (*1 балл*). Подставляя это выражение в уравнение адиабаты, получаем: $U = \text{const}\cdot p^{\frac{5/3-1}{5/3}} = \text{const}\cdot p^{2/5}$ (*1 балл*). График изображён на рис. 11.5 (*2 балла*).

11.4. *«Игры с ключом»*. 1) Наибольшая сила тока будет протекать по цепи в момент замыкания ключа, когда конденсаторы ещё не заряжены (*1 балл*). Из закона Ома для полной цепи величина тока в цепи и на конденсаторе $2C$ равна $I_1 = \dfrac{\varepsilon}{r}$ (*2 балла*).

2) В процессе зарядки конденсаторов на каждом из них установится заряд $q_1 = \varepsilon\cdot C_{общ}$ (*1 балл*), где $C_{общ} = \dfrac{6}{11}C$ (*1 балл*). После закорачивания конденсатора $3C$ проводником, суммарная ёмкость заряженных конденсаторов станет равной $\dfrac{2}{3}C$ (*1 балл*), а общее напряжение на них (при разомкнутом ключе!) $\dfrac{q_1}{2C/3} = \dfrac{9}{11}\varepsilon$ (*1 балл*). Максимальный ток будет протекать также сразу после замыкания ключа и его величина будет равна $I_2 = \dfrac{\varepsilon - \dfrac{9}{11}\varepsilon}{r} = \dfrac{2\varepsilon}{11r}$ (*1 балл*).

3) Суммарный заряд, прошедший через источник тока, численно равен величине конечного заряда на одной из обкладок конденсатора C (или $2C$) (*1 балл*): $q_2 = \varepsilon\cdot\dfrac{2}{3}C$ (*1 балл*).

11.5. *«Максимальный выигрыш»*. 1) Очевидно, что мощность максимальна, если плоскость панели перпендикулярна солнечному лучу (*2 балла*). Если это не так, то падающая мощность равна $JS\cos\theta$, где J и S – константы, а θ – угол между лучом и нормалью к панели (*2 балла*). Таким образом, $\alpha = 90° - \varphi = 33°$ (*1 балл*).

2) *Геометрическое решение.* Из построения (рис. 11.6) видно, что длина тени максимальна, если крайний луч проходит по касательной к окружности, описываемой верхней точкой панели при изменении угла наклона (*1 балл*). Таким образом $\beta = 90° - \varphi = 33°$ (*2 балла*).

2') *Физическое решение (оценивается, если отсутствует или неверно геометрическое решение!)* Площадь и, стало быть, длина тени пропорциональна энергии излучения, не доходящей до Земли, т. е. поглощаемой панелью (*1 балл*). Отсюда следует, что $\beta = \alpha = 90° - \varphi = 33°$ (*2 балла*).

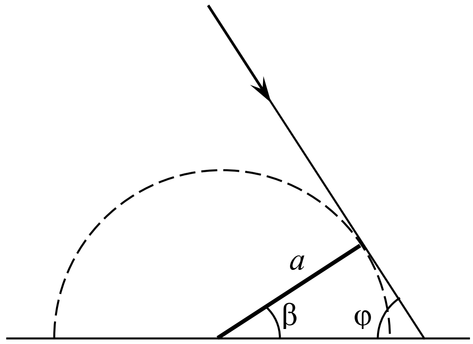

Рис. 11.6

3) Максимальная длина тени $l_{max} = a/\sin\varphi = 500$ мм (*2 балла*).

11.6. *«Катушка с проводом».* 1) График зависимости сопротивления оставшегося на катушке провода R от времени t показан на рис. 11.7 (*2 балла; при отсутствии подписи хотя бы одной из осей координат, масштаба, хотя бы одной единицы измерения, одной и более контрольных точек на графике точек ставится 1 балл*).

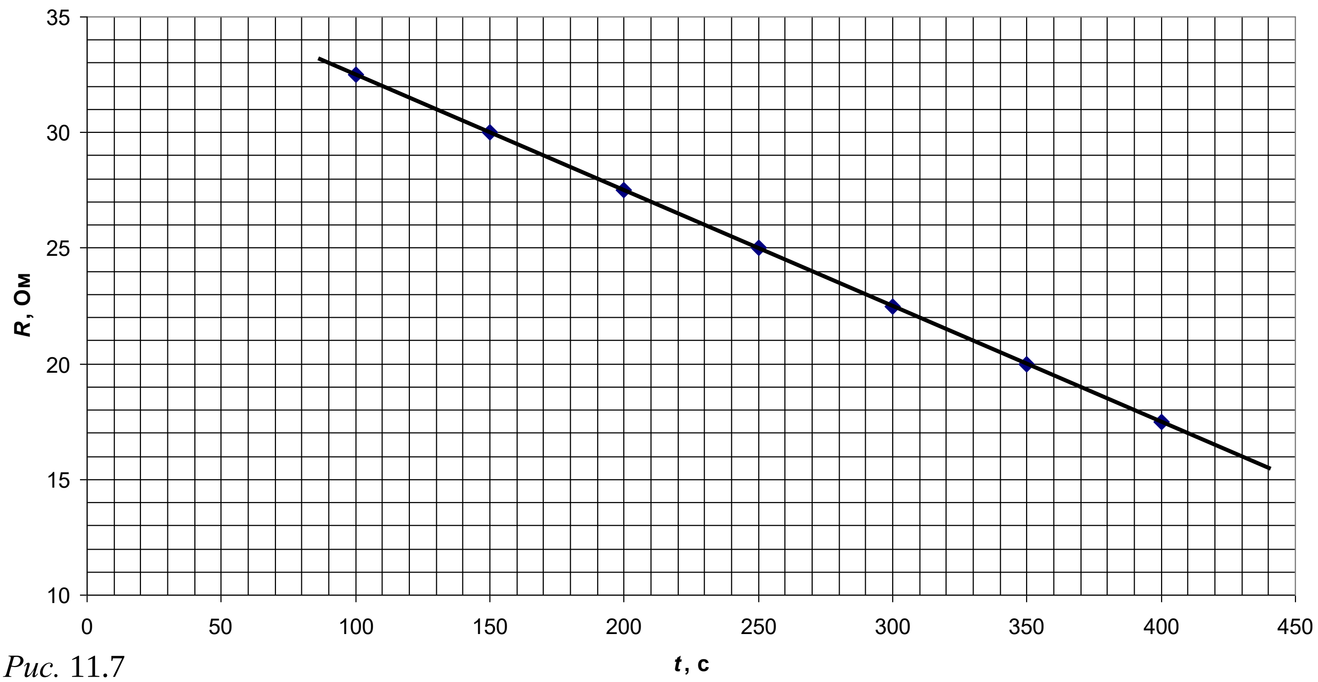

Рис. 11.7

2) Зависимость R от t изображается прямой линией (*1 балл*). Из графика можно получить уравнение зависимости сопротивления оставшегося на катушке провода R от времени t: $R(t) = 37{,}5 - 0{,}05t$ (в единицах СИ). С учётом полученной формулы начальное сопротивление провода равно $R_0 = 37{,}5$ Ом (*2 балла*), а весь провод будет размотан спустя время $t_0 = 750$ с (*2 балла*).

3) Сопротивление проводника можно найти по формуле $R = \rho l / S$, поэтому сопротивление размотанной части провода длиной $l = 500$ м равно $R_1 = 1{,}7 \cdot 10^{-8} \cdot 500/(2{,}5 \cdot 10^{-6}) = 3{,}4$ Ом (*1 балл*). Сопротивление оставшегося провода $R_2 = R_0 - R_1 = 34{,}1$ Ом (*1 балл*). С учётом зависимости сопротивления провода от времени длина размотанной части провода будет равна $l = 500$ м спустя время $t_1 = 68$ с (*1 балл*).