Саратовский государственный университет

имени Н.Г.Чернышевского

МАТЕРИАЛЫ
ДЛЯ ПОДГОТОВКИ И ПРОВЕДЕНИЯ
МУНИЦИПАЛЬНОГО ЭТАПА
LIX ВСЕРОССИЙСКОЙ
ОЛИМПИАДЫ ШКОЛЬНИКОВ
ПО ФИЗИКЕ

Саратов
2024 г

Комплект заданий подготовлен
региональной методической комиссией по физике

Координаты для связи (Савин Алексей Владимирович):
E-mail: sarphys@yandex.ru с пометкой «Олимпиада» в теме письма
Адрес: 410012, Саратов, ул. Астраханская, 83, СГУ, ФФМиЕНД ПИ,
Савину А.В.

Задачи предложили:

7 класс	8 класс
1. А.А. Ростунцова	1. В.Н. Шевцов
2. В.Н. Шевцов	2. А.В. Савин
3. А.А. Князев	3. В.Н. Шевцов
4. А.В. Савин	4. Д.О. Любченко

9 класс	10 класс	11 класс
1. А.В. Савин	1. В.Н. Шевцов	1. В.Н. Шевцов
2. В.Н. Шевцов	2. В.Н. Шевцов	2. В.Н. Шевцов
3. В.Н. Шевцов	3. Д.О. Любченко	3. Д.В. Савин
4. В.Н. Шевцов	4. Д.О. Любченко	4. М.М. Стольниц
5. А.А.Ростунцова	5. Д.О. Любченко	5. М.М. Стольниц

Председатель методической комиссии: А.В. Савин.

Члены методической комиссии: А.А. Дворцов, Д.О. Любченко, М.Н. Нурлыгаянова, А.А. Ростунцова, Д.В. Савин, М.М. Стольниц, Р.А. Торгашов, В.Н. Шевцов.

Общая редакция и подготовка оригинал-макета – А.В. Савин.

Подписано в печать 5 декабря в 00.41,
с исправлениями 10 декабря в 23.07

Условия задач

7 класс

1. "Стадий"

Стадий — единица измерения расстояний в древних системах мер многих народов. В Вавилоне за стадий принимали расстояние, которое человек проходит спокойным шагом за промежуток времени от появления первого луча солнца при восходе до того момента, когда весь солнечный диск окажется над горизонтом.

Любознательный Иван решил измерить стадий на собственном опыте. Он шел во время восхода солнца, делая 3 шага за 2 секунды. За время движения минутная стрелка часов Ивана прошла 1/20 часть от полного оборота.

Чему равен стадий в метрах согласно опыту Ивана, если длина его шага составляет 65 см? На сколько процентов это отличается от вавилонского эталона, равного 194 метра?

2. "Скорости муравья"

Рабочий муравей перемещается по тонкой прямой ветке яблони, собирая медвяную падь (это густая сладкая жидкость, которую выделяют тли — опасные вредители растений). График зависимости координаты муравья x от времени t изображен на рис. 1 (координатная ось Ox совмещена с веткой).

Найдите (в см/с):

1) максимальную скорость муравья в процессе движения;
2) среднюю путевую скорость муравья за 15 секунд;
3) среднюю скорость его перемещения вдоль оси Ox за это же время.

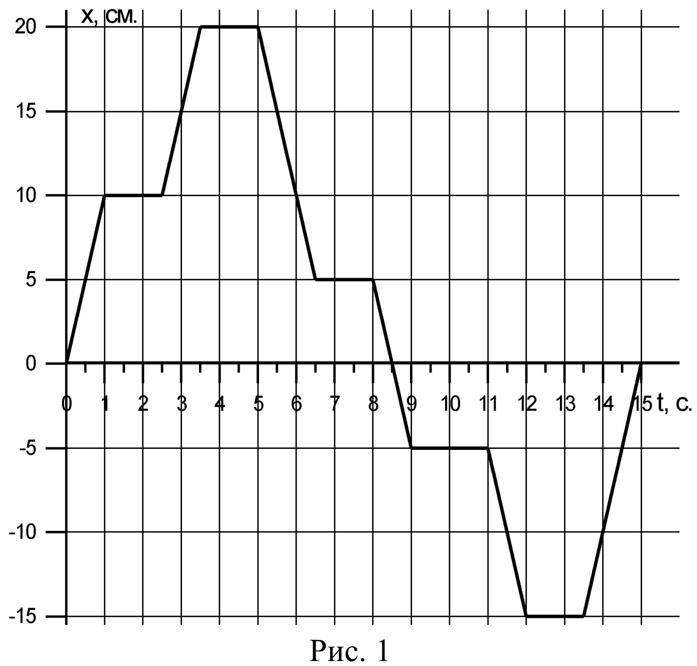

Рис. 1

3. "Бочка с огурцами"

Бочка объемом 50 л доверху заполняется огурцами и заливается рассолом. Плотность вещества огурцов 1100 кг/м^3, а средняя (насыпная) плотность огурцов в куче 670 кг/м^3. Сколько соли потребуется для приготовления рассола, если на каждый литр рассола нужно взять 40 г соли?

4."Наблюдение в поезде"

Однажды семиклассник Петр ехал в поезде. Поезд двигался с постоянной скоростью, и Петр, глядя в окно, решил определить ее. Для этого он по часам засекал время, в которое поезд проезжал мимо очередного километрового столба. Полученные им значения приведены в таблице (поскольку Петр часто отвлекался, он заметил далеко не все столбы). Постройте график зависимости пройденного поездом пути от времени. Путь и время отсчитываются от момента прохождения вагоном Петра столба "843 км". Определите, в какое время поезд проехал мимо столба "824 км".

L, км	843	840	837	831	819	810
T, чч:мм:сс	13:33:10	13:36:46	13:40:22	13:47:34	14:01:58	14:12:46

8 класс

1. "Средняя путевая скорость"

Первую часть пути автомобиль прошел со средней скоростью v_1, а оставшийся участок – со средней скоростью v_2. При этом средняя скорость за всю поездку оказалась равной $v_{ср}$. Чему равно отношение длины первого участка пути к длине второго?

2. "Гидростатическое равновесие"

Аквариум экспериментатора Глюка представляет собой цилиндр с тонкими однородными стенками. Экспериментатор Глюк установил аквариум на опору очень малой площади, расположив ее точно в центре основания. После этого он установил в аквариум два цилиндра, изготовленных из свинца и дерева соответственно, так, что равновесие не нарушилось (Глюк – очень хороший экспериментатор, поэтому ему это удалось). Масса каждого цилиндра 1 кг, площадь основания 10 см^2. Затем он очень аккуратно и медленно начал наливать в аквариум воду. До какой высоты ему удалось ее налить? Считайте, что цилиндры неплотно прилегают ко дну, а высота аквариума больше высоты каждого из цилиндров. Плотности свинца 11,3 г/см^3, воды 1,0 г/см^3, дерева 0,7 г/см^3.

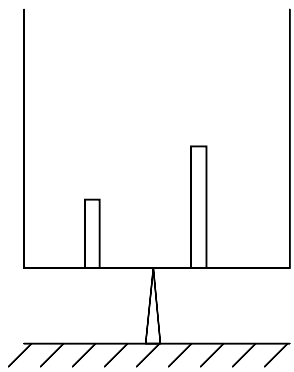

Рис. 2

3. "Утонет ли шарик"

В калориметр, содержащий 2 кг воды, бросили кусок льда массой 1 кг, в середину которого вморожен стальной шарик массой 50 г. Начальная температура льда и шарика 0°С. При какой начальной температуре воды шарик не утонет после установления теплового равновесия? Плотности воды 1,0 г/см^3, льда 0,9 г/см^3, стали 7,8 г/см^3, удельная теплота плавления льда 335 кДж/кг, удельная теплоемкость воды 4,2 кДж/(кг·°С), вода из калориметра не выливалась.

4. "Струна с большим периодом"

В результате эксперимента по определению зависимости частоты колебаний струны от ее длины получены приведенные в таблице результаты. Известно, что в условиях опыта частота колебаний была обратно пропорциональна длине струны. Постройте график этой зависимости в таких координатах, в которых он линеен. Исходя из приведенных данных определите длину струны, одно колебание которой длится 10 с.

f, Гц	9543	839	77,7	9,1	0,87	0,45	0,22
l, м	0,01	0,1	1,0	10	100	200	400

Для справки: частотой колебаний называется величина, показывающая, сколько полных колебаний происходит в единицу времени. Частота колебаний в системе СИ измеряется в Герцах (1 Гц=1/с) и показывает, сколько полных колебаний происходит за 1 секунду.

9 класс

1. "В гости через реку"

Три деревни расположены на берегах широкой реки: А и В на одном берегу, а С – на другом (см. рис. 3). У жителей деревень имеются моторные лодки, которые движутся с постоянной (одной и той же для всех лодок) скоростью относительно воды. Для того, чтобы добраться по кратчайшему пути от деревни С как до деревни А, так и до деревни В, требуется 30 минут. Определите скорость течения реки и скорость лодки в неподвижной воде. Известно, что ширина реки 1,5 км, расстояние от деревни А до деревни С 3,5 км, от деревни С до деревни В 1,8 км.

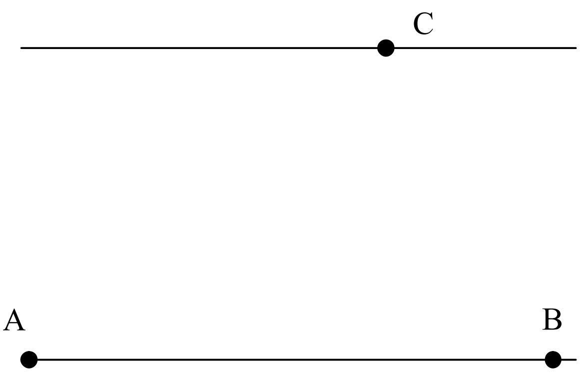

Рис. 3

2. "Неоднородный брусок"

Плотность материала бруска, имеющего форму прямоугольного параллелепипеда, линейно изменяется вдоль его наименьшей стороны. Оказавшись в воде, брусок плавает, будучи погруженным на 4/5 своего объема. Брусок разрезали пополам горизонтальной плоскостью, перпендикулярной наименьшей стороне, и получившиеся части опустили в воду. Оказалось, что одна из них погружена в воду наполовину. Будет ли плавать вторая часть бруска? Если да – найдите, какая ее часть будет погружена в воду, если нет – найдите минимальную силу, при помощи которой можно удерживать ее на плаву. Масса бруска m.

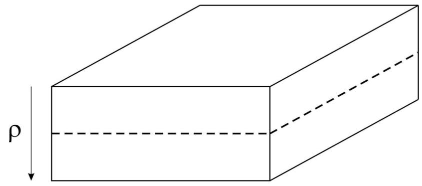

Рис. 4

3. "Шарики в калориметре"

В калориметр с водой, температура которой t_0=20°С, переносят нагретые в кипятке (100°С) одинаковые металлические шарики. После переноса первого шарика температура воды в калориметре поднялась до t_1=40°С. Какой станет температура воды в калориметре после переноса двух шариков? Сколько шариков надо перенести, чтобы температура в калориметре стала равной 98°С? Потерями тепла в окружающую среду можно пренебречь, вода из калориметра не выливается.

4. "Два вольтметра"

В электрической цепи, показанной на рис. 5, вольтметры одинаковы. Показания вольтметра V_1 равны 12 В и в 4 раза отличаются от показаний вольтметра V_2. Найдите напряжение источника питания цепи U.

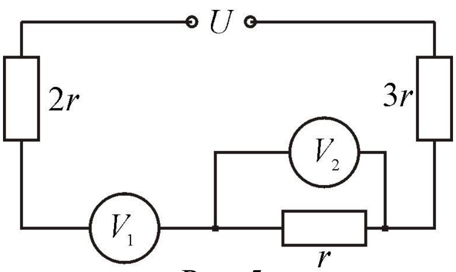

Рис. 5

5."Секундомер-реостат"

Безумный изобретатель собрал демонстрационный секундомер, состоящий из металлического проволочного обода и металлической секундной стрелки. Затем он приложил постоянное напряжение к началу стрелки и точке «45 секунд» обода (см. рис. 6).

Историк науки нашел в архиве снятую изобретателем зависимость тока в такой цепи I от времени, прошедшего после запуска секундомера t, однако большая часть показаний была утеряна, и остались только данные, полученные в промежутке между 25-й и 42-й секундами (см. таблицу значений). Анализируя эти данные, он определил минимальное значение тока в цепи – ему удалось это сделать, построив зависимость $1/I$ от $(t–x)^{\alpha}$, где x и α – некоторые константы; причем зависимость оказалась линейной.

Определите, чему были равны x и α. Воспроизведите получившийся график и найдите по нему минимальное значение тока в цепи.

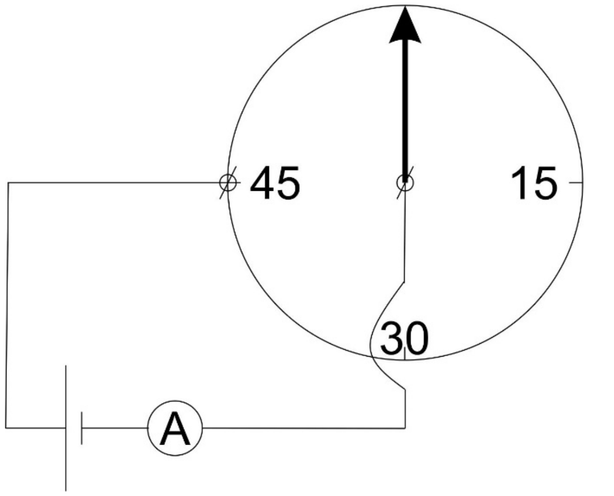

Рис. 6

Момент времени t, с	Ток в цепи I, А
26	2,40
29	2,53
32	2,70
35	2,95
38	3,30
41	3,81

10 класс

1. "Движение с возрастающим ускорением "

Частица движется прямолинейно в положительном направлении оси Ox. В некоторый момент времени она находится в начале координат и имеет скорость 5 м/с. С этого момента времени движение частицы становится ускоренным, причем проекция ускорения на ось Ox пропорциональна текущей координате x частицы: $a_x(x)=\beta x$, где $\beta=1$ с$^{-2}$. Какую скорость будет иметь частица в точке с координатой x_K =10 м?

2. "Две шайбы на пружине"

Две шайбы массами m и $2m$, соединенные легкой пружиной, движутся вдоль одной прямой по горизонтальной поверхности. В некоторый момент времени скорости шайб направлены одинаково (см. рис.7), причем легкая шайба движется замедленно с ускорением a_1=3 м/с^2. Растянута или сжата пружина в этот момент времени? Определите величину и направление вектора ускорения тяжелой шайбы в этот момент. Коэффициент трения между каждой шайбой и поверхностью μ=0,2. Ускорение свободного падения g=10 м/с^2.

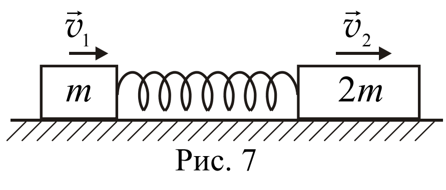

Рис. 7

3. "Нелинейный мост"

На рис. 8 представлена схема с одинаковыми нелинейными элементами, вольтамперные характеристики которых задаются формулой $I = \sqrt{kU}$ (k – постоянный известный коэффициент). Какое напряжение нужно приложить к точкам A и B, чтобы через амперметр не шел ток? Сопротивления резисторов известны.

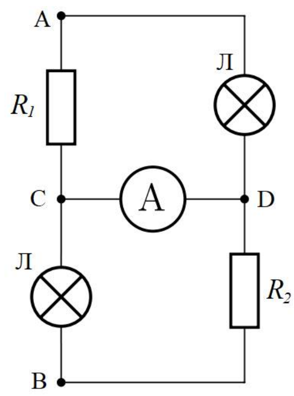

Рис. 8

4. "Полет без тени"

Пилот инопланетного корабля пилотирует его так, чтобы он не создавал на поверхности земли полной тени и при этом находился на наименьшей высоте. Оказалось, что при солнце, стоящем в зените над кораблем, такая высота равна h. Чему она станет равна, если лучи солнца будут составлять угол α с горизонтом? Считайте, что корабль является тонким диском и располагается параллельно поверхности земли, а угловой размер солнца не меняется.

5. "Охлаждение процессора"

Систему охлаждения микропроцессора персонального компьютера можно упрощенно представить состоящей из установленного на процессор радиатора (для улучшения теплового контакта между процессором и радиатором прокладывается слой термопасты) и вентилятора, обдувающего радиатор. При этом интенсивность работы вентилятора регулируется таким образом, чтобы температура радиатора оставалась постоянной при любой мощности, выделяемой процессором.

Мощность тепла, передаваемого как от процессора радиатору, так и от радиатора воздуху, можно считать прямо пропорциональной разности температур более горячего и более холодного тел $P=\alpha(T_г – T_х)$. Коэффициент $\alpha_{пр}$, описывающий передачу тепла от процессора радиатору, определяется только свойствами термопасты и геометрией конструкции. Коэффициент же $\alpha_{рв}$, описывающий передачу тепла от радиатора воздуху, зависит от температуры процессора (см. таблицу). Известно, что температура воздуха 20°C, а тепловой мощностью, передаваемой от процессора непосредственно воздуху, можно пренебречь.

$\alpha_{рв}$, Вт/°C	38.2	68.8	87.5	100.2	112.1	127.3	148.2	160.1	175.2	187.8	214.4
$T_п$, °C	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80

1. Постройте график этой зависимости.

2. Определите $\alpha_{пр}$.

11 класс

1. "Падающие шары"

Два шара с радиусами $R_1=R$ и $R_2=nR$ изготовлены из материалов с плотностями $\rho_1=k\rho$ и $\rho_2=\rho$ (n, $k>1$). Шары связаны длинной невесомой нерастяжимой нитью. В безветренную погоду связка шаров начинает падать с очень большой высоты, и через некоторое время скорость ее движения становится постоянной. Известно, что сила сопротивления воздуха, действующая на каждый из шаров, прямо пропорциональна его скорости и площади поперечного сечения, причем коэффициент пропорциональности одинаков для обоих шаров. Какой из шаров расположен ниже? Найдите силу натяжения нити, соединяющей шары. Считайте, что плотность шаров много больше плотности воздуха.

2. "Влажный воздух под поршнем"

В цилиндрическом сосуде под подвижным поршнем находится влажный воздух и небольшой объем жидкой воды. Начальный объем смеси V_1=10 л, а давление $p_1=2\cdot10^5$ Па. В результате изотермического расширения до объема V_2=20 л давление стало равным $p_2=1{,}4\cdot10^5$ Па. Сколько молекул воды находится под поршнем? Нормальное атмосферное давление $p_0=1\cdot10^5$ Па.

3. "Электроупругий тетраэдр"

В вершинах правильного тетраэдра $ABCD$ с длиной ребра a размещены шарики одинаковой массы, причем шарики, размещенные в вершинах A, B, C заряжены зарядом q, а шарик в вершине D – зарядом $-q$. Все шарики связаны между собой нерастяжимыми нитями, а шарик D, кроме того, прикреплен к остальным шарикам пружинами жесткости χ; длина каждой пружины в недеформированном состоянии $2a$; система находится в равновесии. Нити AD, BD, CD одновременно пережигают. Найдите максимальное расстояние между шариками A и D в процессе последующего движения.

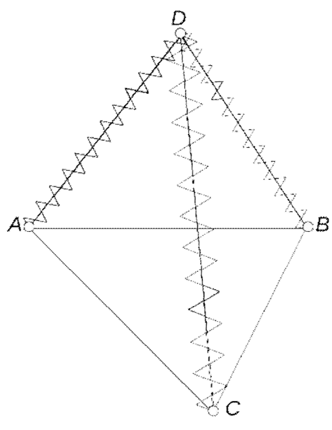

Рис. 9

4. "Светлячок и линза"

Точечный источник света движется с постоянной скоростью v_0 параллельно главной оптической оси собирающей тонкой линзы на расстоянии $9F/40$ от оси (F – фокусное расстояние линзы). За время движения расстояние от источника до линзы меняется от $4F$ до $2F$. Найдите траекторию изображения и его среднюю скорость за время движения.

5."Время падения с башни"

Небольшое тело (материальную точку) бросают с вершины высокой башни с одинаковой по модулю начальной скоростью под различными углами β к горизонту и измеряют время, за которое оно долетает до земли. Результаты измерений приведены в таблице. Определите высоту башни H и начальную скорость тела υ_0, используя не менее 5 результатов измерений. Оцените погрешность полученных результатов. Считайте, что тело движется в постоянном и однородном гравитационном поле Земли (ускорение свободного падения g=9,8 м/с^2). Сопротивлением воздуха можно пренебречь.

β,°	t, с
–75	1,27
–60	1,37
–45	1,56
–30	1,85
–15	2,32
15	3,87
30	4,85
45	5,79
60	6,57
75	7,07

Решения задач

7 класс

7-1. Иван шел, делая 3 шага за 2 секунды, то есть со скоростью 3/2=1,5 шага в секунду. Учитывая, что длина шага Ивана составляет 65 см, скорость равна 1,5·65 см/с или 1,5·0,65 м/с. За время движения Ивана минутная стрелка часов прошла 1/20 часть от полного оборота, т.е. прошло 60/20 минут или 60·60/20 секунд. Умножая скорость Ивана на время, находим расстояние, которое он успел пройти: (1,5·0.65)·(60·60/20) = 175,5 м.

Рассчитаем, на сколько процентов это меньше, чем вавилонский эталон:

$$\frac{194-175.5}{194}100\% = 9.54\%$$

Ответ: 175,5 м, примерно на 9,5 %

Критерии оценивания

Найдена скорость Ивана в м/с или см/с	2
Найдено время движения в секундах	2
Найдена полученная Иваном длина стадия	3
Определено, на сколько процентов она отличается от "вавилонской"	3

Указания проверяющему: 1. Ответ "на 10%" также следует засчитывать как верный.

2. Если скорость и время движения не выражены в числах, но указан способ их расчета (см. авторское решение), баллы за соответствующие критерии ставятся.

3. Если участник считает проценты от результата Ивана (и получает 10,5 %), за их расчет следует ставить на балл меньше.

7-2. Из графика видно, что муравей пробежал 4 отрезка пути по 10 см и 2 отрезка по 15 см. Следовательно, за 15 секунд муравей преодолел путь $s = 40 + 30 = 70$ см. Тогда его средняя путевая скорость $v_{ср} = \frac{s}{t} = \frac{70}{15} = 4{,}67$ см/с.

2. Через 15 секунд муравей вернулся в точку начала своего движения. Следовательно, его перемещение по оси Ox составило $\Delta x = x_K - x_H = 0 - 0 = 0$ см. Значит, средняя скорость перемещения по оси Ox за промежуток времени $\Delta t = t = 15$ секунд: $v_x = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{0}{15} = 0$ см/с.

Между своими остановками для сбора пади муравей перемещался с одинаковой скоростью $v = \frac{10}{1} = \frac{15}{1{,}5} = 10$ см/с. Заметим, что это существенно больше средней путевой скорости.

Ответ: 1) 10 см/с; 2) 4,67 см/с (допускается ответ 4,7 см/с или $4\frac{2}{3}$ см/с; 3) 0 см/с

Критерии оценивания

Найдена наибольшая скорость муравья	3
Найден пройденный муравьем путь	2
Найдена средняя путевая скорость	2
Найдена средняя скорость	3

Указание проверяющему: За ответы на вопросы 1 и 2, приведенные без указания единиц измерения либо в единицах измерения, отличных от см/с, ставить на 1 балл меньше

7-3. Пусть объем бочки V. Тогда в нее помещаются огурцы массой $m=\rho_2 V$, собственный объем которых равен $V_1=m/\rho_1=\rho_2 V/\rho_1$ (здесь ρ_1 – плотность вещества огурцов, ρ_2 – насыпная плотность огурцов). Объем рассола можно найти как разность объемов бочки и огурцов $V_р=V(1-\rho_2/\rho_1)\approx 20$ литров. Тогда соли потребуется 800 г.

Ответ: 800 г

Критерии оценивания

Найдена масса огурцов	3
Найден объем огурцов	2
Найден объем рассола	3
Найдена масса соли	2

7-4. Рассчитаем для каждого столба расстояние, на котором он находится от столба "843 км", и время, потребовавшееся на преодоление этого расстояния поездом.

L, км	843	840	837	831	819	810
T, чч:мм:сс	13:33:10	13:36:46	13:40:22	13:47:34	14:01:58	14:12:46
S, км	0	3	6	12	24	33
t, с	0	216	432	864	1728	2376
t, мин	0	3,6	7,2	14,4	28,8	39,6
t, час	0	0,06	0,12	0,24	0,48	0,66

Построим график (см. рис.10, время можно откладывать в любых единицах, но удобнее все же в часах)

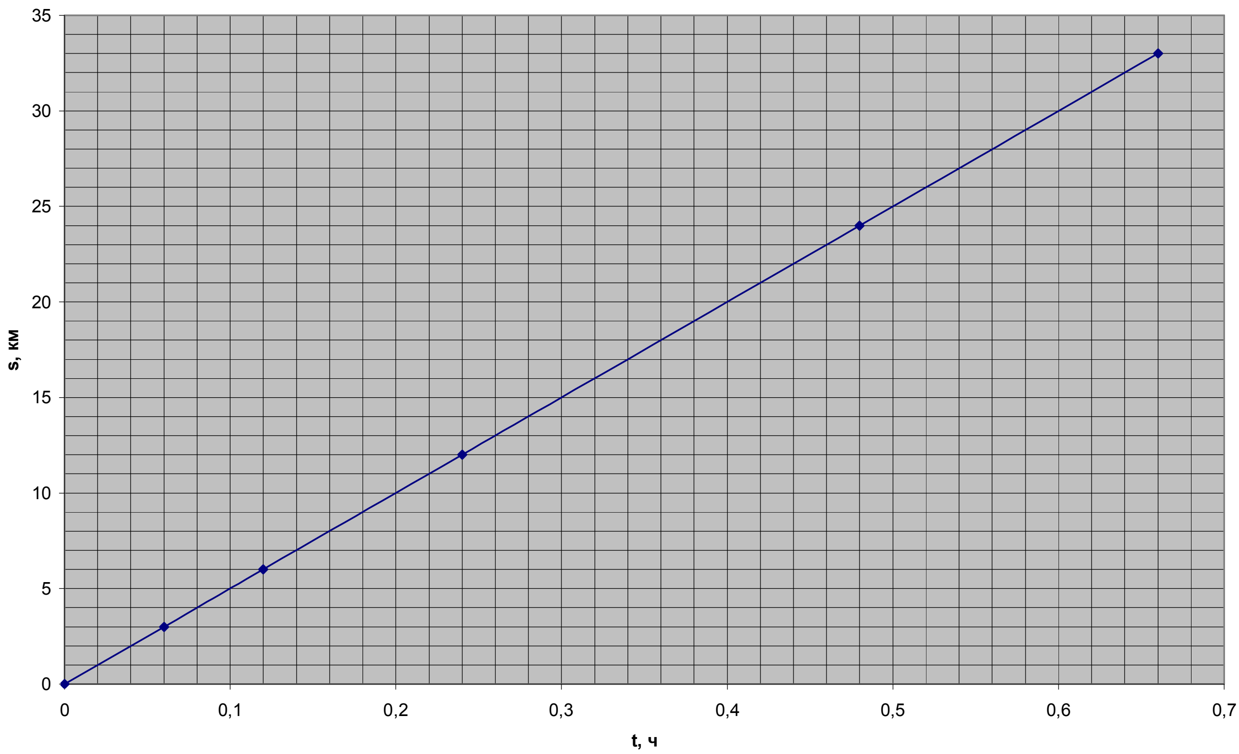

Рис. 10

По графику определим, что столб "824 км", находящийся на расстоянии 19 км от столба "843 км", поезд проехал через 0,38 часа=22,8 мин=22 мин 48 с, т.е. в 13:55:58.

Ответ: в 13:55:58, см. рис.10. Рекомендуется засчитывать результаты в диапазоне от 13:54:38 до 13:57:18.

Критерии оценивания

Заполнение таблицы	1
Построение графика, *в т.ч.*	
указаны единицы измерений отложенных по осям величин	1 (по 0,5 за ось)
нанесена оцифровка осей	1 (по 0,5 за ось)
верно поставлены точки:	
все	2
все точки, кроме одной	*1*
все точки, кроме двух	*0,5*
проведена прямая линия, соединяющая точки	1
Расчет показаний часов при прохождении столба "824" км,	
при определении по графику	
определено значение интервала времени ±30 с от истинного	3
±60 с от истинного	*2*
±120 с от истинного	*1*
определены показания часов	1
при определении по расчету скорости	
определено значение скорости	2
определено значение интервала времени	1
определены показания часов	1

Указания проверяющему: 1. Для выставления баллов за заполнение таблицы достаточно наличия в работе записанных значений расстояния и интервалов времени хотя бы в одних (любых) единицах.

2. Баллы за построение графика *не ставятся*, если выполнено *хотя бы одно* из перечисленных условий:

- график построен не в указанных координатах (например, по осям отложены написанные на столбах километры и показания часов)
- хотя бы на одной оси графика не указано, какая величина по ней отложена
- хотя бы на одной оси графика не указан *масштаб (не путать с оцифровкой осей!)*
- 3 и более точек поставлены на график с отличием в 2 и более минимальных деления от правильного положения

3. Если график построен не на специальном листе, а в тетради, нужно ставить на 1 балл меньше.

4. Если график занимает менее 50% площади листа, нужно ставить на 1 балл меньше

5. При отличном от указанных в критериях корректном способе расчета момента времени проверяющий разрабатывает критерии оценивания самостоятельно.

8 класс

8-1. Пусть s_1 – длина первого участка, а s_2 – второго. По определению средней скорости $v_{ср} = \frac{s}{t}$, где $s = s_1 + s_2$. Отсюда $t = \frac{s_1 + s_2}{v_{ср}}$ (1). Для первого участка $v_1 = \frac{s_1}{t_1}$, откуда $t_1 = \frac{s_1}{v_1}$. Аналогично для второго участка $t_2 = \frac{s_2}{v_2}$. Очевидно, что полное время поездки $t = t_1 + t_2$. После подстановок получим уравнение

$\frac{s_1+s_2}{v_{cp}}=\frac{s_1}{v_1}+\frac{s_2}{v_2}$ (2). Поделив уравнение на s_2 , введем отношение длин участков:

$\frac{s_1/s_2+1}{v_{cp}}=\frac{s_1/s_2}{v_1}+\frac{1}{v_2}$. Отсюда получим: $\frac{s_1}{s_2}\left(\frac{1}{v_{cp}}-\frac{1}{v_1}\right)=\frac{1}{v_2}-\frac{1}{v_{cp}}$, или

$$\frac{s_1}{s_2}=\frac{\frac{1}{v_2}-\frac{1}{v_{cp}}}{\left(\frac{1}{v_{cp}}-\frac{1}{v_1}\right)}=\frac{(v_{cp}-v_2)\cdot v_{cp}\cdot v_1}{v_{cp}\cdot v_2(v_1-v_{cp})}=\frac{v_1(v_{cp}-v_2)}{v_2(v_1-v_{cp})}.$$

Ответ: $\frac{s_1}{s_2}=\frac{v_1(v_{cp}-v_2)}{v_2(v_1-v_{cp})}$

Критерии оценивания

Записана формула (1) или эквивалентная	2
Записано уравнение (2) или эквивалентное	3
Получен ответ	5

8-2. 1. Без воды силы давления цилиндров на дно аквариума, равные действующим на них силам тяжести, создают равные моменты относительно точки опоры аквариума. Следовательно, центры цилиндров находятся на равном расстоянии от центра.

2. При доливании воды на цилиндры будет действовать сила Архимеда, которая приведет к уменьшению силы давления цилиндров на дно и их моментов. Поскольку площади поперечного сечения цилиндров равны, то на них будут действовать равные силы Архимеда, следовательно, равновесие будет сохраняться до тех пор, пока силы Архимеда, действующие на каждый цилиндр, растут с увеличением уровня воды. Сила же давления воды на дно аквариума приложена к его центру и поэтому момент относительно точки опоры не создает.

3. Равновесие нарушится в тот момент, когда сила Архимеда, действующая на один из цилиндров, перестанет меняться с ростом уровня воды. Это случится либо когда деревянный цилиндр всплывет, либо когда свинцовый полностью уйдет под воду. Определим соответствующие высоты. Высота свинцового цилиндра: $h_c=\frac{m}{\rho_c S}=8{,}85$ см. Тогда $h_в=h_c=$ 8,85 см. Высоту столба воды, при которой всплывет всплывет деревянный цилиндр, определим из условия плавания: $\rho_в gSh_в=mg$, $h_в=m/(\rho_в S)=100$ см. Очевидно, что условие нарушится при меньшем значении высоты водяного столба 8,85 см.

Ответ: 8,85 см

Критерии оценивания

Сформулированы и обоснованы условия, при которых равновесие нарушится:	
оба	4
только одно	*2*
Проведен расчет уровня воды, соответствующего полному погружению свинцового цилиндра	2
Проведен расчет уровня воды, соответствующего всплытию деревянного ци-	3

линдра	
Получен ответ	1

8-3. При установлении теплового равновесия часть льда растает, при этом оставшейся части льда должно быть достаточно, чтобы лед с шариком плавал (в предельном случае – полностью погрузившись в воду). Соответствующее условие имеет вид $\rho_{\text{в}}(V_{\text{ш}} + V_{\text{л}}) = m_{\text{ш}} + m_{\text{л}}$. Выражая объемы через массы, найдем $\frac{m_{\text{л}}}{m_{\text{ш}}} = \frac{1-\frac{\rho_в}{\rho_c}}{\frac{\rho_в}{\rho_л}-1}$=7,85, т.е. на шарике должно остаться не менее $m_{\text{л}} = m_{\text{ш}}\frac{1-\frac{\rho_в}{\rho_c}}{\frac{\rho_в}{\rho_л}-1}$=392,5 г льда. Соответственно, может растаять не более, чем $M_{\text{л}}=M_0-m_{\text{л}}$=607,5 г льда.

Запишем уравнение теплового баланса, учитывая, что конечная температура воды должна быть равна 0°C: $cM_{\text{в}}T_0=\lambda M_{\text{л}}$, откуда и находим T_0=48°C. Из контекста понятно, что это максимальная температура, удовлетворяющая условию задачи.

Ответ: при температуре не более 24°C

Критерии оценивания

Записано условие плавания льда и шарика	2
Найдено (в виде формулы или числа) наименьшее отношение масс льда и шарика	3
Записано уравнение теплового баланса	3
Получен ответ:	
записано граничное значение температуры	1
явно указано, что это максимальное значение	1

8-4. Преобразуем приведенную зависимость в такие координаты, в которых она линейна. В соответствии с указанием к задаче, такими координатами будут, например, зависимость величины $1/f=T$ – периода колебаний – от длины струны.

По каждому значению частоты найдем период (для значений частоты 9543 Гц и 839 Гц значения периода очень малы, поэтому их рассматривать не будем).

T, с	0,01	0,11	0,15	2,22	4,55
l, м	1,0	10	100	200	400

Построим график полученной зависимости (рис. 11). Заметим, что точки хорошо ложатся на прямую линию. Проведя эту линию до значения T=10 с, определим соответствующую длину струны. Получим l≈890 м.

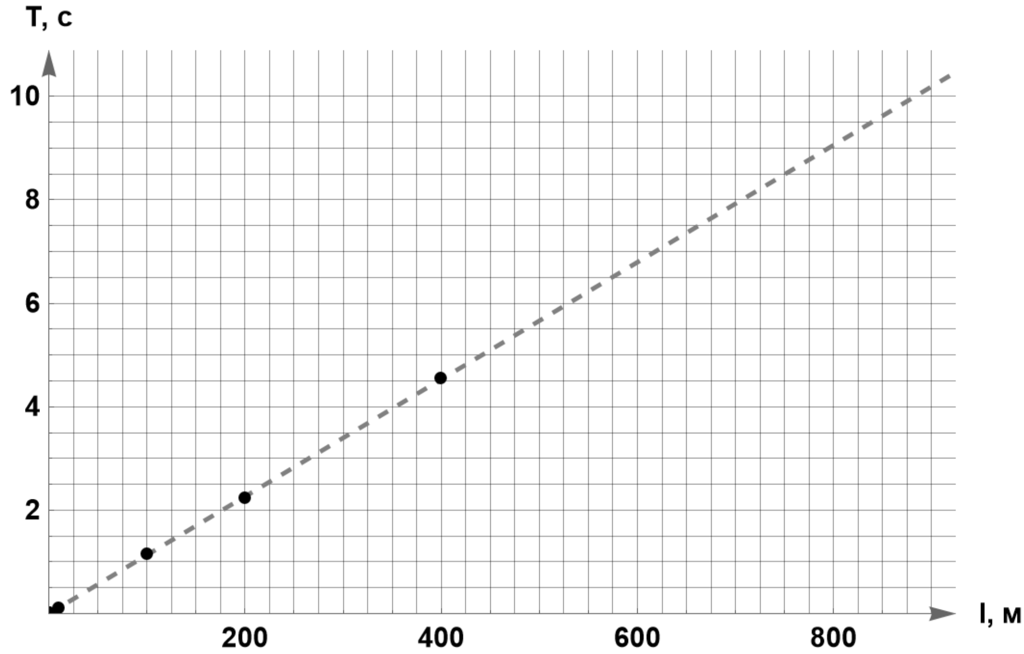

Рис. 11

Заметим, что график в координатах $f(1/l)$ также будет линейным, однако его использование менее желательно, т.к. в этом случае придется определять значение величины $1/l$, которое будет малым, что приведет к увеличению погрешности.

Ответ: 890 м

Критерии оценивания

Указаны координаты, в которых зависимость линейна	1
Приведена таблица результатов в новых координатах	1
Построен график, в т.ч.	
подписаны размерности отложенных по осям величин	1
на оси нанесена равномерная оцифровка	1
верно поставлены все точки	1
проведена аппроксимирующая прямая	1
Описан процесс получения искомой длины (например, есть соответствующие отметки на графике)	2
Получено значение длины: в интервале ±5% от эталонного	2
в интервале ±10% от эталонного	*1*

Указания проверяющему: 1. Если график построен в других координатах, но является линейным, баллы не снимать.

2. Если график строится в таких координатах, в которых он нелинеен, баллы за построение графика не ставятся.

3. Если на графике не подписано значение величины, отложенной хотя бы по одной из осей, либо невозможно понять использованный масштаб хотя бы по одной из осей, баллы за построение графика не ставятся, при этом дальнейшие действия оцениваются.

4. Если на графике неверно поставлено 2 и более точек, баллы за построение графика не ставятся, при этом дальнейшие действия оцениваются.

5. Если график построен не на специальном листе, а в тетради, нужно ставить на 1 балл меньше

6. Если график занимает менее 50% площади листа, нужно ставить на 1 балл меньше

7. Если график не построен, но результат получен другим способом, ставятся только баллы за два последних критерия (т.е. максимальный балл – 4).

9 класс

9-1. Пусть E – основание перпендикуляра, опущенного из т. C на AB. Проведя очевидные геометрические вычисления, найдем AE=3,16 км, BE=0,99 км. Пусть ось OY направлена поперек реки. Т.к. путь в C из A и B занимает одно время, то y-компоненты скоростей лодок одинаковы и равны 1,5 км/0,5 ч = 3 км/ч. Т.к. модули скоростей лодок относительно воды равны, то и x-компоненты скоростей лодок относительно воды также равны. Т.к. время одинаково, то AE=$(v_x+u)t$, BE=$(v_x-u)t$. Вычитая, имеем AE–BE=$2ut$, откуда находим u=2,2 км/ч. Складывая, получаем AE+BE=$2v_x$t, откуда v_x=4,2 км/ч. Тогда v=5,1 км/ч

Ответ: 2,2 км/ч, 5,1 км/ч

Критерии оценивания

Найдена y- компонента скорости лодок	2
Найдена x-компонента скорости лодок	3
Найдена скорость течения	3
Найдена скорость лодок	2

9-2. Обозначим среднюю плотность бруска через ρ, а плотность воды — через ρ_0. Тогда условие плавания целого бруска запишется в виде $\rho Vg = \frac{4}{5}\rho_0 Vg$. Значит, средняя плотность бруска $\rho = \frac{4}{5}\rho_0$.

Пусть средняя плотность одной половины бруска ρ_1. Тогда из условия ее плавания в воде $\rho_1 \frac{V}{2} g = \frac{1}{2}\rho_0 \frac{V}{2} g$ находим, что $\rho_1 = \frac{1}{2}\rho_0$. Поэтому это более легкая половина бруска.

Но средняя плотность бруска выражается через средние плотности легкой и тяжелой частей формулой

$$\rho = \frac{m_1 + m_2}{V} = \frac{\rho_1 \frac{V}{2} + \rho_2 \frac{V}{2}}{V} = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2}.$$

Поэтому, зная ρ и ρ_1, получаем среднюю плотность более тяжелой половины: $\rho_2 = 2\rho - \rho_1 = 2\frac{4}{5}\rho_0 - \frac{1}{2}\rho_0 = \left(\frac{8}{5} - \frac{1}{2}\right)\rho_0 = \frac{11}{10}\rho_0$. Следовательно, нижняя часть бруска в воде начнет тонуть.

Чтобы поддерживать ее на плаву, нужно приложить силу, которая направлена вертикально вверх и равна по величине разности силы тяжести и силы Архимеда:

$$F_{\min} = m_2 g - F_A = (\rho_2 - \rho_0)\frac{V}{2} g = \frac{1}{10}\rho_0 \frac{V}{2} g = \frac{1}{20}\rho_0 Vg.$$

Выразим известную массу бруска через его среднюю плотность $\rho = \frac{4}{5}\rho_0$:

$m = \frac{4}{5}\rho_0 V$. Отсюда $\rho_0 V = \frac{5}{4} m$.

Следовательно, $F_{\min} = \frac{1}{20}\rho_0 Vg = \frac{1}{20}\frac{5}{4}mg = \frac{1}{16}mg$.

Ответ: будет тонуть, $mg/16$

Критерии оценивания

Найдена средняя плотность плавающей половины	1
Найдена средняя плотность всего бруска	1
Показано, что вторая половина будет тонуть	4
Найдена сила	4

9-3. Ясно, что количество теплоты, приносимое шариками в калориметр с водой, не зависит от порядка их внесения. Более простой анализ получается при одновременном размещении шариков. Для одного шарика запишем уравнение теплового баланса: $C_0(t_1 - t_0) = C_1(t_k - t_1)$, где C_0 — теплоемкость системы вода–калориметр, C_1 — теплоемкость шарика, $t_k = 100°C$ – температура кипения воды. После подстановки в это уравнение температур получим соотношение между теплоемкостями: $C_0 20 = C_1 60$. Отсюда следует, что

$$C_0 = 3C_1. \qquad (1)$$

Если в калориметр поместить два шарика, то уравнение теплового баланса примет вид: $C_0(t_2 - t_0) = 2C_1(t_k - t_2)$.

Отсюда с учетом (1) получаем, что установившаяся температура в калориметре с водой и двумя шариками будет равна:

$$t_2 = \frac{2\cdot t_k + 3\cdot t_0}{5} = \frac{2\cdot 100 + 3\cdot 20}{5} = 52°C.$$

Для N шариков при установившейся температуре $t_N = 98°C$ уравнение теплового баланса будет иметь вид $C_0(t_N - t_0) = NC_1(t_k - t_N)$.

Отсюда находим ответ на последний вопрос задачи:

$$N = \frac{C_0(t_N - t_0)}{C_1(t_k - t_N)} = \frac{3C_1(98-20)}{C_1(100-98)} = 117.$$

Ответ: установившаяся температура воды в калориметре после переноса двух шариков $t_2 = 52°C$, для получения температуры 98°C необходимо поместить в калориметр 117 шариков

Критерии оценивания

Записано уравнение теплового баланса для погружения одного шарика	2
Получено отношение теплоемкостей шарика и системы вода-калориметр	2
Записано уравнение теплового баланса для погружения 2 шариков	1
n шариков	1
Найдена температура после погружения 2 шариков	2
Найдено количество шариков для достижения температуры 98°C	2

Указание проверяющему: если в работе не учитывается теплоемкость калориметра, ставить на 2 балла меньше

9-4. Реальный вольтметр показывает падение напряжения на своем внутреннем сопротивлении. Тогда, т.к. вольтметры одинаковы, их показания пропорциональны текущим через них токам. Т.к. после прохождения первого вольтметра ток разветвляется на второй вольтметр и резистор, то ток, текущий через второй вольтметр, меньше тока, текущего через первый. Значит, его показания в 4 раза *меньше* и составляют 3 В.

Пусть сопротивление вольтметра равно R. Общий ток цепи I, текущий через вольтметр V_1 (см. рис.12), делится на две части — ток I_1, текущий через резистор r, и ток I_2, текущий через вольтметр V_2:

$I = I_1 + I_2$. (1)

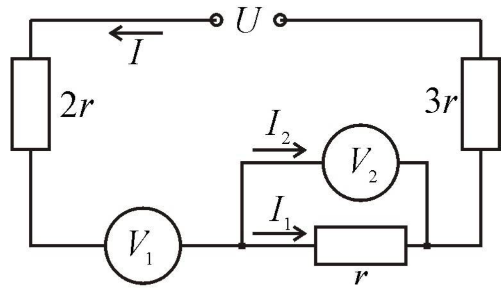

Рис. 12

Показания первого вольтметра $U_1 = I \cdot R$. Т.к. напряжение на вольтметре V_2 в 4 раза меньше, чем на V_1. Значит, и сила тока $I_2 = \frac{1}{4} I$, а, согласно (1), $I_1 = 3I_2$. Вольтметр V_2 и резистор r соединены параллельно: $I_2 R = 3I_2 r$. Поэтому сопротивление вольтметра $R = 3r$. Тогда напряжение на резисторе $3r$ будет равным U_1, а на резисторе $2r$ будет равным $\frac{2}{3}U_1$. Перечисленные звенья электрической цепи соединены последовательно. Поэтому цепь питается от источника с напряжением

$$U = \frac{2}{3}U_1 + U_1 + \frac{1}{4}U_1 + U_1 = 8 + 12 + 3 + 12 = 35 \text{ В.}$$

Ответ: 35 В

Критерии оценивания

Обосновано, что показания второго вольтметра меньше	2
Найдены показания второго вольтметра	1
Найдено отношение сопротивлений вольтметра и *r*	3
Найдены напряжения на резисторах 2*r* и 3*r*	2 (по 1 за каждый резистор)
Получен ответ	2

Указание проверяющему: если обоснование п.1 отсутствует в явном виде, но показания вольтметра найдены правильно, то баллы по п.1 не ставятся, а остальное решение оценивается.

9-5. Стрелка часов делит обод секундомера на два сопротивления R_1 и R_2, соединенных параллельно. Эквивалентная схема:

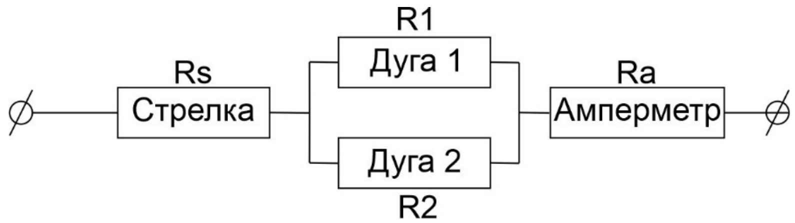

Рис. 13

Сопротивление дуги обода можно представить как

$$R_i = \frac{\rho l_i}{S}, \qquad (1)$$

где ρ — удельное сопротивление материала обода, S — его поперечное сечение, l_i — длина дуги. При запуске секундомера стрелка начинает двигаться, в результате чего меняются длины дуг, на которые она делит обод, и, соответственно, их сопротивления R_i.

По закону Ома ток в цепи

$$I = \frac{\varepsilon}{R}, \tag{2}$$

где ε — приложенное напряжение, а R — эквивалентное сопротивление схемы. Минимум тока наблюдается тогда, когда эквивалентное сопротивление схемы R максимально.

Сопротивления дуг обода через время t после запуска секундомера можно рассчитать как

$$\begin{aligned} R_1 &= \frac{\rho}{S} L \frac{15+t}{60} = R_0 \frac{15+t}{60}, \\ R_2 &= \frac{\rho}{S} L \frac{45-t}{60} = R_0 \frac{45-t}{60}, \end{aligned} \tag{3}$$

где L — длина окружности циферблата, R_0 – сопротивление целого обода. Эквивалентное сопротивление параллельно подключенных дуг:

$$\begin{aligned} R_э &= \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{R_0 \frac{15+t}{60} R_0 \frac{45-t}{60}}{R_0 \frac{1}{60}\left[15+t+45-t\right]} = R_0 \frac{(15+t)}{60}\frac{(45-t)}{60} = \\ &= \frac{R_0}{3600}\left(675+30t-t^2\right) = \frac{R_0}{3600}\left[900-(t-15)^2\right]. \end{aligned} \tag{4}$$

Эквивалентное сопротивление всей схемы

$$R = R_s + R_a + R_э = R_s + R_a + \frac{R_0}{3600}\left[900-(t-15)^2\right]. \tag{5}$$

Как видно из формулы, R максимально при $t = 15$ (соответственно, ток при этом минимален).

Поскольку

$$\frac{1}{I} = \left[\frac{R_s + R_a}{\varepsilon} + \frac{R_0}{4\varepsilon}\right] - \frac{R_0}{3600\varepsilon}(t-15)^2,$$

то линейным окажется график зависимости обратного тока $1/I$ от $(t-15)^2$. Пересечение графика с осью ординат будет соответствовать минимальному значению тока в цепи.

Рассчитаем экспериментальные значения в новых переменных:

Момент времени t, с	Ток в цепи I, А	$(t-15)^2$, с^2	$1/I$, 1/А
26	2,40	121	0,416
29	2,53	196	0,396
32	2,70	289	0,370
35	2,95	400	0,339
38	3,30	529	0,303
41	3,81	676	0,262

Построим соответствующую зависимость:

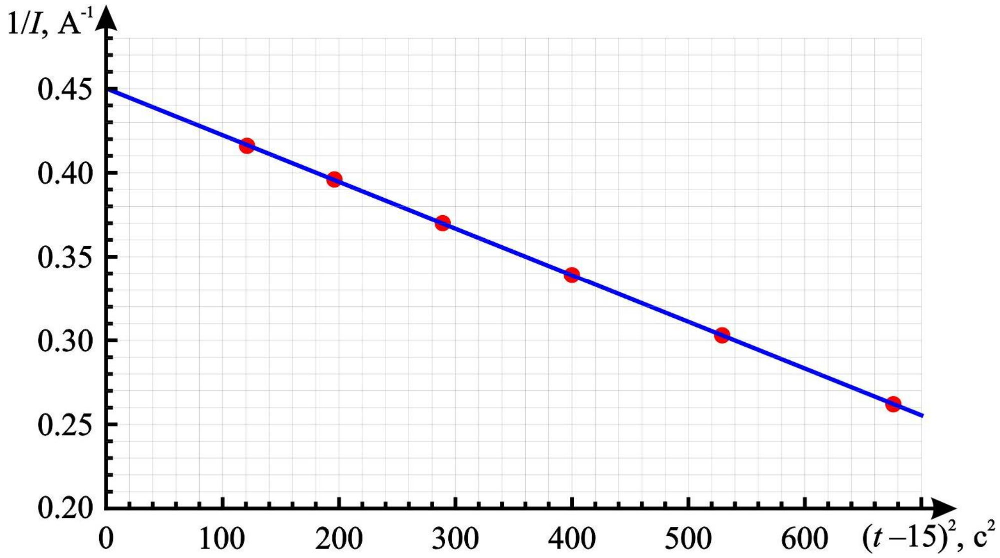

Рис. 14

Точки действительно хорошо ложатся на прямую. Экстраполируя ее до пересечения с осью ординат, находим, что $1/I_{\min} \approx 0.45$ 1/А, т.е. $I_{\min} \approx$ 2.22 А.

Ответ: 2,22 А

Критерии оценивания

Получена эквивалентная схема	1
Получена формула для общего сопротивления цепи	2
Определены x и α	1
Построен график в указанных координатах, в т.ч.	
подписаны размерности отложенных по осям величин	1
на оси нанесен равномерный масштаб	1
верно поставлены все точки	1
проведена аппроксимирующая прямая	1
Получено значение минимального тока: в интервале (2,22±0,11) А	2
в интервале (2,22±0,22) А	*1*

Указания проверяющему: 1. Если построенный график нелинейный (в т.ч. при неверном определении x и α), его построение не оценивается.

2. Если на графике не подписано значение величины, отложенной хотя бы по одной из осей, либо невозможно понять использованный масштаб хотя бы по одной из осей, баллы за построение графика не ставятся, при этом дальнейшие действия оцениваются.

3. Если на графике неверно поставлено 2 и более точек, баллы за построение графика не ставятся, при этом дальнейшие действия оцениваются.

4. Если график построен не на специальном листе, а в тетради, нужно ставить на 1 балл меньше.

5. Если график занимает менее 50% площади листа, нужно ставить на 1 балл меньше

6. Если требуемое значение определяется не по графику, то баллы за его получение не ставятся

10 класс

10-1. *1-й способ.* Движение частицы не является равноускоренным. Однако, если разбить ее перемещение от точки $x_0 = 0$ до то точки с координатой $x_K = 10$ м на участки Δx_1, Δx_2,… и т. д., настолько малые, что ускорение на каждом из них можно считать постоянным, то для каждого из участков можно будет применить кинематическую формулу «без времени». По этой формуле для i – го участка Δx_i получим: $v^2_{(i+1),x} - v^2_{i,x} = 2a_{i,x}\cdot\Delta x_i$ (1), где $v_{(i+1),x}$ и $v_{i,x}$ — проекции скорости частицы в конце и в начале малого элемента перемещения, $a_{i,x}$ — проекция ускорения на ось Ox внутри малого элемента. Записав такие равенства для каждого элемента, и сложив их, получим разность квадратов проекций конечной и начальной скорости:

$$v^2_{K,x} - v^2_{0,x} = 2\left(a_{1x}\cdot\Delta x_1 + a_{2x}\cdot\Delta x_2 + \ldots\right) \qquad (2)$$

Если построить график зависимости проекции ускорения от координаты $a_x(x) = \beta\cdot x$, то каждое произведение $a_{i,x}\cdot\Delta x_i$ в скобках имеет смысл площади узкой полоски шириной Δx_i под графиком (см. рис. 15). Следовательно, сумма в скобках есть площадь под графиком зависимости $a_x(x) = \beta\cdot x$, а вся правая часть — это удвоенная площадь под графиком. В итоге получим:

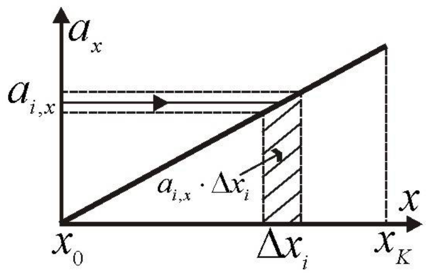

Рис. 15

$v^2_{K,x} - v^2_{0,x} = a_x(x_K)\cdot x_K = \beta\cdot x_K\cdot x_K = 1\cdot 10^2 = 100$ (м/с)^2.

Отсюда $v_{Kx} = \sqrt{\beta\cdot x_K^2 + v^2_{0,x}} = \sqrt{125} = 11{,}18$ м/с

2-й способ. Из второго закона Ньютона получаем, что действующая на частицу сила зависит от расстояния как $F=m\beta x$. Поскольку изменение кинетической энергии равно работе силы, то $\frac{mv^2_{K,x}}{2} - \frac{mv^2_{0,x}}{2} = A$ (3). Работу силы же можно вычислить как площадь под графиком ее зависимости от координаты, поэтому дальнейшее решение идет аналогично 1-му способу

Ответ: 11,2 м/с

Критерии оценивания

1-й способ	
Идея разбиения пути на малые участки	1
Записано соотношение (1) или аналогичное	2
Записано соотношение (2) или аналогичное	1
Идея вычисления правой части (2) как площади под графиком	2
2-й способ	
Записано выражение для действующей на частицу силы	1
Записано соотношение (3)	3
Идея вычисления работы как площади под графиком	2
Общая часть	
Вычислена площадь под графиком	3
Получен ответ	1

10-2. Силы трения $\vec{F}_{ТР1}$ и $\vec{F}_{ТР2}$, действующие на шайбы, направлены противоположно векторам скорости шайб (см. рис.16). Поскольку первая шайба движется замедленно, то вектор ее ускорения направлен против вектора скорости. Ускорение $a_{тр}$, которое может сообщить первой шайбе сила трения $\vec{F}_{ТР1}$, равно $a_{ТР} = \frac{F_{ТР1}}{m} = \frac{\mu mg}{m} = \mu g = 2$ м/с^2.

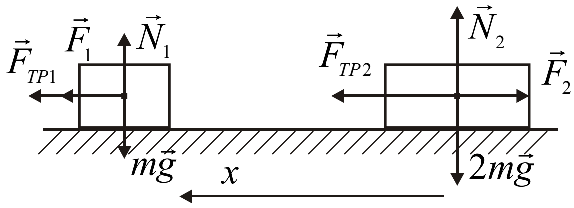

Рис. 16

Это ускорение меньше, чем $a_1 = 3$ м/с^2.
Следовательно, сила упругости $\vec{F}_1$, действующая на первую шайбу, должна «помогать» силе трения, то есть силы $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_{ТР1}$ направлены одинаково. Таким образом, приходим к выводу, что пружина в рассматриваемый момент времени сжата, и сила упругости $\vec{F}_2$, действующая на вторую (более массивную) шайбу, направлена, против силы $\vec{F}_{ТР2}$.
Запишем второй закон Ньютона для проекций векторных величин на ось *Ox* (см. рисунок):

для легкой шайбы $ma_1 = \mu mg + F_1$,

для тяжелой шайбы $2ma_2 = 2\mu mg - F_2$.

Так как пружина легкая, то $F_1 = F_2$. Складывая записанные выше уравнения, получим $a_1 + 2a_2 = 3\mu g$. Отсюда найдем $a_2 = \frac{3\mu g - a_1}{2} = \frac{6-3}{2} = 1{,}5$ м/с^2.

Ответ: пружина сжата, a_2=1,5 м/с^2, вектор ускорения направлен против вектора скорости шайбы

Критерии оценивания

Доказано, что пружина сжата	3
Записан второй закон Ньютона для легкой шайбы	2
Записан второй закон Ньютона для тяжелой шайбы	2
Определен модуль ускорения тяжелой шайбы	2
Определено направление ускорения тяжелой шайбы	1

10-3. Обозначим нелинейный элемент на участке AD как 1, а на участке BC как 2; токи через элементы 1 и 2 и падения напряжения на них обозначим как I_1, I_2, U_1 и U_2 соответственно. Поскольку через амперметр не идет, потенциалы в точках C и D равны, а ветви ACB и ADB подключены параллельно. Тогда через резистор 1 течет ток I_2, а через резистор 2 - ток I_1, и запись 2 правила Кирхгофа для контуров ACD и CBD дает соотношения $I_2R_1 = U_1$ (1) и $I_1R_2 = U_2$ (2) соответственно. С другой стороны связи между токами и напряжениями задаются ВАХ нелинейных элементов: $I_1^2 = kU_1$ (3), $I_2^2 = kU_2$ (4). Исключая из полученной системы 4 уравнений токи, получим $U_1^2 = kU_2R_2^2$, $U_2^2 = kU_1R_1^2$. Окончательно для напряжений получим $U_1 = kR_1^{2/3}R_2^{4/3}$, $U_2 = kR_1^{4/3}R_2^{2/3}$. Напряжение на участке AB найдем как сумму напряжений на участках, например, AC и CB, т.е. $U_1 + U_2 = kR_1^{2/3}R_2^{2/3}(R_1^{2/3} + R_2^{2/3})$.
Ответ: $kR_1^{2/3}R_2^{2/3}(R_1^{2/3} + R_2^{2/3})$

Критерии оценивания

Записано условие равенства напряжений на резисторах и нелинейных элементах (формулы (1) и (2))	2
Записана связь токов и напряжений на нелинейных элементах (формулы (3) и (4))	2
Определены напряжения на нелинейных элементах	3
Получен ответ	3

10-4. Пусть δ – угловой размер солнца. Тогда минимальная высота корабля в первом случае определится как $h=2R/\delta$, где R – радиус диска (см. рис. 17; здесь учтено, что угловой размер солнца мал). В случае наклонного падения лучей солнца имеем картину, показанную на рис. 18. Из очевидных геометрических соображений запишем $h_2 = L\sin\alpha$, $L\delta = x$, $2R\sin\alpha = x$ (1). Отсюда $h_2=h\sin^2\alpha$.

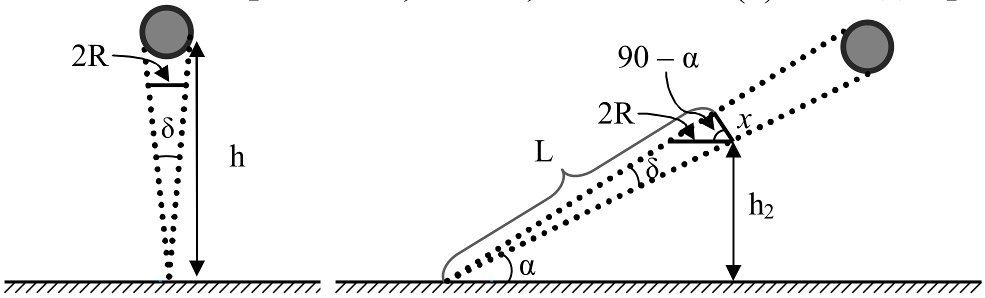

Рис. 17 Рис. 18

Ответ: $h_2=h\sin^2\alpha$

Критерии оценивания

Записана связь высоты полета и размера корабля в первом случае	2
Построен рисунок для второго случая	3
Записаны соотношения (1) либо аналогичные им (позволяющие получить ответ)	3
Получен ответ	2

10-5. В стационарном режиме мощности, передаваемые от процессора радиатору и от радиатора воздуху, равны. Соответствующее уравнение имеет вид $\alpha_{пр}(T_п-T_р)=\alpha_{рв}(T_р-T_в)$ (1). Отсюда следует, что указанная в условии зависимость должна быть линейной: $\alpha_{рв}=T_п\dfrac{\alpha_{пр}}{T_р-T_в}-\dfrac{\alpha_{пр}T_р}{T_р-T_в}$. Из графика можно определить угловой коэффициент и свободный член этой зависимости:

$$k=\frac{\alpha_{пр}}{T_р-T_в};b=-\frac{\alpha_{пр}T_р}{T_р-T_в}$$

График с аппроксимирующей прямой показан на рис. 19. Заметим, что вследствие интервала, в котором распределены заданные точки зависимости, строить график в масштабе, включающем значение $T_п$=0°C, нецелесообразно, поэтому свободный член также придется определять по двум точкам на графике. Для уменьшения ошибок желательно для оценки углового коэффициента выбирать точки, в которых прямая проходит через узлы сетки, и притом лежащие как можно дальше друг от друга. Например, можно выбрать $T_{п1}$=38°C,

α_1=40 Вт/°С и $T_{п2}$=80°С, α_2=210 Вт/°С. Тогда $k = \dfrac{\alpha_1 - \alpha_2}{T_1 - T_2} \approx 4{,}05$ Вт/°С^2, $b=\alpha_1 - kT_1 \approx -113{,}9$ Вт/°С.

По этим значениям находим $T_р = -b/k \approx 28{,}1$°С и $\alpha_{пр} = k(T_р - T_в) \approx 32{,}8$ Вт/°С

Ответ: 33Вт/°С

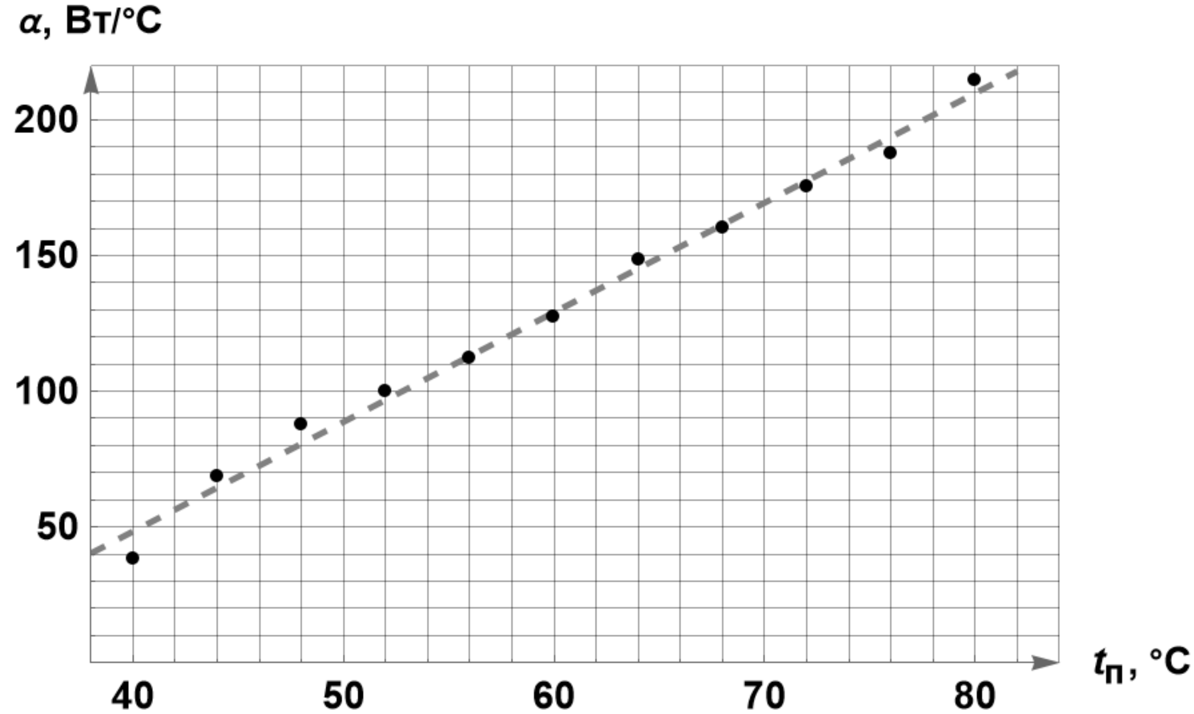

Рис. 19

Критерии оценивания

Записано уравнение (1)	1
Записано аналитическое выражение заданной зависимости	1
Построен график в указанных координатах, в т.ч.	
подписаны размерности отложенных по осям величин	1
на оси нанесен равномерный масштаб	1
проведена аппроксимирующая прямая	1
Определен угловой коэффициент зависимости	1
Определен свободный член зависимости	1
Описан способ определения нужных параметров по угловому коэффициенту и свободному члену	1
Получено значение $\alpha_{пр}$	
в интервале (33±3) Вт/°С	2
в интервале (33±5) Вт/°С	*1*

Указания проверяющему: 1. Если на графике не подписано значение величины, отложенной хотя бы по одной из осей, либо невозможно понять использованный масштаб хотя бы по одной из осей, баллы за построение графика не ставятся, при этом дальнейшие действия оцениваются.

2. Если на графике неверно поставлено 2 и более точек, баллы за построение графика не ставятся, при этом дальнейшие действия оцениваются.

3. Если график построен не на специальном листе, а в тетради, нужно ставить на 1 балл.

4. Если график занимает менее 50% площади листа, нужно ставить на 1 балл меньше

5. Если участник для определения параметров графика использует "неудобные" точки, баллы не снимаются

11 класс

11-1. Выразим массы шаров через их плотности и радиусы:
$m_1 = k\rho\frac{4}{3}\pi R^3$, $m_2 = \rho\frac{4}{3}\pi n^3 R^3$. Тогда $m_2 = m_1\frac{n^3}{k}$.

Запишем выражения для сил сопротивления воздуха: $F_{c.1} = C\upsilon\pi R^2$, $F_{c.2} = C\upsilon\pi n^2 R^2$.

Если бы шары не были соединены нитью, то они бы падали с установившимися скоростями, определяемыми равенством сил тяжести и сопротивления $\upsilon_1 = k\frac{4\rho R^3}{3C}$ и $\upsilon_2 = n\frac{4\rho R^3}{3C}$. Если скорости падения шаров без нити различны, то имеющий бóльшую скорость шар будет "обгонять" другой, и нить натянется, причем этот шар будет ниже. Таким образом, при *k*>*n* ниже будет первый шар, а обратном случае – второй (в случае *k*=*n* шары будут падать с одинаковыми скоростями)

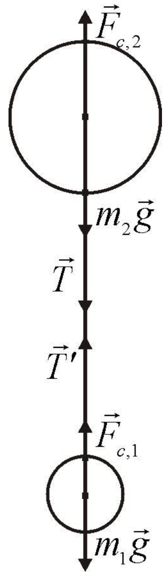

Рис. 20

Соединяющая нить считается невесомой. Поэтому величина силы ее натяжения будет одинаковой по всей длине. Обозначим ее модуль через T. Пусть выше находится второй шар. Запишем второй закон Ньютона для каждого из шаров в проекциях на вертикальную ось Oy: $\begin{cases} m_1 g - F_{c,1} - T = 0, \\ m_2 g - F_{c,2} + T = 0. \end{cases}$

Подставив во второе уравнение выражения для массы и силы сопротивления, и умножив первое уравнение на $(-n^2)$, получим: $\begin{cases} -n^2 m_1 g + n^2 F_{c,1} + n^2 T = 0, \\ \frac{n^3}{k} m_1 g - n^2 F_{c,1} + T = 0. \end{cases}$

При сложении этих уравнений избавляемся от неизвестной силы сопротивления: $T(n^2+1) = m_1 g\left(n^2 - \frac{n^3}{k}\right)$ и получаем выражение для модуля силы натяжения: $T = \frac{m_1 g n^2}{(n^2+1)}\left(1 - \frac{n}{k}\right) = \frac{4\pi k\rho R^3 g n^2}{3(n^2+1)}\left(1 - \frac{n}{k}\right)$. Заметим, что при *n*>*k* *T* положительна. При *n*<*k* получаемое по этой формуле значение силы отрицательно. Это и означает, что порядок шаров поменялся, теперь шар 2 ниже шара 1 и соответствующая сила натяжения направлена вверх.

Заметим, что только при длинной нити возмущения воздушного потока, вызванные нижним шаром, успеют затухнуть к моменту появления в этом месте верхнего шара, и сила сопротивления будет формироваться при одинаковых условиях

Ответ: первый при $n < k$, второй при *n*>*k*; сила натяжения $\frac{4\pi k\rho R^3 g n^2}{3(n^2+1)}\left|1 - \frac{n}{k}\right|$.

Критерии оценивания

Обоснованно определено, какой шар находится выше, и записано соответствующее условие	3
Для одного из случаев расположения шаров записан второй закон Ньютона для каждого шара	2
Для одного из случаев расположения шаров найдена сила натяжения	3
Имеются комментарии, поясняющие, что этим результатом можно пользоваться и для другого случая, или другой случай рассмотрен явно и получен правильный результат	2

Указание проверяющему: если ответ записан без модуля, баллы не снимать

11-2. Поскольку в объеме есть неиспарившаяся вода, водяной пар является насыщенным и его давление равно атмосферному $p_{пара} = p_0 = 10^5$ Па. Тогда из закона Дальтона следует, что парциальное давление воздуха под поршнем $p_{возд} = p_1 - p_{пара} = 10^5$ Па.

При увеличении объема смеси количество воздуха в ней не меняется, поэтому по закону Бойля – Мариотта новое парциальное давление воздуха под поршнем

$$p'_{возд} = p_{возд}\frac{V_1}{V_2} = 0{,}5\cdot 10^5 \text{ Па.}$$

Следовательно, парциальное давление водяного пара после увеличения объема $p'_{пара} = p_2 - p'_{возд} = 1{,}4\cdot 10^5 - 0{,}5\cdot 10^5 = 0{,}9\cdot 10^5$ Па. Это меньше давления насыщенного пара при данной температуре. Значит, пар под поршнем перестал быть насыщенным, и вся вода испарилась. Поэтому количество воды можем найти из уравнения Менделеева – Клапейрона $p'_{пара}V_2 = \nu RT$, а число молекул воды будет равным:

$$N = \nu N_A = \frac{p'_{пара}V_2 N_A}{RT} = \frac{0{,}9\cdot 10^5\cdot 20\cdot 10^{-3}\cdot 6{,}02\cdot 10^{23}}{8{,}31\cdot 373} = 3{,}5\cdot 10^{23}.$$

Ответ: $3{,}5\cdot 10^{23}$

Критерии оценивания

Найдено давление пара в начальном состоянии	1
Найдено давление воздуха в начальном состоянии	1
Найдено давление воздуха в конечном состоянии	2
Найдено давление пара в конечном состоянии	1
Доказано, что вся вода испарилась	2
Найдено количество вещества воды	1
Получен ответ	2

Указания проверяющему: 1. Требовать доказательства того, что в начале пар насыщенный, не нужно.

2. Требовать расчета числовых значений всех промежуточных результатов, кроме давления пара в конечном состоянии, не нужно.

11-3. Введем систему координат *XYZ* таким образом, чтобы плоскость, образуемая осями *OX* и *OY*, совпадала с плоскостью *ABC*, а ось *OZ* была бы ей перпендикулярна. Треугольник *ABC* - равносторонний и, следовательно, система симметрична относительно поворота на угол 2π/3; тогда *XY* проекции сил упругости и электростатического взаимодействия, действующих на каждый заряд, направлены вдоль биссектрис треугольника ABC - а поскольку известно, что система находится в состоянии покоя и нити нерастяжимы, проекции сумм этих сил, действующих на каждый из зарядов A, B, C, скомпенсированы силами натяжения нитей. Следовательно, движение зарядов будет происходить вдоль оси OZ. То же самое верно и для заряда D - там силы натяжения нитей отсутствуют, но сумма проекций остальных сил обращается в 0 из-за симметрии. Поскольку импульс системы сохраняется равным 0, для z-проекций скоростей зарядов справедливо соотношение $v_D = -3v_{ABC}$ (здесь v_{ABC} - скорость треугольника ABC). Скорость движения заряда D относительно плоскости ABC составляет, таким образом, $(4/3)v_D$ - и, соответственно, v_D обращается в 0, когда расстояние от т. D до плоскости ABC – а, соответственно, и расстояние между зарядами - максимально. Следовательно, кинетическая энергия системы равна в этом состоянии 0, как и в начальном - тогда и потенциальная энергия должна также в этом состоянии быть равной начальной:

$$3\chi(a-2a)^2/2 - 3kq^2/a = 3\chi(b-2a)^2/2 - 3kq^2/b.$$

Здесь b – искомое расстояние между зарядами; потенциальная энергия взаимодействия зарядов A, B, C между собой не включена в закон сохранения энергии, т.к. она остается постоянной.

Решая уравнение, получим $\dfrac{3a \pm \sqrt{9a^2 - 8\dfrac{kq^2}{\chi a}}}{2}$. При анализе корней следует учесть, что в начальном положении сила упругости каждой из пружин AD, BD, CD должна быть больше соответствующей силы притяжения зарядов - иначе заряд D будет притягиваться к плоскости ABC, и система не сможет находиться в равновесии, как указано в условии. В результате получаем неравенство $q^2 < a^3\chi/k$. Анализ выражения для b с учетом этого неравенства показывает, что корень с "-" получается меньше a, что не соответствует условию задачи (заряды разлетаются!) - соответственно, нужно выбирать корень с "+".

Ответ: $\dfrac{3a \pm \sqrt{9a^2 - 8\dfrac{kq^2}{\chi a}}}{2}$

Критерии оценивания

Обоснованное утверждение о том, что движение происходит только в направлении, перпендикулярном плоскости ABC	1
Получено соотношение для скоростей зарядов	2
Утверждение о равенстве скоростей зарядов 0 в рассматриваемой ситуации	1
Записан закон сохранения энергии	3
Найдены два корня уравнения	1
Получено неравенство для q	1
Выбран верный корень	1

Указание проверяющему: если при записи закона сохранения энергии отсутствие в нем энергии взаимодействия зарядов A, B и C не обосновано, снимать 1 балл.

11-4. Т.к. в течение всего времени движения источник находится от линзы на расстоянии, большем двойного фокусного, изображение всегда будет действительным, перевернутым и уменьшенным.

Введём обозначения: a – расстояние от проекции источника на главную оптическую ось (далее – ось) линзы до центра линзы; H – расстояние от источника до оси линзы; b – расстояние от проекции изображения на ось линзы до центра линзы; h – расстояние от изображения до оси линзы (a, b, h – функции времени t). Используя формулу тонкой линзы, получаем для расстояний вдоль оси $1/a + 1/b = 1/F$ (1). Для расстояний до оси можно записать $h = Hb/a$, и, выразив b/a из (1) (для этого нужно домножить уравнение на b), получим $h = H(b/F - 1)$ (2).

<u>*1 способ*</u>

Рассмотрим луч, выходящий из источника параллельно оси линзы. После преломления в линзе этот луч пройдёт через её главный фокус. Отметим, что положение рассматриваемого луча не изменяется при движении источника параллельно оси линзы. В таком случае изображение всегда будет лежать на этом луче, удаляясь по нему от линзы при приближении к ней источника. Делаем вывод, что изображение двигается по прямой, проходящей через главный фокус линзы с угловым коэффициентм 9/40 (отношение расстояния от источника до оси к фокусному расстоянию линзы, см. рисунок).

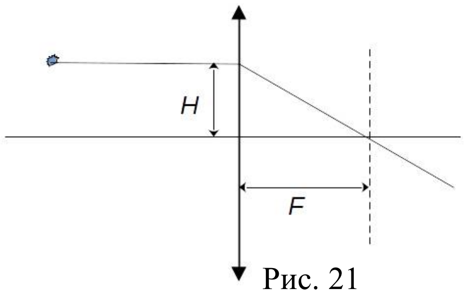

Рис. 21

Для определения средней скорости рассчитаем смещение изображения. В начальный момент расчёты по формулам (1) и (2) дают $b_1 = 4F/3$, $h_1 = 3F/40$, в конечный $b_2 = 2F$, $h_1 = 9F/40$. Смещение изображения теперь найдём по теореме Пифагора: $s^2 = (b_1 - b_2)^2 + (h_1 - h_2)^2$, $s = 41F/60$. Это расстояние проходится за время $t = 2F/v_0$, откуда получаем среднюю скорость $\upsilon_{ср} = s/t = 41\upsilon_0/120$.

<u>*2 способ*</u>

Введём прямоугольную систему координат с началом в центре линзы O, осью Ox вдоль оси линзы и осью Oy в перпендикулярном направлении (выберем положительным направление от оси к изображению). Тогда для изменений координат между моментами времени t_1 и t_2 получим

$$\Delta x = b_2 - b_1,\ \Delta y = (h_2 - h_1) = \left[H\left(\frac{b_2}{F} - 1\right) - H\left(\frac{b_1}{F} - 1\right)\right]$$

$$\Delta y = \frac{H}{F}(b_2 - b_1) = \frac{H}{F}\Delta x = k\Delta x,\ k = \frac{H}{F}$$

Таким образом, траектория движения изображения – отрезок прямой с угловым коэффициентом $k = H/F$. В начальный момент времени $b_1 = 4F/3$, $h_1 = 3F/40$, тогда $y = 3F/40 + 9(x - 4F/3)/40$. Длина пути, пройденного изображением за время движения равна $s = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} = \sqrt{1 + k^2}\Delta x$. Средняя скорость изображения за время движения равна длине пройденного изображением пути s, делённой на время движения $\Delta t = \frac{a_1 - a_2}{\upsilon_0} = \frac{-\Delta a}{\upsilon_0}$:

$$\upsilon_{\text{ср}} = \upsilon_0\sqrt{1+k^2}\,\frac{\Delta x}{-\Delta a} = \sqrt{1+\left(\frac{H}{F}\right)^2}\,\frac{1}{\left(a_2/F-1\right)\left(a_1/F-1\right)}\upsilon_0 .$$

Подставляя значения, получаем:

$$k = -\frac{9}{40}, \quad \upsilon_{\text{ср}} = \frac{41}{120}\upsilon_0$$

Ответ: Траектория – отрезок прямой, проходящей через главный фокус линзы с угловым коэффициентом k=–9/40=–0,225. Средняя скорость $\upsilon_{\text{ср}} = \frac{41}{120}\upsilon_0 \approx 0,342\upsilon_0$

Критерии оценивания

Записана формула тонкой линзы	1
Записана формула для увеличения линзы	1
Показано, что траектория движения изображения – прямая	3
Определен угловой коэффициент этой прямой	2
Найдена длина траектории	2
Найдена средняя скорость	1

11-5. Теоретическая часть.

Запишем уравнения движения тела:

$$\begin{cases} \Delta x = \upsilon_0 \cos\beta\Delta t \\ \Delta y = \upsilon_0 \sin\beta\Delta t - \dfrac{g\Delta t^2}{2} \end{cases} \quad (1)$$

Для определения двух неизвестных H и υ_0 необходимо использовать данные двух измерений:

$$\begin{cases} -H = \upsilon_0 \sin\beta_1 t_1 - \dfrac{g t_1^2}{2} \\ -H = \upsilon_0 \sin\beta_2 t_2 - \dfrac{g t_2^2}{2} \end{cases} \quad (2)$$

Комбинируя эти уравнения, получаем для скорости

$$\upsilon_0 \sin\beta_1 t_1 - \frac{g t_1^2}{2} = \upsilon_0 \sin\beta_2 t_2 - \frac{g t_2^2}{2}; \quad \upsilon_0\left(t_1\sin\beta_1 - t_2\sin\beta_2\right) = \frac{g}{2}\left(t_1^2 - t_2^2\right);$$

окончательно $$\upsilon_0 = \frac{g}{2}\,\frac{t_1^2 - t_2^2}{t_1\sin\beta_1 - t_2\sin\beta_2}.$$

Для высоты получим $$-H\left(\frac{1}{t_1^2} - \frac{1}{t_2^2}\right) = \upsilon_0\left(\frac{\sin\beta_1}{t_1} - \frac{\sin\beta_2}{t_2}\right);$$

$$H\frac{t_1^2 - t_2^2}{t_1^2 t_2^2} = \frac{g}{2}\,\frac{t_1^2 - t_2^2}{t_1\sin\beta_1 - t_2\sin\beta_2}\left(\frac{\sin\beta_1}{t_1} - \frac{\sin\beta_2}{t_2}\right);$$

$$H = \frac{g}{2}\,\frac{t_1^2 t_2^2}{t_1\sin\beta_1 - t_2\sin\beta_2}\,\frac{t_2\sin\beta_1 - t_1\sin\beta_2}{t_1 t_2} = \frac{g}{2}t_1 t_2\,\frac{t_2\sin\beta_1 - t_1\sin\beta_2}{t_1\sin\beta_1 - t_2\sin\beta_2},$$

и окончательно $$H=\frac{g}{2}t_1t_2\frac{t_2\sin\beta_1-t_1\sin\beta_2}{t_1\sin\beta_1-t_2\sin\beta_2}.$$

Для составления пар в принципе пригодны любые комбинации измерений из таблицы. Однако, если составлять пары из измерений с такими углами β_1 и β_2, что $\beta_2=-\beta_1$, вычисления заметно упрощаются, а, следовательно, погрешность результатов может уменьшиться.

$$\beta_2=-\beta_1\rightarrow\sin\beta_2=-\sin\beta_1$$

$$\upsilon_0=\frac{g}{2}\frac{t_1^2-t_2^2}{(t_1+t_2)\sin\beta_1}=\frac{g}{2}\frac{t_1-t_2}{\sin\beta_1}$$

$$H=\frac{g}{2}t_1t_2\frac{(t_1+t_2)\sin\beta_1}{(t_1+t_2)\sin\beta_1}=\frac{g}{2}t_1t_2$$

$$\upsilon_0=\frac{g(t_1-t_2)}{2\sin\beta_1},\quad H=\frac{gt_1t_2}{2}$$

Экспериментальная часть

β_1,°	β_2,°	υ_0, м/с	H, м	<υ_0>, м/с	$\Delta\upsilon_0$, м/с	<$\Delta\upsilon_0$>, м/с	<H>, м	ΔH, м	<ΔH>, м
–75	75	29,40	43,99		0,12			0,05	
–60	60	29,40	44,01		0,12			0,03	
–45	45	29,11	44,26	29,52	0,41	0,29	44,04	0,22	0,09
–30	30	29,40	43,96		0,12			0,08	
–15	15	30,20	43,99		0,68			0,05	

υ_0 = (29,52±0,29) м/с, H= (44,04±0,09) м.

Ответ: υ_0 = (29,52±0,29) м/с, H = (44,04±0,09) м. Рекомендуется принимать значения, попадающие в интервалы υ_0 = (29,5±0,5) м/с и H= (44,0±0,5) м

Критерии оценивания

Записаны соотношения (2) или эквивалентные им	1
Получены расчетные формулы для скорости	2
и высоты	2
Представлена таблица результатов	1
Получены средние значения скорости и высоты	1+1
Рассчитаны погрешности этих значений	1+1

Указания проверяющему: 1. Если для расчета использовано менее 5 значений, оценивается только теоретическая часть (максимум 4 балла).

2. Баллы за расчет погрешности ставятся, только если значение получено верным способом и попало в указанный интервал.

3. Расчет погрешности может производиться любым корректным способом.

Рекомендации
по проверке работ

Необходимо помнить, что олимпиада – это соревнование по решению нестандартных задач, а не по аккуратному выписыванию известных формул и определений. Основная задача, стоящая перед участником – получить конструктивным способом правильный ответ на заданный в условии вопрос. Поэтому при проверке большее внимание нужно обращать на результат решения задачи, а не на применяемый метод и степень гладкости и аккуратности его изложения.

Рекомендуется организовать проверку так, чтобы одну и ту же задачу во всех работах проверял один и тот же человек, в этом случае уверенность в том, что одинаковые решения будут оценены одинаковым числом баллов (а это основное требование к проверке), существенно выше. Идеальный вариант достигается, если каждый член жюри проверяет только одну задачу. Такая система не исключает, однако, обсуждения отдельных решений (как правило, нестандартных) всеми членами жюри.

Считаем необходимым напомнить, что "Порядок проведения Всероссийской олимпиады школьников по физике" не содержит требований к проценту выполнения работы, необходимому для получения статуса призера. Поэтому настоятельно рекомендуется присваивать в каждой параллели хотя бы одному участнику олимпиады статус призера.

При проверке необходимо придерживаться следующих правил:

0. **Максимальная оценка за любую задачу 10 баллов.** Если по прочтении критериев Вам кажется, что это не так, **обязательно** обратитесь к председателю жюри либо в методическую комиссию. Обратите внимание, что в критериях *курсивом* отмечены баллы, выставляемые при неполном выполнении критерия. **Вообще, рекомендуется обращаться в методическую комиссию при наличии вопросов по решениям или критериям.**

1. **Абсолютно недопустимо** снимать баллы за отсутствие в работе необязательных для получения ответа элементов, таких как запись краткого условия, проверка размерностей, перевод единиц измерения в одну систему и т.п.

2. **Абсолютно недопустимо** снимать баллы за "некрасивый" или нерациональный метод решения, в частности, за проведение вычислений не в общем виде. Любое полное правильное решение должно быть оценено полным баллом.

3. Не следует снимать баллы за отсутствие пояснений общеизвестных вещей (например, если участник пишет условие равенства суммы всех сил нулю, но не указывает, что это второй закон Ньютона для покоящегося тела; или при записи условия плавания тела сразу пишет $\rho g V$, не уточняя, что это сила Архимеда), интуитивно понятных обозначений (если, например, в задаче всего два тела, движущихся равномерно, то не требуют специального пояснения обозначения v_1 и v_2), пропуск тривиальных этапов в решении (если второй закон Ньютона пишется сразу в проекциях на наклонную плоскость). Вообще рекомендуется не требовать слишком подробных пояснений: если Вы поняли, о чем идет речь и почему участник пишет эти формулы, не надо придираться к тому, что они недостаточно пояснены.

4. Необходимо строго придерживаться указанных после каждой задачи критериев оценивания, при этом допускается выставление неполного балла. Так, если за запись некоторого уравнения ставится 3 балла, то имеет смысл за записанное с ошибкой уравнение ставить 0, 1 или 2 балла, в зависимости от того, насколько существенна эта ошибка.

5. Возможны ситуации, при которых *математическая* ошибка в одной из промежуточных формул приводит к тому, что все последующие тоже оказываются неверными, хотя физика задачи участником понята и логика решения верна (если, например, участник неправильно спроектировал второй закон Ньютона на оси, но дальнейшие преобразования сделал верно). В этом случае снимать баллы следует только за ту формулу, в которой первоначально была сделана ошибка. Т.е. если из формулы (1) получается формула (2), а из нее формула (3), причем формула (1) записана неверно, но (2) и (3) получены из нее корректно, то баллы за формулы (2) и (3) должны быть поставлены полностью. Это правило не действует для *физической* ошибки (если, например, участник записал второй закон Ньютона без одной из сил). В этом случае "обнуляются" все опирающиеся на неверную формулы.

6. Во всех случаях, кроме критерия "получен ответ", слова "найдена (получена) величина x" следует понимать как "найдено численное значение величины x **либо** формула, выражающая ее через заданные в условии величины"

7. Если полученный ответ неверен (неважно, вследствие арифметических ошибок при расчете либо более ранних ошибок), выставлять по критерию "получен ответ" полный балл нельзя.

8. Приведенные критерии оценивания применяются для оценивания *частично неверных либо недостаточно обоснованных* решений. *Любое верное и в достаточной степени обоснованное* решение необходимо оценивать в 10 баллов. Утверждения, обоснование которых должно присутствовать в решении в явном виде, обязательно упомянуты в критериях. Снимать баллы за отсутствие обоснования других утверждений не следует.

9. Указание размерности при промежуточных вычислениях не требуется. Если задача предполагает получение числового ответа в размерных величинах, то отсутствие указания размерности ответа должно *обязательно* приводить к снижению баллов в пределах, полагающихся в соответствии с критериями за получение ответа.

10. В случае, если представленное решение имеет существенно отличную от авторской логику, необходимо разработать систему оценивания, по возможности совпадающую с указанной в ключевых точках.

11. В случае, если в задаче записан только правильный ответ без комментариев относительно способа его получения, необходимо ставить 0 баллов.

12. Все записи, которые зачеркнуты участником, не проверяются и не оцениваются (даже если они верные).

13. Если в работе содержится несколько решений одной и той же задачи, и комментарии участника позволяют понять, какое из решение он считает верным, то оценивается только оно.

14. Если же при нескольких решениях невозможно понять, какое участник считает верным, то следует придерживаться следующих правил:

А. Если все решения верные (например, несколько различных способов решения), то оценивается наилучшее.

Б. Если среди решений есть как верные, так и неверные, то оценивается *наихудшее* решение.

15. Черновики не проверяются.

Составители настоящего пособия надеются, что им удалось избежать опечаток в *условиях* задач. В то же время они уверены, что в *решениях* задач опечатки, к сожалению, остались, и будут благодарны за указание на них. Эти сведения, а также любые вопросы по условиям и решениям задач авторы просят присылать Савину Алексею Владимировичу (см. контакты на с. 2).