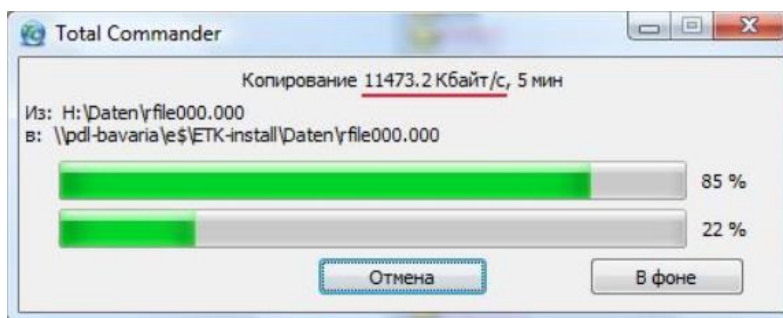


ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ФИЗИКЕ
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП
2023-2024 учебный год
7 класс

1. **Физика на информатике.** При копировании файлов в Total Commander появляется окно, показанное на рисунке. Верхняя строка в окне заполняется пропорционально времени передачи файла. На рисунке прошло 85 % времени этого процесса. Нижняя строка заполняется пропорционально времени передачи всей информации. В этом процессе на рисунке прошло 22 % времени.

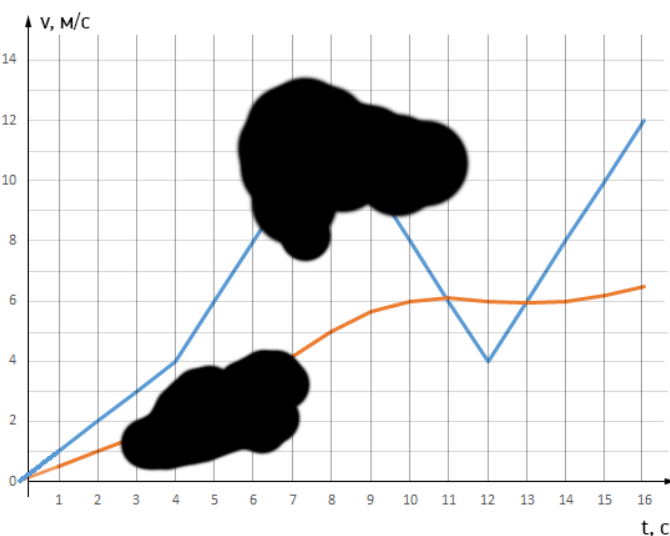


Как-то семиклассник Миша копировал в кабинете информатики для своей одноклассницы Маши сразу четыре файла по физике объёмом 9 Мбайт; 40,5 Мбайт; 20,25 Мбайт и 24,75 Мбайт. Длина заполняемой строки в окне у Миши была 12 см, а скорость передачи информации – 4608 кбайт/с. Определите:

- Сколько раз длины заполненных частей верхней и нижней строки совпали (начальный момент с длиной равной нулю не считать)?
- В какие моменты времени это произошло?
- Чему были равны длины заполненных частей при совпадениях?

Примечание: 1 Мбайт = 1024 кбайт.

2. **Смещение скоростей.** Экспериментатор Глюк снял данные с бортового компьютера велосипеда и построил в одних осях графики зависимости мгновенной и средней скорости велосипеда от времени для первых 16 секунд движения. Оставив листок с графиками на столе, он отошел пообедать. А когда вернулся, обнаружил, что кот Мюон перевернул чернильницу и заляпал листок чернилами. Беда в том, что забывчивому Глюку предстояло еще обработать данные, а он даже не мог вспомнить, какой из графиков относится к средней скорости, а какой - к мгновенной.



Помогите ему разобраться с этим вопросом. А также определите:

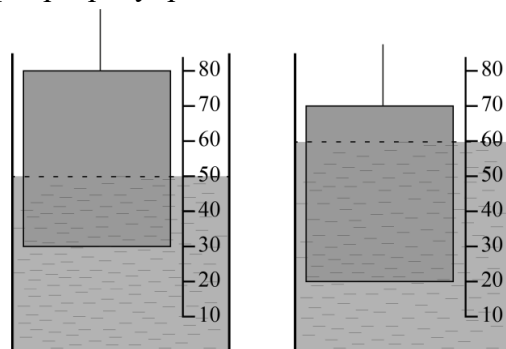
- среднюю скорость велосипедиста на интервале от $t = 2$ с до $t = 6$ с;
- какой путь преодолел велосипедист в промежутке времени от $t = 8$ с до $t = 14$ с.

3. Первые измерения. В ходе лабораторной работы ученик измерял объём тела с постоянной площадью сечения. Для этого он погружал его в мерный цилиндр, проградуированный в миллилитрах. На рисунке показаны 2 момента процесса измерения.

Пользуясь данными с рисунка определите:

- объём жидкости в измерительном цилиндре $V_{ж}$;
- объём тела $V_{т}$;
- отношение площадей сечения сосуда и тела $S_c/S_{т}$.

Количество жидкости в стакане не менялось.



4. Ужин в благородном семействе. Для того чтобы накормить ужином своих семерых козлят, Мама Коза принесла домой 4 л молока. Налила молоко каждому из козлят по 475 мл, затем Мама достала свою любимую кружку, объем которой равен $\frac{3}{5000}$ от 1 м³, налила в неё молока до краёв, но заметила что в бутылке осталось ещё молоко. Тогда она предложила каждому козлёнку подойти и допить по глотку. Шестерым козлятам досталось по полному глотку, а седьмому козлёнку добавки не досталось. Считайте объём глотков козлят одинаковыми. Определите:

- объём кружки Мама Козы в см³;
- сколько миллилитров в одном глотке козлёнка;
- сколько глотков сделал седьмой козлёнок, выпивая свою кружку на ужин.

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ФИЗИКЕ
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП
2023-2024 учебный год
8 класс

1. **Пицца стала ближе.** В отделе доставки пиццы, где её доставляют на самокатах, работавший там Петр применил дрон-коптер. Управляется дрон со смартфона, на котором задаётся скорость коптера относительно смартфона. Пётр установил эту скорость на значении 15 м/с. Получив заказ на доставку к месту в 2 км от пиццерии, Петр сел на самокат, и поехал с постоянной скоростью 5 м/с. Проехав 200 м, Петр, не останавливаясь, запустил коптер с пиццей, и тот полетел к цели. На месте коптер завис. На выгрузку было потрачено 30 с: вниз 15 с, вверх 15 с. Затем он начал, одновременно с Петей, двигаться в обратную сторону. Определите:

- a. с какой скоростью должен двигаться Петр в обратном направлении, чтобы прибыть в пиццерию одновременно со своим коптером;
- b. сколько времени при этом экономит Петя, применяя коптер;
- c. на сколько быстрее доставляется пицца с применением коптера.

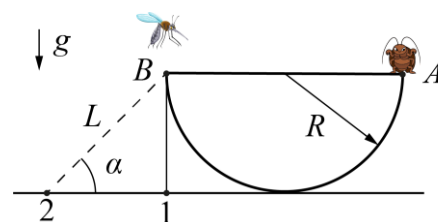
Движение происходит вдоль одной прямой улицы. Повезло!

2. **Два тела.** К двум одинаковым телам присоединены нити. Первое тело привязано за нить к крышке сосуда с жидкостью и погружено в неё на $1/3$ своего объёма. Второе тело привязано ко дну этого сосуда так, что над жидкостью находится $1/3$ его объёма. Оказалось, что силы натяжения нитей одинаковы по модулю. Определите:

- a. отношение плотности тел и жидкости;
- b. отношение силы тяжести, действующей на тело, и силы натяжения нити;
- c. как изменится уровень воды в сосуде после пережигания нитей.

Нити невесомы и вертикальны.

3. **Чаша в равновесии.** Таракан массой $M = 20$ г сидит в точке A на краю однородной полуцилиндрической чаши радиусом R . В диаметрально противоположной точке B к чаше прикреплена нитка, которая привязана к столу, и удерживает чашу в положении, когда AB горизонтальна (см рисунок).



Определите:

- a. силу натяжения нити T_1 , если нить вертикальна и закреплена в точке «1»;
- b. силу натяжения нити T_2 , если нить закреплена в точке «2», когда $L = \sqrt{2}R$, а угол $\alpha = 45$ градусов;
- c. силу натяжения нити T_3 , если нить закреплена в точке «2», а в точке B сидит комар массой $m = 1$ г.

Стенки чаши однородные, постоянной толщины. Ускорение свободного падения $g = 10$ Н/кг.

4. **Двойное охлаждение.** Экспериментатор Глюк и теоретик Баг налили себе в стаканы по 100 г горячего чая, имеющего температуру $T_{100} = 100^\circ\text{C}$. Для охлаждения чая у них в запасе имелось большое ведро воды при температуре $T_0 = 0^\circ\text{C}$.

Глюк опускал на ниточке монетку теплоёмкостью $C_1 = 7,82$ Дж/ $^\circ\text{C}$ сначала в ведро, потом в стакан с чаем, всё время дожидаясь установления теплового равновесия. Этот алгоритм он повторил 10 раз.

Баг просто добавил в свой стакан холодную воду из ведра массой $m_2 = 18,0$ г и дождался установления теплового равновесия.

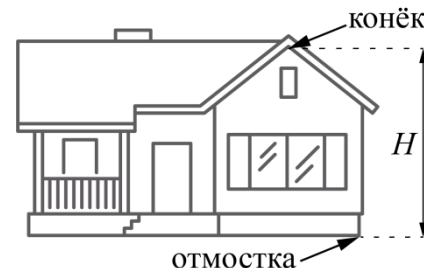
Определите кто из друзей сильнее охладил свой чай.

Удельная теплоемкость чая и воды $c_v = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$.

Теплообменом с окружающей средой, изменением температуры воды в ведре и теплоемкостью стаканов можно пренебречь, чай из стакана не выливался.

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ФИЗИКЕ
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП
2023-2024 учебный год
9 класс

1. С конька на отмокту. Однажды в осеннюю дождливую пору, теоретик Баг лежал на кушетке своей дачи и заметил, что капли падающие с конька крыши пролетают окно высотой 1,600 метра за 0,1600 секунды. Зная, что высота подоконника над поверхностью отмокты 1,368 метра, определите:



а. с какой скоростью v капли падают на отмокту;

б. высоту конька над отмоктой H .

Баг считает, что ускорение свободного падения равно 10 м/с^2 .

2. Разные показания. На рисунке показана схема с двумя одинаковыми резисторами сопротивлением R каждый, идеальным источником с напряжением $\mathcal{E}$, идеальным амперметром и идеальным вольтметром.

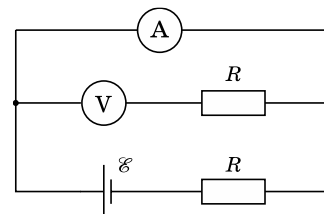
а. Определите показания идеальных приборов.

б. Если амперметр неидеален и имеет сопротивление R , то чему равно его показание?

с. Если амперметр неидеален и имеет сопротивление R , то чему равно показание вольтметра?

д. Если амперметр и вольтметр неидеальные и имеют сопротивления R каждый, то чему равно показание вольтметра?

е. Если амперметр и вольтметр неидеальные и имеют сопротивления R каждый, то чему равно показание амперметра?



3. В аквариуме. Система, изображённая на рисунке, состоит из двух неподвижных и одного подвижного лёгких блоков, двух лёгких тонких нерастяжимых нитей 1 и 2, двух лёгких пружин одинаковой жёсткостью, прикреплённых одним концом ко дну аквариума, и двух массивных цилиндров А и В одинаковой плотностью и высотой, погружённых в жидкость. В цилиндрах нет полостей, масса цилиндра В в три раза больше массы цилиндра А. Система находится в состоянии равновесия, а абсолютное удлинение левой пружины равно x_1 . Определите:

а. отношение сил натяжения нитей 1 и 2 $\alpha = T_1/T_2$;

б. сжатие или удлинение правой пружины $|x_2|$.

Цилиндры А и В перевешивают, меняя их местами. В новом положении равновесия системы определите:

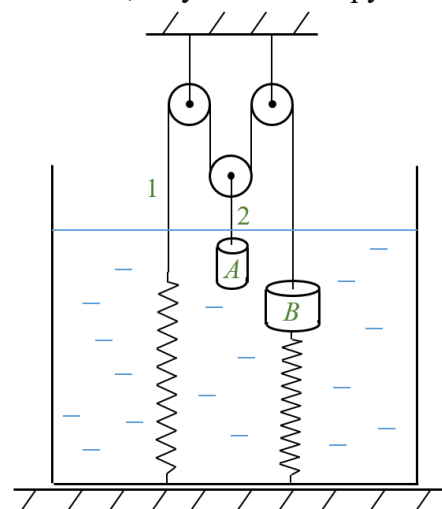
с. отношение сил натяжения нитей 1 и 2 $\alpha' = T_1'/T_2'$;

д. абсолютное удлинение левой пружины x_1' ;

е. сжата или растянута правая пружина;

ф. абсолютное удлинение правой пружины x_2' ;

г. на какое расстояние l сместилась ось подвижного блока после перевешивания цилиндров.



Известно, что до и после перевешивания грузов нити и пружины вертикальны, цилиндры целиком погружены в жидкость. Трением в системе можно пренебречь.

4. **Кубик ДФИ.** Согласно закону Ньютона-Рихмана, мощность P теплообмена между двумя телами пропорциональна площади S контактируемой поверхности и разности температур между телами:

$$P = \alpha S(T - T_0),$$

где α — некоторый размерный коэффициент.

а. Запишите единицы измерения коэффициента α в СИ.

В большом помещении с постоянной комнатной температурой T_0 на теплоизолированную поверхность поставили металлический куб со стороной b и исследовали зависимость его температуры от времени. Результаты представлены на рисунке 1.

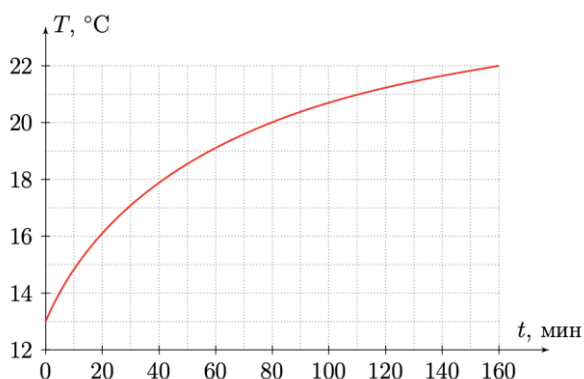


Рисунок 1

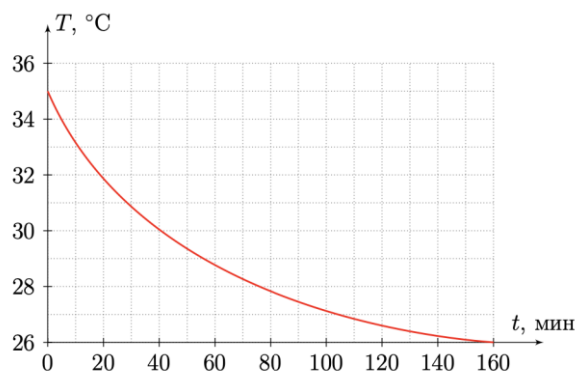


Рисунок 2

Опыт повторили, только теперь начальная температура куба была другой (см. рисунок 2). Оказалось, что графики двух зависимостей являются зеркальным отражением друг друга.

б. Чему равно значение комнатной температуры T_0 ?

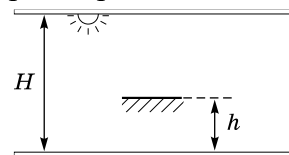
В пунктах с - е будем считать, что мощность теплотерь куба оставалась такой же, как и начальная мощность в реальном эксперименте.

с. Оцените время τ остывания куба во втором эксперименте до комнатной температуры в такой модели.

д. Считая удельную теплоемкость c и плотность ρ материала куба известными, оцените значение коэффициента α .

е. Повторим второй эксперимент, только в этот раз кубик подвесим на теплопроводящей нити вдали от других тел в том же помещении. Каким будет теперь время остывания τ_1 .

5. **Г. Оптика.** В комнате высотой H на потолке висит лампа. Плоское круглое зеркало расположено параллельно полу на некоторой высоте (см. рисунок). Расстояние между двумя наиболее удаленными точками тени от зеркала в два раза больше, чем максимальное расстояние между двумя точками «зайчика» на потолке. Найдите на каком расстоянии h от пола расположено зеркало. Лампу считайте точечным источником света.

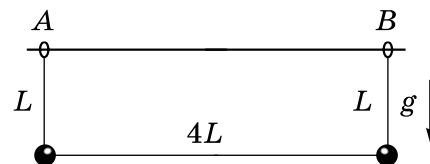


ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ФИЗИКЕ
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП
2023-2024 учебный год
10 класс

1. С конька на отмокту. Шарик толкнули вверх по наклонной плоскости с начальной скоростью $v_0 = 12$ м/с. В течение второй секунды движения направление скорости шарика не менялось и совпадало с направлением начальной скорости, а модуль его перемещения оказался равен $s_2 = 4,5$ м. Определите:

- ускорение шарика, считая его постоянным;
- через какое время после толчка шарик остановился;
- путь, пройденный шариком за третью секунду.

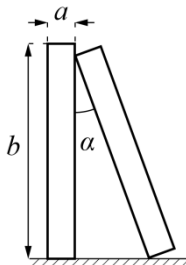
2. Бусы Ньютона. На горизонтальный стержень надеты маленькие невесомые колечки A и B , которые могут без трения перемещаться по стержню. К колечкам прикреплена невесомая нить. На нить надеты две одинаковые массивные маленькие бусинки, которые могут без трения перемещаться по нити. В начальный момент бусинки удерживают так, что нить натянута, длина ее горизонтального участка $4L$, длина каждого вертикального участка L .



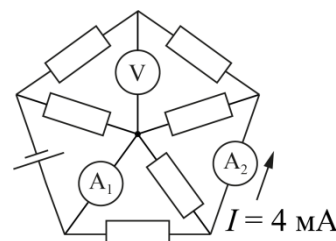
Бусинки одновременно отпускают. Считая известным ускорение свободного падения g , найдите:

- координаты первой встречи бусинок;
- ускорения каждой из бусинок;
- время, через которое бусинки впервые встретятся;
- путь, который пройдет каждая бусинка до встречи.

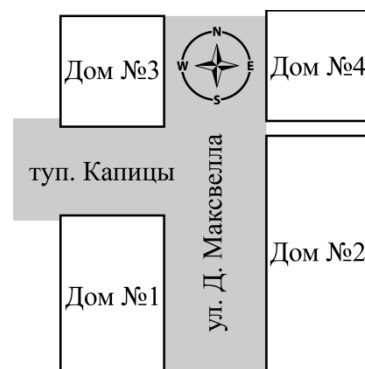
3. Постучим костяшками. Две одинаковые костяшки домино стоят на шероховатой поверхности – костяшка A стоит вертикально, костяшка B – под углом α , опираясь ребром на грань костяшки A . При каких углах α система будет находиться в равновесии? Высота костяшки – a , ширина – b ($b \ll a$), масса – m , коэффициент трения между костяшками и поверхностью – μ . Коэффициент трения между костяшками пренебрежимо мал. Система находится в однородном поле сил тяготения с ускорением свободного падения g .



4. Однажды в схеме... В цепи, схема которой изображена на рисунке, все приборы идеальные. Сопротивления всех резисторов одинаковы и равны 1 кОм . Через второй амперметр течет ток силой 4 мА . Найдите показания приборов и напряжение идеального источника.



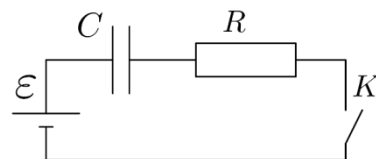
5. Тень на плетень. В ясное летнее утро, когда продолжительность суток стала равной T , вертикальная граница тени от дома №2 движется вблизи угла дома №1 по его восточной стене со скоростью v_1 , а перейдя на его северную стену, со скоростью v_2 . Чему равна ширина улицы Д.Максвелла?



ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ФИЗИКЕ
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП
2023-2024 учебный год
11 класс

1. **Дырявый барометр.** Закрытая с одного конца трубка ртутного барометра имеет площадь внутреннего сечения $S = 1 \text{ см}^2$ и выступает над поверхностью ртути на $L = 1 \text{ м}$. Уровень ртути в трубке установился выше уровня ртути в открытой части барометра на $h = 750 \text{ мм}$, а остальная часть трубки пуста. Температура в лаборатории $T = 27^\circ \text{C}$. В результате случайного удара по трубке (выше уровня ртути) в ней образовалась микротрещина, через которую начал поступать воздух со скоростью $\mu = 10^{16}$ молекул в секунду. С какой скоростью v начал опускаться уровень ртути в трубке сразу после удара? Плотность ртути $\rho = 13600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, постоянная Больцмана $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$, ускорение свободного падения $g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

2. **Заряженный конденсатор.** В цепи, схема которой изображена на рисунке, известна ЭДС $\mathcal{E}$ идеальной батареи, ёмкость конденсатора C , обе пластины которого имеют начальный положительный заряд q_0 ($q_0 < \mathcal{E}C$), и сопротивление резистора R . В начальный момент ключ K разомкнут. Затем его замыкают. Определите:

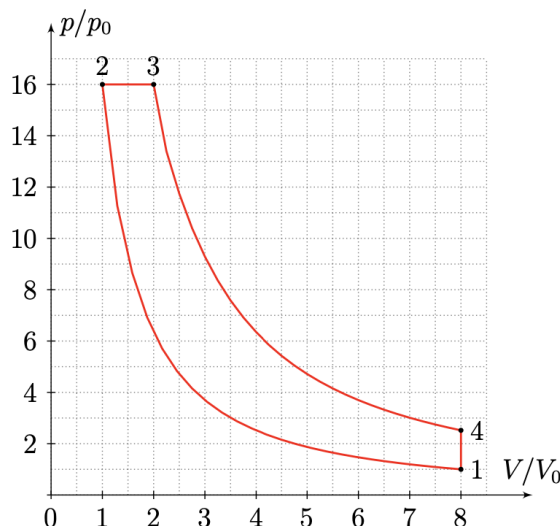


- силу тока I_0 в цепи сразу после замыкания ключа K ;
- силу тока I_1 , идущего через источник в момент, когда пластины конденсатора начнут притягиваться друг к другу.

3. **Дизель.** Идеальный цикл, который предложил Вильгельм Рудольф Дизель, состоит из четырёх процессов:

- 1-2 адиабатное сжатие рабочего тела;
- 2-3 изобарный подвод теплоты к рабочему телу;
- 3-4 адиабатное расширение рабочего тела;
- 4-1 изохорное охлаждение рабочего тела.

Под «рабочим телом» для упрощения будем понимать идеальный газ. Используя относительные величины давления и объёма (p_0 и V_0 считать известными) на графике и, приняв количество вещества рабочего тела за ν , ответьте на следующие вопросы:



- Какова минимальная температура $T_{\min}$ газа за весь цикл?
- Чему равна работа газа A за цикл? Давление в точке 4 считайте известным и равным $p_4 = 2,5p_0$. Здесь и в следующем пункте считайте число i степеней свободы газа известным.
- Найдите КПД η такого цикла.

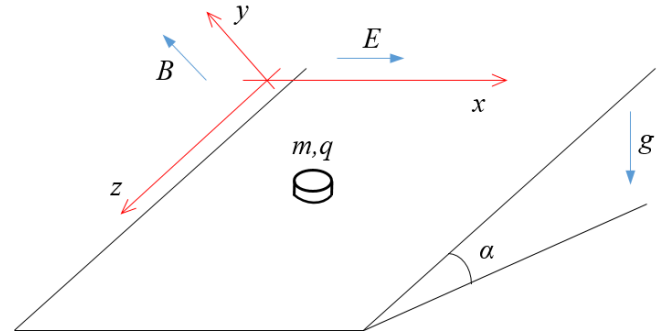
Для описания зависимости давления газа от его объёма на адиабатных участках графика можно использовать уравнение Пуассона:

$$pV^\gamma = \text{const},$$

где $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$ — показатель адиабаты (c_p, c_v — молярные теплоёмкости газа при постоянном давлении и при постоянном объёме соответственно).

- Теперь, считая i неизвестным, найдите численное значение γ .
- Чему равно i ?

4. **По наклонной.** На протяжённой наклонной плоскости с углом наклона α удерживают небольшой диск массой m и с зарядом q ($q > 0$). Коэффициент трения между диском и наклонной плоскостью μ . Напряженность E однородного электрического поля направлена по параллельной плоскости горизонтальной оси Ox , индукция B однородного магнитного поля направлена по оси Oy , перпендикулярной наклонной плоскости (см. рисунок). Диск отпускают. В момент сразу после того как диск отпустили, определите:



- силу нормальной реакции опоры N ;
- угол β между осью Oz и направлением силы трения;
- при каком минимальном значении коэффициента трения $\mu_{\min}$ диск не начнёт двигаться;

В предположении, что $\mu < \mu_{\min}$, в момент сразу после того как диск отпустили, определите:

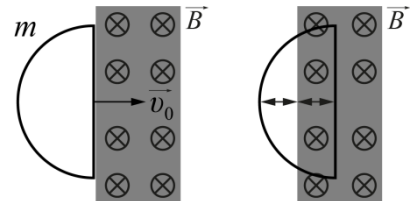
- силу трения $F_{\text{тр}}$;
- начальное ускорение a_0 ;

В предположении, что $\mu < \mu_{\min}$, в установившемся режиме при движении с постоянной скоростью определите:

- скорость установившегося движения $v_{\text{уст}}$;
- работу A_M , которую совершают магнитные силы за время τ ;
- количество теплоты Q , которое выделяется в системе за время τ .

Ускорение свободного падения g . Ось Oz параллельна плоскости и перпендикулярна оси Ox .

5. **Много Пи.** Из проволоки массой m , длиной l и сопротивлением R изготовили контур в виде половины окружности с диаметром. В начальный момент времени, контуру сообщили скорость v_0 , вектор которой перпендикулярен диаметру и лежит в плоскости контура (см. рис.). В процессе движения проволочная конструкция заехала в область однородного магнитного поля с индукцией B_0 , вектор которой перпендикулярен плоскости контура, а начальная скорость v_0 перпендикулярна границе магнитного поля. Через некоторое время контур остановился, заехав в поле на половину радиуса. Определите:

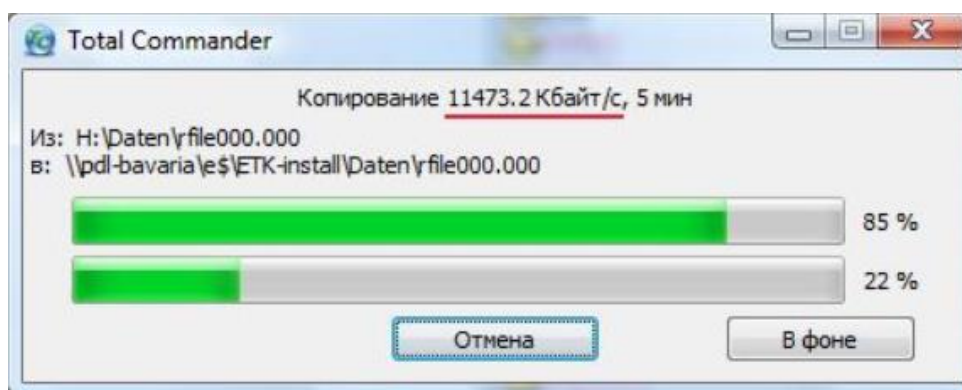


- начальную кинетическую энергию контура W_0 ;
- ускорение контура a_0 в момент пересечения диаметром границы области с магнитным полем;
- количество теплоты Q , выделившееся в контуре к моменту остановки;
- заряд q , прошедший по контуру за время движения.

Действием гравитационных сил пренебречь.

Ответы 7 класс

7.1. Физика на информатике (Сейтов А.И.). При копировании файлов в Total Commander появляется окно, показанное на рисунке. Верхняя строка в окне заполняется пропорционально времени передачи файла. На рисунке прошло 85 % времени этого процесса. Нижняя строка заполняется пропорционально времени передачи всей информации. В этом процессе на рисунке прошло 22 % времени.



Как-то семиклассник Миша копировал в кабинете информатики для своей одноклассницы Маши сразу четыре файла по физике объёмом 9 Мбайт; 40,5 Мбайт; 20,25 Мбайт и 24,75 Мбайт. Длина заполняемой строки в окне у Миши была 12 см, а скорость передачи информации – 4608 кбайт/с. Определите:

- Сколько раз длины заполненных частей верхней и нижней строки совпали (начальный момент с длиной равной нулю не считать)?
- В какие моменты времени это произошло?
- Чему были равны длины заполненных частей при совпадениях?

Примечание: 1 Мбайт = 1024 кбайт.

Возможное решение.

Переведём объём файлов в кбайт:

$$9 \text{ Мбайт} = 9 \cdot 1024 \text{ кбайт} = 9216 \text{ кбайт};$$

$$40,5 \text{ Мбайт} = 41472 \text{ кбайт};$$

$$20,25 \text{ Мбайт} = 20736 \text{ кбайт};$$

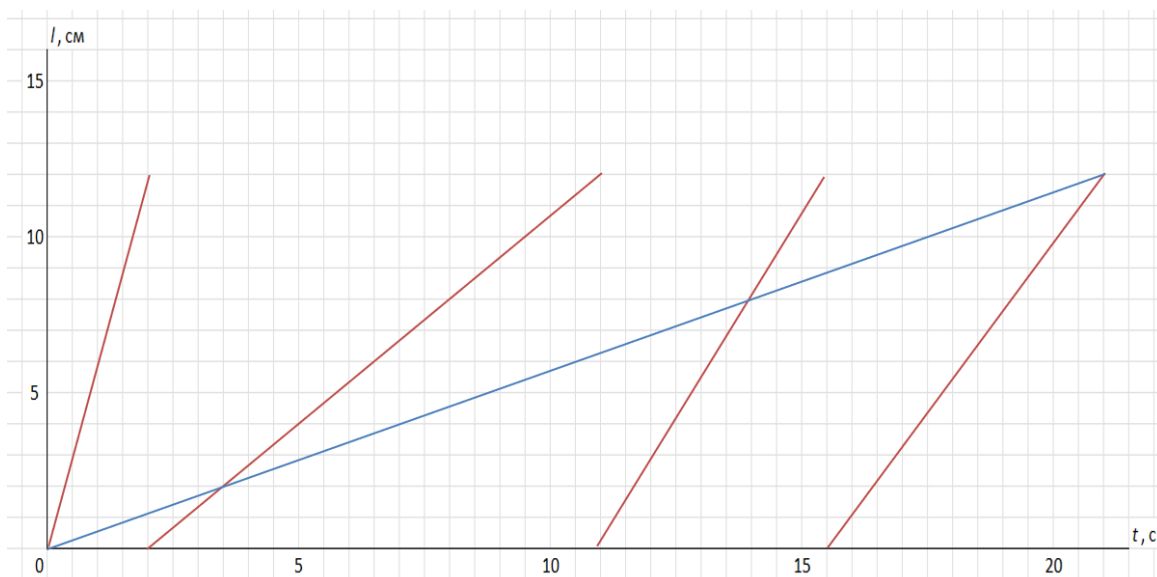
$$24,75 \text{ Мбайт} = 25344 \text{ кбайт}.$$

Найдём время передачи файлов:

$$t_1 = \frac{9216}{4608} = 2 \text{ (с)}; t_2 = 9 \text{ с}; t_3 = 4,5 \text{ с}; t_4 = 5,5 \text{ с}.$$

Тогда полное время передачи информации 21 с.

Далее удобнее процесс описать графически.



На графике хорошо видны ответы задачи.

Ответы: 3 совпадения; первое – 3,5 с на 2 см, второе – 14 с на 8 см, третье – 21 с 12 см.

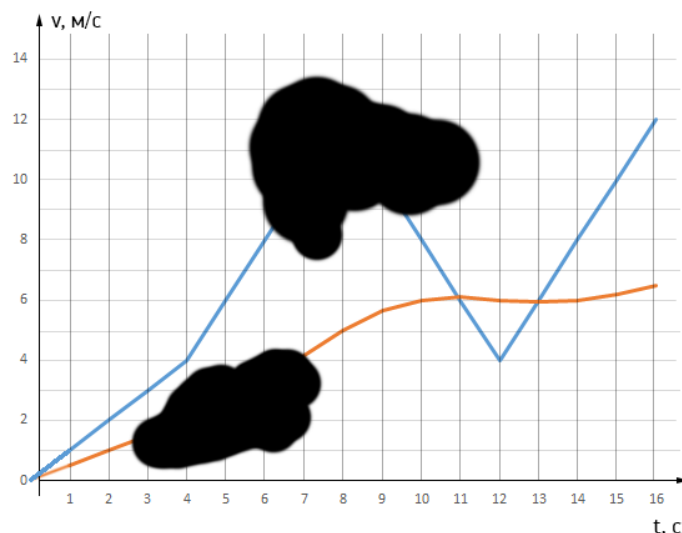
Критерии оценивания.

№	Критерий	Балл
1	Выполнен перевод Мбайтов в кбайты (по 0,25 балла за каждый верный ответ)	2
2	Написаны единицы измерения объёма информации при переводе	0,5
3	Найдено время загрузки каждого файла (по 0,5 балла за каждый верный ответ). Ответы могут быть получены после округления, в этом случае не начисляются баллы в первом пункте, а за время баллы ставятся.	2
4	Написаны единицы измерения у времени загрузки файла	0,5
5	Указано количество совпадений длин	1
6	Найдены времена всех совпадений (по 0,5 баллу за каждое время)	1,5
7	Написаны единицы измерения у времён совпадений	0,5
8	Найдены равные длины (по 0,5 баллу за каждую длину)	1,5
9	Написаны единицы измерения у длин	0,5
	ИТОГО:	10 баллов

Примечание для жюри

Полностью правильное решение, полученное неавторским методом, оценивается полным баллом. Недопустимо снижать оценку за «неправильное» оформление или неаккуратные записи.

7.2. Смешение скоростей (Евсеев А.А.). Экспериментатор Глюк снял данные с бортового компьютера велосипеда и построил в одних осях графики зависимости мгновенной и средней скорости велосипеда от времени для первых 16 секунд движения. Оставив листок с графиками на столе, он отошел пообедать. А когда вернулся, обнаружил, что кот Мюон перевернул чернильницу и заляпал листок чернилами. Беда в том, что забывчивому Глюку предстояло еще обработать данные, а он даже не мог вспомнить, какой из графиков относится к средней скорости, а какой - к мгновенной.



Помогите ему разобраться с этим вопросом. А также определите:

- среднюю скорость велосипедиста на интервале от $t = 2$ с до $t = 6$ с;
- какой путь преодолел велосипедист в промежутке времени от $t = 8$ с до $t = 14$ с.

Возможное решение:

График средней скорости на старте (где идет разгон) не может идти выше графика обычной скорости, поэтому красный график относится к средней скорости, а синий – к мгновенной. Синий график от $t = 2$ с до $t = 6$ с не поврежден. Значит, можно подсчитать площадь под ним и найти пройденный путь – 18 метров. Поскольку этот путь был пройден за 4 секунды, средняя скорость на участке - $v_{\text{ср1}} = S/t = 4,5$ м/с.

По графику средней скорости мы можем определить средние скорости, соответствующие $t = 8$ с и $t = 14$ с с момента начала движения (5 м/с и 6 м/с). Это позволит определить пути, пройденные до $t = 8$ с и $t = 14$ с:

$$S_8 = v_{\text{ср8}} t_8 = 40 \text{ м}, S_{14} = v_{\text{ср14}} t_{14} = 84 \text{ м}.$$

Значит путь, пройденный с $t = 8$ с по $t = 14$ с равен $S_{14} - S_8 = 44$ м.

•

Критерии оценивания.

№	Критерий	Балл
1	Графики правильно идентифицированы, (аргументация не важна)	1
2	Приведена верная аргументация идентификации графиков	3
3	Правильно определен путь, пройденный от $t = 2$ с по $t = 6$ с	1
4	Правильно определена средняя скорость на интервале от $t = 2$ с по $t = 6$ с	2
5	Правильно определен путь, пройденный до $t = 8$ с	1
6	Правильно определен путь, пройденный до $t = 14$ с	1
7	Правильно определен путь, пройденный с $t = 8$ с по $t = 14$ с	1
	max	10,0

Примечание для жюри

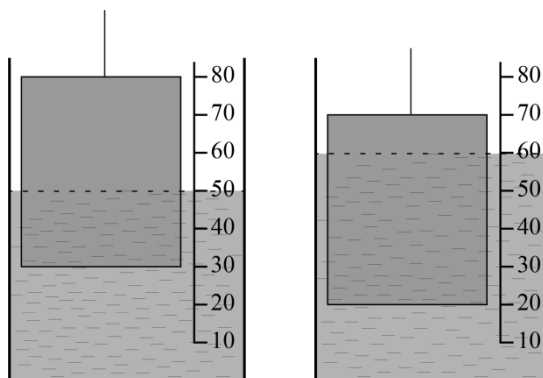
Полностью правильное решение, полученное неавторским методом, оценивается полным баллом. Недопустимо снижать оценку за «неправильное» оформление или неаккуратные записи.

7.3. Первые измерения. (Кутелев К.А.) В ходе лабораторной работы ученик измерял объём тела с постоянной площадью сечения. Для этого он погружал его в мерный цилиндр, проградуированный в миллилитрах. На рисунке показаны 2 момента процесса измерения.

Пользуясь данными с рисунка определите:

- объём жидкости в измерительном цилиндре $V_{ж}$;
- объём тела $V_{т}$;
- отношение площадей сечения сосуда и тела $S_c/S_{т}$.

Количество жидкости в стакане не менялось.



Возможное решение.

При перемещении цилиндра вниз на одно деление уровень воды поднялся то же на одно деление. Тогда для вновь вытесненной порции воды справедливо:

$$hS_{ц} = h(S_c - S_{ц}), \text{ где } h - \text{высота одного деления.}$$

Значит площадь сосуда в 2 раза больше площади сечения цилиндра.

Используем тот факт, что при смещении цилиндра уровень жидкости смещается на такое же расстояние но в противоположном направлении. Если сместить цилиндр из начального состояния вверх на одно деление (до отметки 40 мл), жидкость сместится до этого же уровня - это момент начала погружения. Значит жидкости в сосуде 40 мл. Чтобы полностью погрузить цилиндр в жидкость его нужно сдвинуть из второго положения на половину деления, так как над водой торчит одно деление, а уровень жидкости сместится вверх то же на пол деления. Таким образом, жидкость и полностью погруженный в неё цилиндр вместе займут объём 65 мл. С учётом найденного ранее объёма воды, объём цилиндра 25 мл.

Критерии оценивания.

№	Критерий	Балл
1.1	Отмечено равенство смещения цилиндра и уровня воды	1
1.2	Использовано условие несжимаемости жидкости	2
1.3	Найдено отношение $S_c/S_{ц} = 2$	1
2.1	Указано, в каком положении цилиндра можно измерить объём жидкости	1
2.2	Найден объём жидкости 40 мл	2
3.1	Указано, в каком положении цилиндра можно измерить суммарный объём жидкости и цилиндра	1
3.2	Найден суммарный объём 65 мл	1
3.3	Найден объём цилиндра 25 мл	1
	max	10,0

Примечание для жюри

Полностью правильное решение, полученное неавторским методом, оценивается полным баллом. Недопустимо снижать оценку за «неправильное» оформление или неаккуратные записи. При аргументированном выполнении 1.3 должны быть автоматически засчитаны вышестоящие 1.1 и 1.2. Аналогично критериях 2 и 3 разделов.

7.4. Ужин в благородном семействе. (Киреева А.А.) Для того чтобы накормить ужином своих семерых козлят, Мама Коза принесла домой 4 л молока. Налила молоко каждому из козлят по 475 мл, затем Мама достала свою любимую кружку, объем которой равен $\frac{3}{5000}$ от 1 м³, налила в неё молока до краёв, но заметила что в бутылке осталось ещё молоко. Тогда она предложила каждому козлёнку подойти и допить по глотку. Шестерым козлятам досталось по полному глотку, а седьмому козлёнку добавки не досталось. Считайте объём глотков козлят одинаковыми. Определите:

- объём кружки Мама Козы в см³;
- сколько миллилитров в одном глотке козлёнка;
- сколько глотков сделал седьмой козлёнок, выпивая свою кружку на ужин.

Возможное решение.

Отметим, что 1 миллилитр = 1 см³.

В одном кубическом метре $100 \cdot 100 \cdot 100 = 10^6$ см³. Значит объём кружки Козы

$$\frac{3}{5000} \cdot 10^6 = 600 \text{ см}^3.$$

После наполнения всех кружек в бутылке осталось $4000 - 600 - 7 \cdot 475 = 75$ мл. Этого

хватило на 6 глотков, значит объём глотка $\frac{75}{6} = 12.5$ мл.

Объёмы кружки и глотка нам известны, значит всего глотков $\frac{475}{12.5} = 38$.

Критерии оценивания.

№	Критерий	Балл
1	Дан правильный ответ на первый вопрос (600 см ³ или мл)	3
2	Найдено, что в кружках у козлят 3325 мл	2
3	Найдено, что во всех кружках 3925 мл	1
4	Найдено, что в бутылке осталось 75 мл	2
5	Найден объём глотка 12.5 мл	2
	max	10,0

Примечание для жюри

Полностью правильное решение, полученное неавторским методом, оценивается полным баллом. Недопустимо снижать оценку за «неправильное» оформление или неаккуратные записи. При правильном аргументированном выполнении п.4 нужно засчитывать п.2 и 3, даже если их нет в явном виде.

Ответы
8 класс

1. Пицца стала ближе. (Курносков В.М.) В отделе доставки пиццы, где её доставляют на самокатах, работавший там Петр применил дрон-коптер. Управляется дрон со смартфона, на котором задаётся скорость коптера относительно смартфона. Пётр установил эту скорость на значении 15 м/с. Получив заказ на доставку к месту в 2 км от пиццерии, Петр сел на самокат, и поехал с постоянной скоростью 5 м/с. Проехав 200 м, Петр, не останавливаясь, запустил коптер с пиццей, и тот полетел к цели. На месте коптер завис. На выгрузку было потрачено 30 с: вниз 15 с, вверх 15 с. Затем он начал, одновременно с Петей, двигаться в обратную сторону. Определите:

- a. с какой скоростью должен двигаться Петр в обратном направлении, чтобы прибыть в пиццерию одновременно со своим коптером;
 - b. сколько времени при этом экономит Петя, применяя коптер;
 - c. на сколько быстрее доставляется пицца с применением коптера.
- Движение происходит вдоль одной прямой улицы. Повезло!

Возможное решение:

1. Найдём время движения Петра на первом участке движения.

$$t_1 = \frac{s}{V_C} = \frac{200 \text{ м}}{5 \text{ м/с}} = 40 \text{ с}$$

2. Время полёта коптера с пиццей до цели.

Скорость полёта коптера относительно поверхности земли:

$$V_{OTH} = V_C + V_K$$

$$t_2 = \frac{\ell_0 - s}{V_C + V_K} = \frac{(2000 - 200) \text{ м}}{(5 + 15) \text{ м/с}} = 90 \text{ с}$$

3. Время полёта коптера до начала возвращения.

$$t_4 = t_2 + t_3 = 90 \text{ с} + 30 \text{ с} = 120 \text{ с}$$

4. Расстояние от пиццерии до места разворота самоката.

$$\ell_P = s + V_C t_4 = 200 \text{ м} + 5 \text{ м/с} \cdot 120 \text{ с} = 800 \text{ м}$$

5. Условие одновременности возвращения коптера и самоката.

$$\frac{\ell_0}{V_{C2} + V_K} = \frac{\ell_P}{V_{C2}}$$

Откуда: $V_{C2} = \frac{V_K \ell_P}{\ell_0 - \ell_P} = 10 \text{ м/с} = 36 \text{ км/ч}$

6. Время доставки:

$$t_{\text{д}} = t_1 + t_1 + \frac{t_3}{2} = 145 \text{ с.}$$

7. Время возвращения Петра (время выполнения поручения):

$$t_{\text{дв}} = t_1 + t_2 + t_3 + \frac{\ell_{\text{п}}}{V_{\text{с2}}} = 40 \text{ с} + 90 \text{ с} + 30 \text{ с} + 80 \text{ с} = 240 \text{ с}$$

8. Экономия во времени для Петра:

$$\Delta t = \frac{2\ell_0}{V_{\text{с}}} - t_{\text{дв}} = 520 \text{ с}$$

9. Экономия во времени доставки для заказчика:

$$\Delta t_{\text{зак}} = \frac{\ell_0}{V_{\text{с}}} - t_{\text{д}} = 255 \text{ с}$$

Критерии оценивания

№	Критерий	Балл
1	Использован закон для равномерного движения	1
2	Найдено $t_1 = 40 \text{ с}$	1
3	Найдено время полёта коптера с пиццей до цели	1
4	Найдено расстояние от пиццерии до места разворота самоката	1
5	Записано условие одновременности возвращения коптера и самоката	1
6	Ответ на первый вопрос 36 км/ч (10 м/с)	1
7	Найдено время доставки	1
8	Найдено всё время поездки Петра	1
9	Ответ на второй вопрос 520 с	1
10	Ответ на третий вопрос 255 с	1
	max	10,0

Примечание для жюри

Полностью правильное решение, полученное неавторским методом, оценивается полным баллом. Недопустимо снижать оценку за «неправильное» оформление или неаккуратные записи. Главными критериями являются п. 6,9,10. Промежуточные критерии могут быть выполнены в неявном виде, тогда они всё равно засчитываются.

8.1. Два тела. (Кутелев К.А.) К двум одинаковым телам присоединены нити. Первое тело привязано за нить к крышке сосуда с жидкостью и погружено в неё на $1/3$ своего объёма. Второе тело привязано ко дну этого сосуда так, что над жидкостью находится $1/3$ его объёма. Оказалось, что силы натяжения нитей одинаковы по модулю. Определите:

- отношение плотности тел и жидкости;
 - отношение силы тяжести, действующей на тело, и силы натяжения нити;
 - как изменится уровень воды в сосуде после пережигания нитей.
- Нити невесомы и вертикальны.

Возможное решение

Обозначим объём тел как $3V$, плотность жидкости $\rho_{ж}$, плотность тела ρ_m . Расставим на рисунке силы действующие на тело и запишем условия равновесия для каждого тела:

$$T = mg - F_A$$

$$T = 2F_A - mg$$

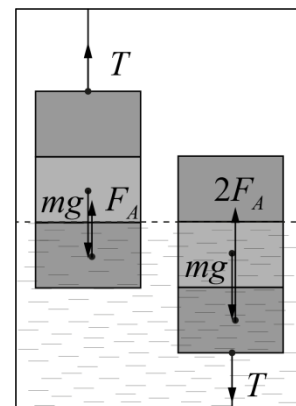
Где $F_A = \rho_{ж} g V$, а $mg = \rho_m g 3V$.

Вычитая уравнения друг из друга получим

$$3F_A = 2mg \Rightarrow F_A = \frac{2}{3} mg$$

$$\rho_{ж} g V = \frac{6}{3} \rho_m g V \Rightarrow \frac{\rho_m}{\rho_{ж}} = \frac{1}{2}$$

$$\text{Тогда } \frac{mg}{T} = \frac{mg}{mg - \frac{2}{3} mg} = 3$$



После пережигания нитей суммарная сила действующая на систему «тела+вода» не изменится, так как сумма сил натяжения равнялась 0. Значит не изменится и сила с которой система действует на окружение, а это сила давления жидкости на дно сосуда. Сила не поменяется, давление не поменяется, значит и уровень воды не изменится. Так же можно ответить на этот вопрос заметив, что после обрезания нитей тела будут плавать наполовину погруженные в жидкость, значит вытесняемые ими объёмы воды изменятся на одинаковую величину, но у одного он уменьшится, а у другого увеличится. Суммарный вытесняемый объём, а следовательно и уровень жидкости не изменятся.

Критерии оценивания

№	Критерий	Балл
1	Использована формула для силы Архимеда	1
2	Масса тел расписана с использованием их плотности	1
3	На рисунке расставлены все действующие на тела силы или они введены каким-то иным образом	1
4	Правильно записаны два условия равновесия	2
5	Получен ответ на первый вопрос $\frac{\rho_m}{\rho_{ж}} = \frac{1}{2}$	1
6	Получен ответ на второй вопрос $\frac{mg}{T} = 3$	1
7	Правильно обоснован ответ на третий вопрос	2
8	Правильный ответ на третий вопрос	1
	max	10,0

Примечание для жюри

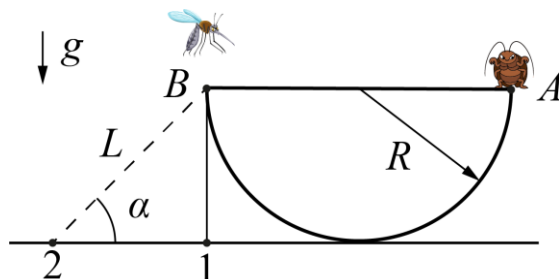
Полностью правильное решение, полученное неавторским методом, оценивается полным баллом. Недопустимо снижать оценку за «неправильное» оформление или неаккуратные записи.

8.2. Чаша в равновесии. (Зворыгина Е.С.) Таракан массой $M = 20$ г сидит в точке A на краю однородной полуцилиндрической чаши радиусом R . В диаметрально противоположной точке B к чаше прикреплена нитка, которая привязана к столу, и удерживает чашу в положении, когда AB горизонтальна (см рисунок).

Определите:

- силу натяжения нити T_1 , если нить вертикальна и закреплена в точке «1»;
- силу натяжения нити T_2 , если нить закреплена в точке «2», когда $L = \sqrt{2}R$, а угол $\alpha = 45$ градусов;
- силу натяжения нити T_3 , если нить закреплена в точке «2», а в точке B сидит комар массой $m = 1$ г.

Стенки чаши однородные, постоянной толщины. Ускорение свободного падения $g = 10$ Н/кг.



Возможное решение

1) Расставим силы действующие на систему «чаша+таракан» в первой ситуации.

Запишем правило моментов относительно оси O :

$$T_1 \cdot R = MgR \Rightarrow T_1 = Mg = 0.2H$$

2) Расставим силы действующие на систему «чаша+таракан» во второй ситуации. Соединим точку крепления нити и точку касания чаши стола. Рассмотрим полученный треугольник COB :

OB найдём из теоремы Пифагора $OB = \sqrt{2}R = L$

То есть треугольник COB равнобедренный. Учитывая, что угол $\alpha = 45$ градусов, получим, что CBO - прямой угол.

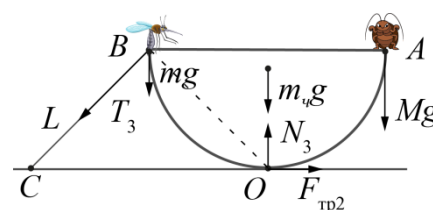
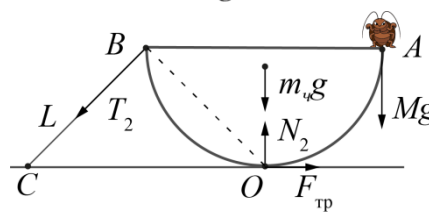
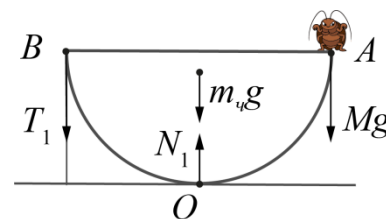
Значит OB - плечо силы натяжения нити для вращения вокруг оси O .

Запишем правило моментов относительно оси O :

$$T_2 \cdot OB = MgR \Rightarrow T_2 = \frac{MgR}{OB} = \frac{MgR}{R\sqrt{2}} = \frac{Mg}{\sqrt{2}} = 0.14H$$

3) Расставим силы действующие на систему «чаша+таракан+комар» в третьей ситуации. Запишем правило моментов относительно оси O с учётом комара:

$$T_3 \cdot OB + mgR = MgR \Rightarrow T_3 = \frac{(M - m)g}{\sqrt{2}} = 0.13H$$



Критерии оценивания

№	Критерий	Балл
1	Сделан рисунок с расстановкой ВСЕХ сил для вопроса 1 или описаны все силы	1
2	Ответ на вопрос 1 (по 0,5 баллов за формулу и число)	1
3	Сделан рисунок с расстановкой ВСЕХ сил для вопроса 2 или описаны все силы (включая силу трения)	1
4	Определено, что полученный треугольник AOC прямоугольный	1
5	Верно найдено плечо силы T_2	1
6	Записано правило моментов для второго случая	1
7	Ответ на второй вопрос (по 0,5 баллов за формулу и число)	1
8	Сделан рисунок с расстановкой ВСЕХ сил для вопроса 3 или описаны все силы (включая силу трения)	1
9	Записано правило моментов для третьего случая	1
10	Ответ на третий вопрос (по 0,5 баллов за формулу и число)	1
	max	10,0

Примечание для жюри

Полностью правильное решение, полученное неавторским методом, оценивается полным баллом. Недопустимо снижать оценку за «неправильное» оформление или неаккуратные записи. Численные ответы без единиц измерения не засчитываются. В п. 1, 3 и 8 должны быть расставлены все силы с правильными точками приложения. Последующие пункты оцениваются независимо от выполнения п. 1, 3 и 8.

8.3. Двойное охлаждение. (Кузнецова А.В.) Экспериментатор Глюк и теоретик Баг налили себе в стаканы по 100 г горячего чая, имеющего температуру $T_{100} = 100^\circ\text{C}$. Для охлаждения чая у них в запасе имелось большое ведро воды при температуре $T_0 = 0^\circ\text{C}$.

Глюк опускал на ниточке монетку теплоёмкостью $C_1 = 7,82 \text{ Дж/}^\circ\text{C}$ сначала в ведро, потом в стакан с чаем, всё время дожидаясь установления теплового равновесия. Этот алгоритм он повторил 10 раз.

Баг просто добавил в свой стакан холодную воду из ведра массой $m_2 = 18,0 \text{ г}$ и дождался установления теплового равновесия.

Определите кто из друзей сильнее охладил свой чай.

Удельная теплоёмкость чая и воды $c_v = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}^\circ\text{C}}$.

Теплообменом с окружающей средой, изменением температуры воды в ведре и теплоёмкостью стаканов можно пренебречь, чай из стакана не выливался.

Возможное решение:

Запишем уравнение теплового баланса для процесса Бага:

$$m_2 c_2 (T_2 - T_0) = M c_2 (T_{100} - T_2)$$

$$T_2 = 84,7^\circ\text{C}$$

Запишем уравнение теплового баланса для одной итерации охлаждения Глюка:

$$C_1(T_{x1} - T_0) = Mc_2(T_{100} - T_{x1})$$

$$T_{x1} = \frac{T_{100}}{\left(1 + \frac{C_1}{Mc_2}\right)}$$

Для нахождения температуры после второй итерации T_{x2} получится аналогичное уравнение, только начальная температура чая будет T_{x1} , а не T_{100} . Значит, итоговое выражение для температуры чая в стакане Глюка после 10 циклов:

$$T_1 = \frac{T_{100}}{\left(1 + \frac{C_1}{Mc_2}\right)^{10}} = 83,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Чай Глюка охладился сильнее.

Критерии оценивания

№	Критерий	Балл
	Записано уравнение теплового баланса для процесса Бага	1
	Получено выражение для температуры чая Бага после охлаждения	1
	Найдена конечная температура чая Бага $T_2 = 84,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$	1
	Записано уравнение теплового баланса для одной итерации охлаждения Глюка	2
	Получено выражение для температуры после первого цикла: $T_{x1} = \frac{T_{100}}{\left(1 + \frac{m_1 c_1}{Mc_2}\right)}$	1
	Получено выражение для температуры после десяти итераций: $T_1 = \frac{T_{100}}{\left(1 + \frac{m_1 c_1}{Mc_2}\right)^{10}}$	2
	Вычислена температура: $T_1 = 83,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$	1
	Сделан вывод о том, что Глюк охладил чай сильнее	1
	max	10,0

Примечание для жюри

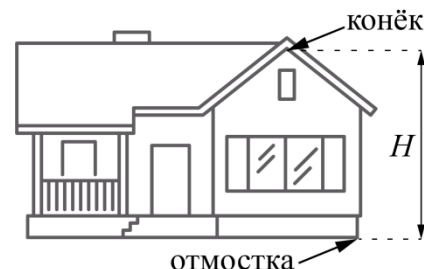
Полностью правильное решение, полученное неавторским методом, оценивается полным баллом. Недопустимо снижать оценку за «неправильное» оформление или неаккуратные записи.

Ответы
9 класс

9.1. С конька на отмостку. (Юдин И.С.) Однажды в осеннюю дождливую пору, теоретик Баг лежал на кушетке своей дачи и заметил, что капли падающие с конька крыши пролетают окно высотой 1,600 метра за 0,1600 секунды. Зная, что высота подоконника над поверхностью отмостки 1,368 метра, определите:

- а. с какой скоростью v капли падают на отмостку;
- б. высоту конька над отмосткой H .

Баг считает, что ускорение свободного падения равно 10 м/с^2 .



Возможное решение:

Капля летит равноускоренно, без начальной скорости. Средняя скорость пролёта окна $v_{\text{ср}} = h/\tau = 10 \text{ м/с}$.

И это же скорость, которой обладала капля в середине времени пролёта окна. Это следует из линейной зависимости скорости от времени.

Скорость у подоконника

$$v_{\text{п}} = v_{\text{ср}} + \tau g/2 = 10.8 \text{ м/с}$$

Скорость падения на отмостку найдём через ЗСЭ:

$$v = \sqrt{v_{\text{п}}^2 + 2gh_{\text{п}}} = 12 \text{ м/с}.$$

Применяем ЗСЭ ещё раз, теперь для всего времени движения:

$$H = \frac{v_{\text{к}}^2}{2g} = 7.2 \text{ м}.$$

Вариантов решения тут может быть много: авторский, через график зависимости скорости от времени с анализом площадей под графиком, через уравнения движения $h(t)$. В любом случае понадобятся 3 уравнения использующие 3 разных высоты - H , h , $h_{\text{п}}$.

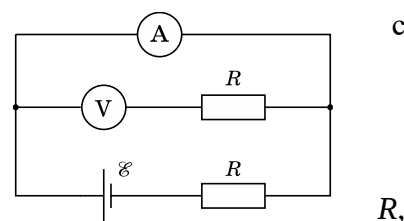
Критерии оценивания

№	Критерий	Балл
1	Уравнение связывающее высоту окна и время его пролёта капель	2
2	Уравнение связывающее высоту подоконника и конечную скорость	2
3	Уравнение связывающее высоту конька и конечную скорость	2
4	Правильно найдена конечная скорость (формула)	1
5	Правильно найдена конечная скорость (число)	1
6	Правильно найдена высота конька (формула)	1
7	Правильно найдена высота конька (число)	1
	max	10,0

Примечание для жюри

Полностью правильное решение, полученное неавторским методом, оценивается полным баллом. Недопустимо снижать оценку за «неправильное» оформление или неаккуратные записи. Численный ответ без единиц измерения не оценивается.

9.2. Разные показания.(Зайцев Р.В.) На рисунке показана схема двумя одинаковыми резисторами сопротивлением R каждый, идеальным источником с напряжением $\mathcal{E}$, идеальным амперметром и идеальным вольтметром.



- Определите показания идеальных приборов.
- Если амперметр неидеален и имеет сопротивление то чему равно его показание?
- Если амперметр неидеален и имеет сопротивление R , то чему равно показание вольтметра?
- Если амперметр и вольтметр неидеальные и имеют сопротивления R каждый, то чему равно показание вольтметра?
- Если амперметр и вольтметр неидеальные и имеют сопротивления R каждый, то чему равно показание амперметра?

Возможное решение:

1) Через идеальный вольтметр ток не течёт. В этой цепи ток протекает от плюса источника через амперметр и нижний резистор на минус источника. Т.к. сопротивления идеальных амперметра и источника равны нулю, то согласно закону Ома сила тока равна:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R}.$$

Вольтметр показывает напряжение на амперметре.

$$U = IR = I \cdot 0 = 0.$$

2) Если амперметр неидеален, то:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + R_A} = \frac{\mathcal{E}}{2R}.$$

3) Тогда напряжение на амперметре:

$$U = IR = \frac{\mathcal{E}}{2}.$$

4) Теперь у нас сопротивление всех нагрузок равно R . Вольтметр в цепи стоит последовательно резистору. Этот участок стоит параллельно амперметру. Последовательно параллельному участку подключён резистор. Тогда общее сопротивление схемы:

$$R_o = \frac{(R_v + R)R_A}{(R_v + R) + R_A} + R = \frac{2RR}{3R} + R = \frac{5}{3}R.$$

Сила тока через источник:

$$I = \frac{3\mathcal{E}}{5R}.$$

Напряжение на параллельном участке:

$$U = \frac{3\mathcal{E}}{5R} \cdot \frac{2R}{3} = \frac{2}{5}\mathcal{E}.$$

Тогда сила тока в амперметре:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{2\mathcal{E}}{5R}.$$

5) Сила тока в цепи с вольтметром:

$$I = \frac{U}{2R} = \frac{\mathcal{E}}{5R}.$$

Тогда напряжение на вольтметре:

$$U = \frac{\mathcal{E}}{5R} R = \frac{1}{5}\mathcal{E}.$$

Критерии оценивания

№	Критерий	Балл
1	Правильные показания амперметра в вопросе <i>a</i>	1
2	Правильные показания вольтметра в вопросе <i>a</i>	1
3	Правильные показания амперметра в вопросе <i>b</i>	1
4	Правильные показания вольтметра в вопросе <i>c</i>	1
5	Найдено общее сопротивление цепи с неидеальными приборами	1
6	Найдена сила тока через источник	1
7	Найдено напряжение на параллельном участке	1
8	Правильные показания амперметра в вопросе <i>d</i>	1
9	Правильно найдена сила тока в цепи с вольтметром	1
10	Правильные показания вольтметра в вопросе <i>e</i>	1
	max	10,0

Примечание для жюри

Полностью правильное решение, полученное неавторским методом, оценивается полным баллом. Недопустимо снижать оценку за «неправильное» оформление или неаккуратные записи. Если п. 8 и 10 обоснованно выполнены, то предыдущие пункты 5-7 и 9 засчитываются, даже если они не выполнены в явном виде.

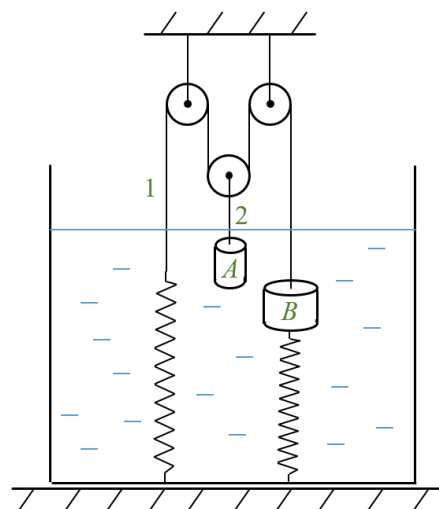
9.3. В аквариуме. (Киреев А.А.) Система, изображённая на рисунке, состоит из двух неподвижных и одного подвижного лёгких блоков, двух лёгких тонких нерастяжимых нитей 1 и 2, двух лёгких пружин одинаковой жёсткостью, прикрепленных одним концом ко дну аквариума, и двух массивных цилиндров А и В одинаковой плотностью и высотой, погруженных в жидкость. В цилиндрах нет полостей, масса цилиндра В в три раза больше массы цилиндра А. Система находится в состоянии равновесия, а абсолютное удлинение левой пружины равно x_1 . Определите:

- отношение сил натяжения нитей 1 и 2 $\alpha = T_1/T_2$;
- сжатие или удлинение правой пружины $|x_2|$.

Цилиндры А и В перевешивают, меняя их местами. В новом положении равновесия системы определите:

- отношение сил натяжения нитей 1 и 2 $\alpha' = T_1'/T_2'$;
- абсолютное удлинение левой пружины x_1' ;
- сжата или растянута правая пружина;
- абсолютное удлинение правой пружины x_2' ;
- на какое расстояние l сместилась ось подвижного блока после перевешивания цилиндров.

Известно, что до и после перевешивания грузов нити и пружины вертикальны, цилиндры целиком погружены в жидкость. Трением в системе можно пренебречь.



Возможное решение.

Введём обозначения: ρ – плотность тел, ρ_0 – плотность жидкости, m и $3m$ – массы цилиндров A и B соответственно; g – ускорение свободного падения, k – коэффициент жёсткости пружин. Откуда $V_A = \frac{m}{\rho}$ и $V_B = \frac{3m}{\rho}$ – объёмы цилиндров A и B соответственно, а значит $F_A = \rho_0 g \frac{m}{\rho}$ и $F_B = \rho_0 g \frac{3m}{\rho} = 3F_A$ – силы Архимеда, действующие на них.

До перевешивания грузов.

Из условия равновесия подвижного лёгкого блока $T_2 = 2T_1$, значит $\alpha = \frac{T_1}{T_2} = \frac{1}{2}$.

Из закона Гука $T_1 = kx_1$.

Запишем условия равновесия грузов A и B соответственно:

$$T_2 + F_A = mg; \quad (1)$$

$$T_1 + F_B = 3mg + kx_2, \quad (2)$$

где x_2 – удлинение второй пружины.

Из соотношений (1), (2) и $T_2 = 2T_1 = 2kx_1$; $F_B = 3F_A$ получаем $x_2 = -5x_1 < 0$. Значит, правая пружина сжата и $|x_2| = 5x_1$.

После перевешивания грузов.

Из условия равновесия подвижного лёгкого блока $T_2' = 2T_1'$, значит $\alpha' = \frac{T_1'}{T_2'} = \frac{1}{2}$.

Из закона Гука $T_1' = kx_1'$.

Запишем условия равновесия грузов B и A соответственно:

$$T_2' + F_B = 3mg; \quad (3)$$

$$T_1' + F_A = mg + kx_2', \quad (4)$$

где x_2' – удлинение второй пружины.

Из соотношений (1), (3), $T_2' = 2T_1' = 2kx_1'$, $T_2 = 2T_1 = 2kx_1$ и $F_B = 3F_A$ получаем $x_1' = 3x_1$.

Из соотношений (3), (4), $T_2' = 2T_1' = 2kx_1'$, $F_B = 3F_A$ и $x_1' = 3x_1$ находим $x_2' = x_1$. Значит, правая пружина растянута.

Левая пружина увеличила свою деформацию на $2x_1$, правая пружина увеличила свою деформацию на $6x_1$, а значит из условия нерастяжимости нити 1 приходим к выводу, что ось подвижного блока опустилась на $l = \frac{2x_1 + 6x_1}{2} = 4x_1$.

Критерии оценивания

№	Критерий	Балл
	Хотя бы раз правильно использована формула для силы Архимеда	0,5
	Хотя бы раз правильно использована формула для силы упругости	0,5
	Хотя бы раз правильно записано условие равновесия	0,5
	Обоснованный ответ на вопрос а	1

	Обоснованный ответ на вопрос <i>b</i>	1,5
	Обоснованный ответ на вопрос <i>c</i>	1
	Обоснованный ответ на вопрос <i>d</i>	1,5
	Обоснованный ответ на вопрос <i>e</i>	0,5
	Обоснованный ответ на вопрос <i>f</i>	1,5
	Обоснованный ответ на вопрос <i>g</i>	1,5
	max	10,0

Примечание для жюри

Полностью правильное решение, полученное неавторским методом, оценивается полным баллом. Недопустимо снижать оценку за «неправильное» оформление или неаккуратные записи. Под обоснованным подразумевается ответ полученный из правильно записанных условий равновесия тел.

9.4. Кубик ДФИ. (Клепиков М.С.) Согласно закону Ньютона-Рихмана, мощность P теплообмена между двумя телами пропорциональна площади S контактируемой поверхности и разности температур между телами:

$$P = \alpha S(T - T_0),$$

где α — некоторый размерный коэффициент.

а. Запишите единицы измерения коэффициента α в СИ.

В большом помещении с постоянной комнатной температурой T_0 на теплоизолированную поверхность поставили металлический куб со стороной b и исследовали зависимость его температуры от времени. Результаты представлены на рисунке 1.

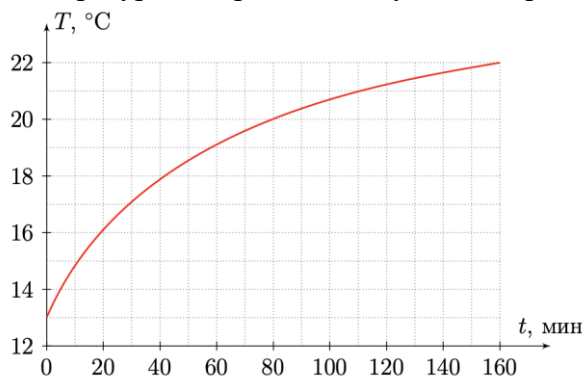


Рисунок 1

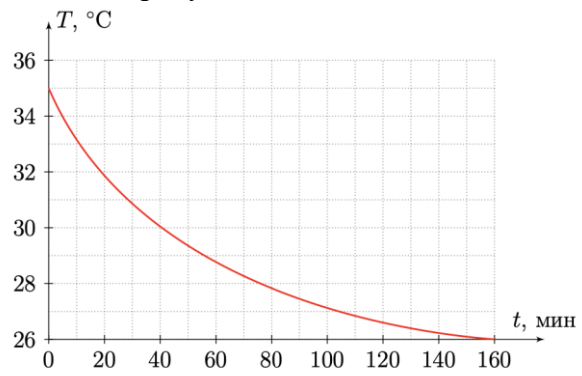


Рисунок 2

Опыт повторили, только теперь начальная температура куба была другой (см. рисунок 2). Оказалось, что графики двух зависимостей являются зеркальным отражением друг друга.

б. Чему равно значение комнатной температуры T_0 ?

В пунктах с - е будем считать, что мощность теплопотерь куба оставалась такой же, как и начальная мощность в реальном эксперименте.

с. Оцените время τ остывания куба во втором эксперименте до комнатной температуры в такой модели.

д. Считая удельную теплоемкость c и плотность ρ материала куба известными, оцените значение коэффициента α .

е. Повторим второй эксперимент, только в этот раз кубик подвесим на теплопроводящей нити вдали от других тел в том же помещении. Каким будет теперь время остывания τ_1 .

Возможное решение

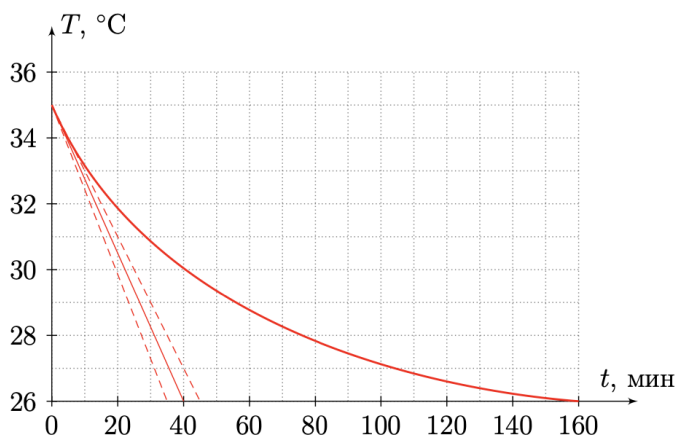
1. Выразим коэффициент α из закона

$$\alpha = \frac{P}{S(T - T_0)}, \quad [\alpha] = \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}} = \frac{\text{кг}}{\text{с}^3 \cdot ^\circ\text{C}}.$$

2. В силу симметрии графиков можно утверждать, что оба раза начальная разность температур была одинаковой по модулю и температура куба асимптотически приближалась к комнатной температуре, в данном случае получается, что к среднему значению начальных температур:

$$T_0 = \frac{13^\circ\text{C} + 35^\circ\text{C}}{2} = 24^\circ\text{C}.$$

3. Проведем касательную к графику в начальной точке:



При таком гипотетическом остывании для любого промежутка времени можно записать:

$$cm\Delta T = -\alpha S(T_1 - T_0)\Delta t.$$

Знак минус показывает, что $\Delta T < 0$. Заметим, что отношение $\Delta T/\Delta t$ — коэффициент наклона графика k , значит

$$cm(T_0 - T_1) = -\alpha S(T_1 - T_0)\tau.$$

Разделив последние два выражения, получим

$$\tau = -\frac{T_1 - T_0}{k} \approx 49 \text{ мин.}$$

Учитывая погрешность построения касательной, допустимы следующие результаты $\tau \in [43; 55]$ мин.

4. Вновь запишем

$$\begin{aligned} cm(T_0 - T_1) &= -\alpha S(T_1 - T_0)\tau, \\ c\rho b^3 &= \alpha 5b^2\tau, \\ \alpha &= \frac{c\rho b}{5\tau}. \end{aligned}$$

Обратим внимание, что площадь поверхности S кубика, которая контактировала с окружающим воздухом равна сумме площадей 5 его граней, так как он стоит на теплоизолированной поверхности.

5. Воспользуемся последним результатом, только учтем, что теперь кубик охлаждается через все 6 своих граней, а значит

$$\tau' = \frac{5}{6}\tau \approx 41 \text{ мин или } \tau' \in [35; 46] \text{ мин.}$$

Критерии оценивания

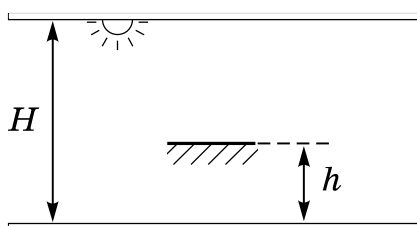
№	Критерий	Балл
1	Получены единицы измерения в любых правильных вариантах	1,0
2	Получено значение T_0 , опираясь на рассуждения о симметрии либо аналитически, либо используя построение обоих графиков на одной системе координат	1,5

3	Получен коэффициент наклона или в решении используется пропорция отношений $\Delta T/\Delta t$ для видимой части графика и для полного остывания	1,0
4	Использовано выражение $Q = cm\Delta T$	0,5
5	Получено выражение для τ	1,0
6	Численный ответ, попадающий в диапазон значений [43; 55] мин	0,5
7	Использовано выражение $m = \rho b^3$	0,5
8	Использовано выражение $S = 5b^2$	1,0
9	Получено уравнение $\alpha = \frac{c\rho b}{5\tau}$	1,0
10	Записан численный ответ $\alpha \in [2,4; 3,1] \frac{\text{кг}}{\text{с}^3 \cdot \text{оС}}$	0,5
11	Аргументированно показано, что мощность теплоотдачи увеличится в 1.2 раза или время τ уменьшится в 5/6 раз.	1,0
12	Записан ответ $\tau' \in [35; 46]$ мин	0,5
	max	10,0

Примечание для жюри

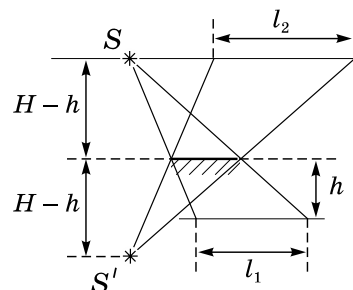
Полностью правильное решение, полученное неавторским методом, оценивается полным баллом. Недопустимо снижать оценку за «неправильное» оформление или неаккуратные записи. Если комнатная температура T_0 определена неверно, но дальнейшие рассуждения в аналитическом виде верные, то они оцениваются в соответствии с таблицей. Численные же значения для времени τ , коэффициента α и времени τ' (пункты 6, 10, 12) в таком случае не могут быть оценены (даже при случайном совпадении).

9.5. Г. Оптика. (Вергунов А.Ю.) В комнате высотой H на потолке висит лампа. Плоское круглое зеркало расположено параллельно полу на некоторой высоте (см. рисунок). Расстояние между двумя наиболее удаленными точками тени от зеркала в два раза больше, чем максимальное расстояние между двумя точками «зайчика» на потолке. Найдите на каком расстоянии h от пола расположено зеркало. Лампу считайте точечным источником света.



Возможное решение.

Выполним необходимые геометрические построения для нахождения границ тени и «зайчика». Лампу заменим точечным источником S , тогда S' – его изображение в зеркале. Пусть d – диаметр зеркала, l_1 – расстояние между двумя наиболее удаленными точками тени от зеркала, l_2 – максимальное расстояние между двумя точками «зайчика» на потолке. Из подобия треугольников получаем:



$$\frac{l_2}{2(H-h)} = \frac{d}{H-h};$$

$$\frac{l_1}{H} = \frac{d}{H - h}.$$

Разделим уравнения друг на друга и учтем, что по условию $l_1 = 2l_2$:

$$\frac{H}{H - h} = 4;$$

$$h = 0,75H$$

Критерии оценивания

№	Критерии оценивания (10 баллов)	Баллы
1	Правильные геометрические построения, для определения границ тени	1,5
2	Правильные геометрические построения, для определения границ «зайчика»	1,5
3	Записаны верные соотношения, полученные из подобия треугольников с вершиной S' (или верные аналогичные выражения)	3,0
4	Записаны верные соотношения, полученные из подобия треугольников с вершиной S (или верные аналогичные выражения)	3,0
5	Решение системы уравнений и численно верный ответ для h	1,0

Примечание для жюри

Полностью правильное решение, полученное неавторским методом, оценивается полным баллом. Недопустимо снижать оценку за «неправильное» оформление или неаккуратные записи.

Ответы 10 класс

10.1. **С конька на отмокту. (Зайцев Р.В.)** Шарик толкнули вверх по наклонной плоскости с начальной скоростью $v_0 = 12$ м/с. В течение второй секунды движения направление скорости шарика не менялось и совпадало с направлением начальной скорости, а модуль его перемещения оказался равен $s_2 = 4,5$ м. Определите:

- а. ускорение шарика, считая его постоянным;
- б. через какое время после толчка шарик остановился;
- с. путь, пройденный шариком за третью секунду.

Возможное решение.

1) Интервал времени в одну секунду обозначим τ . Тогда перемещение шарика за вторую секунду:

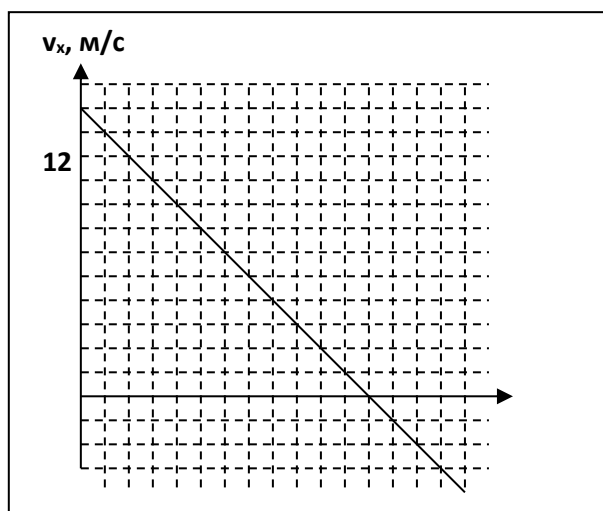
$$s_2 = \left(v_0 2\tau - \frac{a(2\tau)^2}{2} \right) - \left(v_0 \tau - \frac{a\tau^2}{2} \right) = v_0 \tau - \frac{3a\tau^2}{2};$$

$$a = \frac{2(v_0 \tau - s_2)}{3\tau^2} = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

2) Время остановки найдём через формулу мгновенной скорости:

$$0 = v_0 - aT \Rightarrow T = \frac{v_0}{a} = 2,4 \text{ с}.$$

3) Для упрощения дальнейшего решения построим график зависимости проекции скорости шарика на ось Ox , сонаправленную с начальной скоростью, от времени:



В течение третьей секунды шарик меняет направление своего движения. Участки путей вверх и вниз по плоскости находим как площади под графиком:

$$l_1 = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 0,4 = 0,4(\text{м});$$

$$l_2 = \frac{1}{2} \cdot 3 \cdot 0,6 = 0,9(\text{м}).$$

Тогда путь шарика за третью секунду $l_3 = l_1 + l_2 = 1,3 \text{ м}$.

Критерии оценивания

№	Критерий	Балл
---	----------	------

1	Использовано уравнение равноускоренного движения	1
2	Использовано уравнение скорости при РУД	1
3	Получено выражение для перемещения за 2ю секунду	2
4	Найдено ускорение (по 0,5 баллов за формулу и число)	1
5	Найдено время остановки	1
6	Установлено, что за 3ю секунду тело меняет направление движения	1
7	Найден путь за 3ю секунду	3
	max	10,0

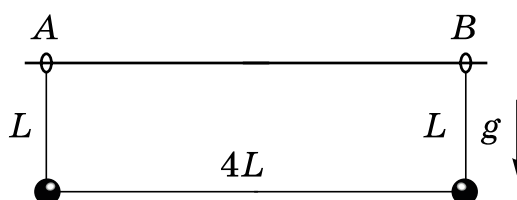
Примечание для жюри

Полностью правильное решение, полученное неавторским методом, оценивается полным баллом.

Недопустимо снижать оценку за «неправильное» оформление или неаккуратные записи.

Численные ответы без единиц измерения не засчитываются.

10.2. Бусы Ньютона. (Вергунов А.Ю.) На горизонтальный стержень надеты маленькие невесомые колечки A и B , которые могут без трения перемещаться по стержню. К колечкам прикреплена невесомая нить. На нить надеты две одинаковые массивные маленькие бусинки, которые могут без трения перемещаться по нити. В начальный момент бусинки удерживают так, что нить натянута, длина ее горизонтального участка $4L$, длина каждого вертикального участка L . Бусинки одновременно отпускают. Считая известным ускорение свободного падения g , найдите:



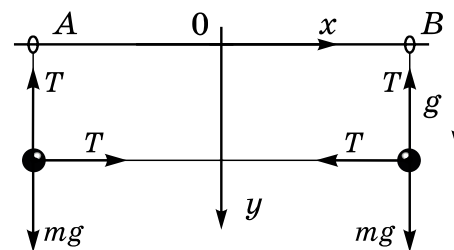
- координаты первой встречи бусинок;
- ускорения каждой из бусинок;
- время, через которое бусинки впервые встретятся;
- путь, который пройдет каждая бусинка до встречи.

Возможное решение

На каждое из колечек действуют только две вертикальные силы: сила натяжения нити T и сила нормальной реакции опоры N со стороны стержня. Так как колечки невесомы на них не может действовать некомпенсированная горизонтальная сила, следовательно не может появиться проекции силы натяжения нити на горизонтальную ось. Таким образом вертикальные участки нити, прикрепленные к кольцам, в любой момент времени движения будут оставаться вертикальными.

В силу симметрии участок нити, соединяющий бусинки, все время движения до встречи будет оставаться горизонтальным (бусинки одинаковые, модуль силы натяжения везде одинаковый).

Расставим силы, действующие на бусинки в произвольный момент времени, и введем декартову систему координат (ось y направлена вниз, ось x направлена вправо, начало координат по середине между начальными положениями бусинок).



На систему не действуют никакие внешние горизонтальные силы, а значит, по теореме о движении центра масс, центр масс системы может перемещаться только вдоль одной вертикали. Тогда координаты первой встречи $(0;3L)$, так как общая длина всей нити $6L$.

Рассмотрим правую бусинку. Её координаты в произвольный момент времени $(x;y)$, тогда половину длины нити в любой момент времени движения можно представить в виде:

$$3L = x + y;$$

$$y = 3L - x.$$

Таким образом из уравнения траектории движения правой бусинки видно, что движение будет происходить по прямой, наклоненной под углом 45° к горизонту. Аналогичными рассуждениями можем получить, что характер движения левой бусинки будет таким же.

Запишем второй закон Ньютона в проекциях на Oxy для правой бусинки:

$$-ma_x = -T;$$

$$ma_y = mg - T.$$

Так как полное ускорение направлено под углом 45° к горизонту $a_x = a_y$, тогда:

$$T = \frac{mg}{2};$$

$$a_x = \frac{g}{2};$$

$$a_0 = \frac{a_x}{\cos(45^\circ)} = \frac{g}{\sqrt{2}}.$$

Найдем время, через которое произойдет встреча:

$$x = 2L = \frac{a_x t^2}{2};$$

$$t = \sqrt{\frac{4L}{a_x}} = \sqrt{\frac{8L}{g}}.$$

Путь, который пройдет бусинка:

$$s = \frac{2L}{\cos(45^\circ)} = 2\sqrt{2}L.$$

Время движения, модуль ускорения и путь левой бусинки такие же, как у правой.

Критерии оценивания

№	Критерии оценивания (10 баллов)	Баллы
1	Доказательство того, что вертикальные участки нити, всегда остаются вертикальными	1,0
2	Доказательство того, что горизонтальный участок нити, всегда остается горизонтальным	1,0
3	Доказательство того, что центр масс движется по одной вертикали (или аналогичные утверждения)	0,5
4	Найдены верные координаты встречи	1,0
5	Найдено уравнение движения для одной из бусинок (при отсутствии баллов за пункты 1 и 2 не оценивать)	1,0

6	Утверждение, что полное ускорение направлено под углом 45° к горизонту	1,0
7	Записан второй закон Ньютона (или аналогичное верное выражение)	1,0
8	Найдено полное ускорение	1,0
9	Найдено время, через которое произойдет встреча	1,0
10	Найден путь, который проходит бусинка	1,0
11	Указание на то, что для второй бусинки все ответы аналогичные	0,5

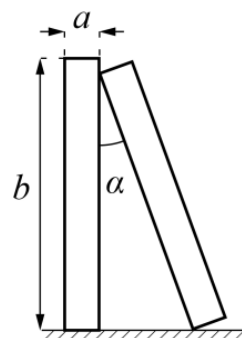
Примечание для жюри

Полностью правильное решение, полученное неавторским методом, оценивается полным баллом. Недопустимо снижать оценку за «неправильное» оформление или неаккуратные записи.

Постучим костяшками. (Яворский В.А.) Две одинаковые костяшки домино стоят на шероховатой поверхности – костяшка A стоит вертикально, костяшка B – под углом α , опираясь ребром на грань костяшки A . При каких углах α система будет находиться в равновесии?

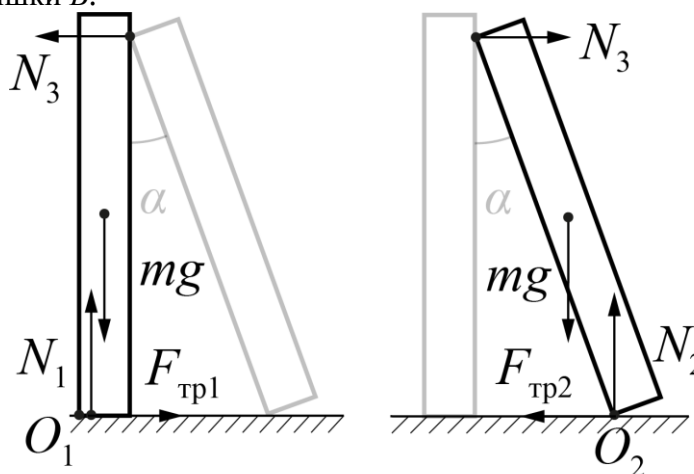
Высота костяшки – a , ширина – b ($b \ll a$), масса – m , коэффициент трения между костяшками и поверхностью – μ . Коэффициент трения между костяшками пренебрежимо мал. Система находится в однородном поле сил тяготения с ускорением свободного падения g .

НА РИСУНКЕ БЫЛИ ПЕРЕПУТАНЫ a и b . ЕСЛИ РЕБЕНОК ИСПОЛЬЗОВАЛ В РЕШЕНИИ ОБОЗНАЧЕНИЯ С РИСУНКА, ОЦЕНИВАЕМ В ПОЛНОЙ МЕРЕ.



Возможное решение.

Пусть mg – сила тяжести, N_1 – сила нормальной реакции опоры со стороны поверхности на фишку A , N_2 – сила нормальной реакции опоры со стороны поверхности на фишку B , N_3 – сила реакции опоры между фишками, $F_{\text{тр}1}$ – сила трения покоя для фишки A , $F_{\text{тр}2}$ – сила трения покоя для фишки B .



Условие равновесия для фишки A :

$$\text{По вертикали: } N_1 = mg \quad (1)$$

$$\text{По горизонтали: } N_3 = F_{\text{тр}1} = \mu N_1 \leq \mu mg \quad (2)$$

Уравнение равенства моментов сил относительно точки O_1 , с учётом того, что при перевороте точка приложения силы N_1 сместится к O_1 :

$$N_3 \cdot a \cos \alpha = mg \frac{b}{2} \quad (3)$$

Подставляя (2) в (3), получаем:

$$mg \frac{b}{2} \leq \mu mg \cdot a \cos \alpha ;$$

$$\cos \alpha \geq \frac{b}{2\mu a} ;$$

$$0 < \alpha \leq \arccos \left(\frac{b}{2\mu a} \right). \quad (4)$$

Решение существует при $\frac{b}{a} < 2\mu$.

Условие равновесия для фишки B :

По вертикали: $N_2 = mg$ (5)

По горизонтали: $N_3 = F_{\text{тр}2} = \mu N_2 \leq \mu mg$ (6)

Уравнение равенства моментов сил относительно точки O_2 :

$$N_3 \cos \alpha \cdot a + mg \cos \alpha \cdot \frac{b}{2} = mg \sin \alpha \cdot \frac{a}{2} \quad (7)$$

Подставляя (6) в (7), получаем:

$$mg \sin \alpha \cdot \frac{a}{2} \leq \mu mg \cos \alpha \cdot a + mg \cos \alpha \cdot \frac{b}{2} ;$$

$$a \sin \alpha \leq (2\mu a + b) \cos \alpha ;$$

$$\operatorname{tg} \alpha \leq 2\mu + \frac{b}{a} ;$$

$$0 < \alpha \leq \arctg \left(2\mu + \frac{b}{a} \right). \quad (8)$$

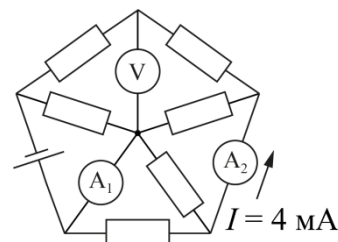
Конечное решение является пересечением интервалов (4) и (8).

№	Критерий	Балл
1	Сделан рисунок с расстановкой сил, или иначе описаны все силы с точками приложения	1
2	Два условия равновесия на силы для костяшки A	1
3	Правило моментов для костяшки A	1
4	Получено первое неравенство на угол α или его тригонометрическую функцию	2
5	Два условия равновесия на силы для костяшки B	1
6	Правило моментов для костяшки B	1
7	Получено второе неравенство на угол α или его тригонометрическую функцию	2
8	Указано, что ответ должен удовлетворять одновременно двум неравенствам	1
	max	10,0

Примечание для жюри

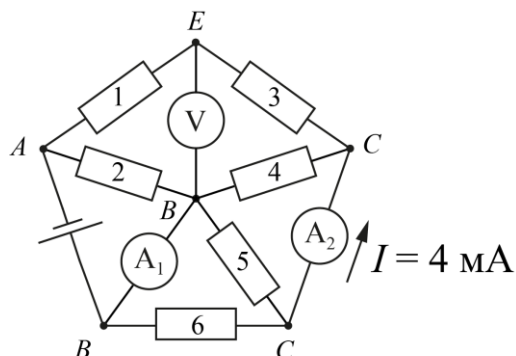
Полностью правильное решение, полученное неавторским методом, оценивается полным баллом. Недопустимо снижать оценку за «неправильное» оформление или неаккуратные записи.

10.4.Однажды в схеме... (Жигар А.Н.) В цепи, схема которой изображена на рисунке, все приборы идеальные. Сопротивления всех резисторов одинаковы и равны 1 кОм . Через второй амперметр течет ток силой 4 мА . Найдите показания приборов и напряжение идеального источника.

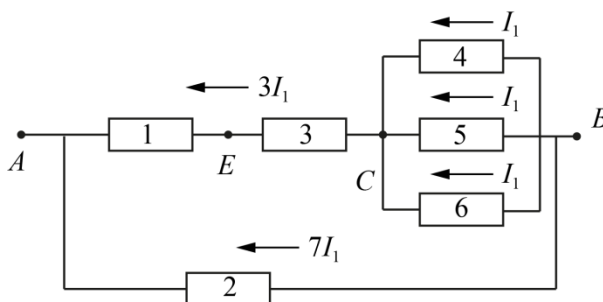


Возможное решение:

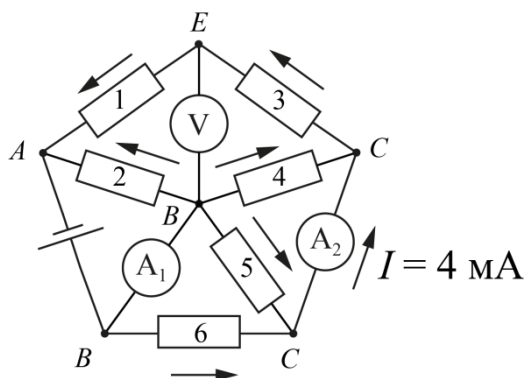
Так как приборы идеальные амперметры можно считать перемычками, а через вольтметры ток не идет. Перерисуем схему.



Расставим токи с учетом свойств последовательного и параллельного соединения резисторов.



Вернемся к изначальной схеме и перенесём токи через резисторы.



В узел C входит ток $2I_1$. Значит $I = 2I_1$; $I_1 = 2\text{ мА}$. Ток через первый амперметр будет равен $I_{A1} = 9I_1 = 18\text{ мА}$. Напряжение на вольтметре $U_V = U_3 + U_4 = I_1 R + 3I_1 R = 4\text{ В}$. Напряжение источника будет равно напряжению на втором резисторе $U_{\text{и}} = 7I_1 R = 14\text{ В}$.

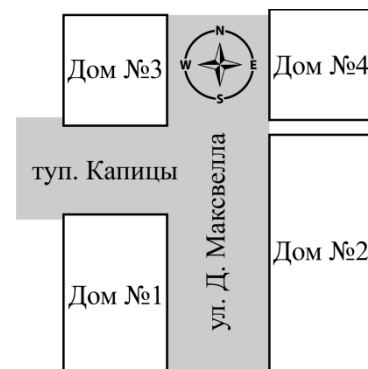
Критерии оценивания

№	Критерий	Балл
1	Использованы свойства идеальных приборов	1
2	Получено соотношение сил токов в разных резисторах 1:3:7	2
3	На исходной схеме верно расставлены направления всех текущих через резисторы токов	2
4	Установлена связь между токами через резисторы и известным током	2
5	Правильно найдены показания первого амперметра (по 0,5 б за формулу и значение)	1
6	Правильно найдены показания вольтметра (по 0,5 б за формулу и значение)	1
7	Правильно найдено напряжение источника (по 0,5 б за формулу и значение)	1
	max	10,0

Примечание для жюри

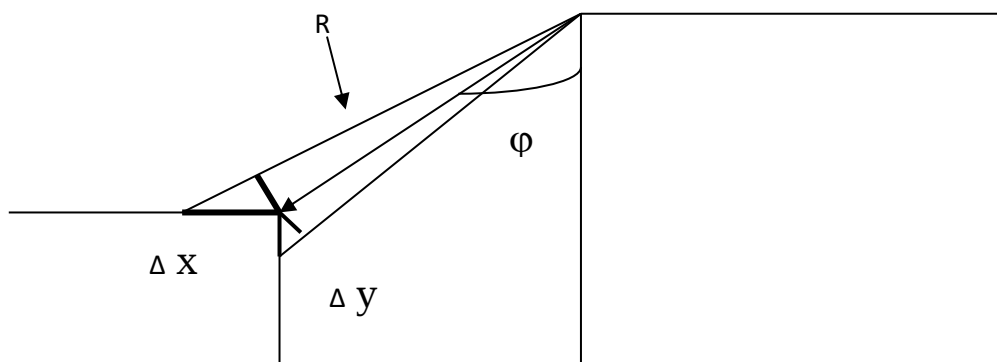
Полностью правильное решение, полученное неавторским методом, оценивается полным баллом. Недопустимо снижать оценку за «неправильное» оформление или неаккуратные записи. Численные ответы без единиц измерения не засчитываются.

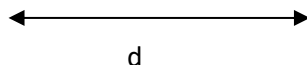
10.5. Тень на плетень. (Кармазин С.В.) В ясное летнее утро, когда продолжительность суток стала равной T , вертикальная граница тени от дома №2 движется вблизи угла дома №1 по его восточной стене со скоростью v_1 , а перейдя на его северную стену, со скоростью v_2 . Чему равна ширина улицы Д.Максвелла?



Возможное решение

Пусть между углами домов расстояние R , а угол между западной стеной дома №2 и направлением кратчайшего расстояния между углами домов равен φ (рис.2)





Пусть за время Δt солнечный луч поворачивается на угол $\Delta\varphi$. Тогда по восточной стене дома №1 он пройдет расстояние

$$\Delta y = \frac{R\Delta\varphi}{\sin\varphi} \Rightarrow V_1 = \frac{R\Delta\varphi}{\Delta t \sin\varphi} = \frac{R\omega}{\sin\varphi} \quad (1)$$

где ω – угловая скорость поворота солнечного луча, т.е. угловая скорость вращения Земли.

Аналогично для северной стороны

$$V_2 = \frac{R\Delta\varphi}{\Delta t \cos\varphi} = \frac{R\omega}{\cos\varphi} \quad (2)$$

Таким образом $\operatorname{tg}\varphi = V_2/V_1$

Из (1) выразим $R = \frac{V_1 \sin\varphi}{\omega}$

Ширина улицы $d = R \sin\varphi = \frac{V_1 \sin^2\varphi}{\omega}$

Так как $\sin^2\varphi = \frac{\tan^2\varphi}{1 + \tan^2\varphi}$, $\omega = \frac{2\pi}{T}$

Окончательный ответ $d = T \frac{V_1 V_2^2}{2\pi(V_1^2 + V_2^2)}$

Критерии оценивания

№	Критерий	Балл
1	Получена связь скорости v_1 и угловой скорости/периода суточного движения Солнца	2
2	Получена связь скорости v_2 и угловой скорости/периода суточного движения Солнца	2
3	Получена связь скоростей с углом φ	2
4	Получена связь искомой ширины улицы с углом φ	2
5	Получен ответ	2
	max	10,0

Примечание для жюри

Полностью правильное решение, полученное неавторским методом, оценивается полным баллом. Недопустимо снижать оценку за «неправильное» оформление или неаккуратные записи.

11.1.Дырявый барометр. (Кармазин С.В.) Закрытая с одного конца трубка ртутного барометра имеет площадь внутреннего сечения $S = 1 \text{ см}^2$ и выступает над поверхностью ртути на $L = 1 \text{ м}$. Уровень ртути в трубке установился выше уровня ртути в открытой части барометра на $h = 750 \text{ мм}$, а остальная часть трубки пуста. Температура в лаборатории $T = 27^\circ\text{C}$. В результате случайного удара по трубке (выше уровня ртути) в ней образовалась микротрещина, через которую начал поступать воздух со скоростью $\mu = 10^{16}$ молекул в секунду. С какой скоростью v начал опускаться уровень ртути в трубке сразу после удара? Плотность ртути $\rho = 13600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, постоянная Больцмана $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$, ускорение свободного падения $g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

Возможное решение:

В исправном барометре

$$P_0 = \rho gh \quad (1)$$

где P_0 – атмосферное давление. За малое время Δt после удара в пространство над ртутью поступило $N = n\Delta t$ молекул воздуха, в результате чего в этом пространстве возникло давление P_1 , а уровень ртути опустился на малую величину $\Delta h \ll (L-h)$

$$P_0 = P_1 + \rho g(h - \Delta h) \quad (2)$$

Вычитаем (1) из (2)

$$P_1 = \rho g\Delta h \quad (3)$$

Согласно уравнению Менделеева-Клапейрона $P_1 V = NkT = \mu \Delta t kT$,

где $V = S(L - h)$ объем пространства над ртутью (увеличением объема вследствие опускания уровня ртути пренебрегаем из-за малости Δh). Окончательно, $\rho g\Delta h = \frac{n\Delta t kT}{S(L-h)}$.

Искомая скорость

$$v = \frac{\Delta h}{\Delta t} = \frac{n k T}{S(L-h)\rho g}$$

Подстановка численных значений приводит к результату $v = 0,012 \frac{\text{мм}}{\text{с}}$.

Критерии оценивания

№	Критерий	Балл
1	Атмосферное давление связано с высотой начального столба	1
2	Изменение давления в трубке связано с изменением высоты столба	1
3	Использовано уравнение Менделеева-Клапейрона	2
4	Получена зависимость количества молекул воздуха в трубке от времени	1
5	Использована формула для объёма пространства над ртутью	1
6	Получен ответ в виде формулы	3

7	Получен численный ответ	1
	max	10,0

Примечание для жюри

Полностью правильное решение, полученное неавторским методом, оценивается полным баллом.

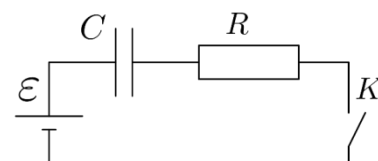
Недопустимо снижать оценку за «неправильное» оформление или неаккуратные записи.

Численный ответ без единиц измерения не оценивается.

11.2.Заряженный конденсатор. (Кутелев К.А.) В цепи, схема которой изображена на рисунке, известна ЭДС $\mathcal{E}$ идеальной батареи, ёмкость конденсатора C , обе пластины которого имеют начальный положительный заряд q_0 ($q_0 < \mathcal{E}C$), и сопротивление резистора R .

В начальный момент ключ K разомкнут. Затем его замыкают. Определите:

- силу тока I_0 в цепи сразу после замыкания ключа K ;
- силу тока I_1 , идущего через источник в момент, когда пластины конденсатора начнут притягиваться друг к другу.



Возможное решение.

В начальный момент времени заряды на пластинах конденсатора одинаковые, значит они создают внутри одинаковые по модулю, но противоположные по направлению напряжённости. Значит результирующая напряжённость равна 0 и разность потенциалов (напряжение) между обкладками равна нулю.

Закон Кирхгофа запишется в виде $\mathcal{E} - I_0 R = 0$, откуда $I_0 = \frac{\mathcal{E}}{R}$

Пластины начнут притягиваться, когда заряд одной из них станет равным 0 (то есть изменится на q_0). Заряд второй половины увеличится тоже на q_0 , и станет равным $2q_0$.

Рассмотрим напряжённость внутри конденсатора. Её создаёт только

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} = \frac{2q_0}{2S\epsilon_0}$$

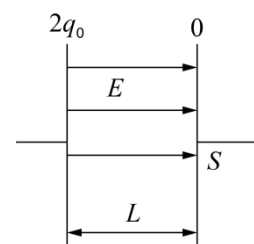
обкладка с зарядом $2q_0$. Напряжённость равна

$$E = \frac{U}{L}$$

С другой стороны,

$$U = EL = \frac{q_0 L}{\epsilon_0 S} = \frac{q_0}{C}$$

Значит



Закон Кирхгофа запишется в виде $\mathcal{E} - U - I_1 R = 0$, откуда $I_1 = \frac{\mathcal{E} - U}{R} = \frac{\mathcal{E} - \frac{q_0}{C}}{R}$

Критерии оценивания

№	Критерий	Балл
1	Получено начальное напряжение на конденсаторе (0)	2
2	Найден начальная сила тока	1
3	Указано условие начала притягивания пластин	1
4	Найдены заряды на обкладках в момент начала притяжения	2
5	Найдено напряжение на конденсаторе в момент начала притяжения	3
6	Найдена сила тока в момент начала притяжения	1
	max	10,0

Примечание для жюри

Полностью правильное решение, полученное неавторским методом, оценивается полным баллом.

Недопустимо снижать оценку за «неправильное» оформление или неаккуратные записи.

11.3. **Дизель. (Клепиков М.С.)** Идеальный цикл, который предложил ~~Вин~~ Рудольф Дизель, состоит из четырёх процессов:

- 1-2 адиабатное сжатие рабочего тела;
- 2-3 изобарный подвод теплоты к рабочему телу;
- 3-4 адиабатное расширение рабочего тела;
- 4-1 изохорное охлаждение рабочего тела.

Под «рабочим телом» для упрощения будем понимать идеальный газ. Используя относительные величины давления и объёма (p_0 и V_0 считать известными) на графике и, приняв количество вещества рабочего тела за ν , ответьте на следующие вопросы:

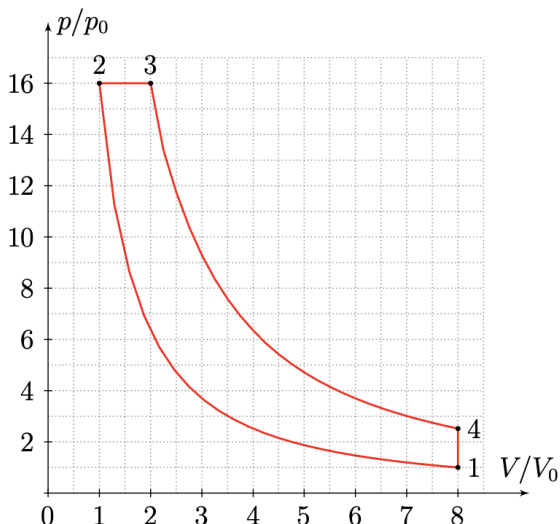
- Какова минимальная температура T_{min} газа за весь цикл?
- Чему равна работа газа A за цикл? Давление в точке 4 считайте известным и равным $p_4 = 2,5p_0$. Здесь и в следующем пункте считайте число i степеней свободы газа известным.
- Найдите КПД η такого цикла.

Для описания зависимости давления газа от его объёма на адиабатных участках графика можно использовать уравнение Пуассона:

$$pV^\gamma = \text{const},$$

где $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$ — показатель адиабаты (c_p, c_v — молярные теплоёмкости газа при постоянном давлении и при постоянном объёме соответственно).

- Теперь, считая i неизвестным, найдите численное значение γ .
- Чему равно i ?



Возможное решение

- Поскольку в процессе сжатия 1-2 температура газа растёт, значит начальная точка 1 как раз соответствует минимальной температуре, значит из уравнения состояния идеального газа получим

$$T_{min} = \frac{8p_0V_0}{\nu R}.$$

Остальные участки графика соответствуют более высоким значениям произведений координат, что пропорционально температуре газа.

- Исходя из первого начала термодинамики, работа газа за цикл

$$A = A_{12} + A_{23} + A_{34} + A_{41} = -\Delta U_{12} + p_3(V_3 - V_2) - \Delta U_{34} + 0.$$

Изменения внутренней энергии на других участках:

$$\Delta U_{12} = -\frac{i}{2}\nu R(T_2 - T_1) = -\frac{i}{2}(p_2V_2 - p_1V_1) = -4ip_0V_0.$$

$$\Delta U_{34} = -\frac{i}{2}\nu R(T_4 - T_3) = -\frac{i}{2}(p_4V_4 - p_3V_3) = 6ip_0V_0.$$

В итоге

$$A = (16 + 2i)p_0V_0.$$

- Для КПД цикла осталось найти подведенное за цикл количество теплоты от нагревателя. Поскольку на адиабатных участках, по определению, теплообмен отсутствует, значит газ получал тепло только в изобарном процессе 2-3, значит

$$Q = Q_{23} = c_p\nu(T_3 - T_2) = \left(\frac{i}{2} + 1\right)R\nu(T_3 - T_2) = \left(\frac{i}{2} + 1\right)16p_0V_0.$$

$$\eta = \frac{A}{Q} = \frac{(16 + 2i)p_0V_0}{\left(\frac{i}{2} + 1\right)16p_0V_0} = \frac{8 + i}{8 + 4i}.$$

- Применим уравнение Пуассона для процесса 1-2:

$$p_1 V_1^\gamma = p_2 V_2^\gamma, \quad \frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^\gamma, \text{ откуда } \gamma = \log_{\frac{V_2}{V_1}} \frac{p_1}{p_2} = \log_{\frac{1}{8}} \frac{1}{16} = \frac{4}{3}.$$

5. Воспользуемся известными значениями $c_p = c_v + R$, где $c_v = \frac{i}{2}R$ и получим

$$\gamma = \frac{i+2}{i}, \text{ откуда } i = \frac{2}{\gamma-1} = 6.$$

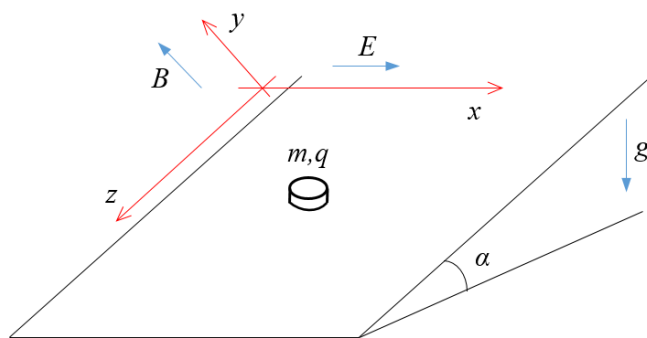
Критерии оценивания

№	Критерий	Балл
1	Аргументированное нахождение T_{min}	1
2	Использовано первое начало термодинамики для 4 процессов (возможно без доказательства сразу написаны работы газа на участках) по 0,5 балла за каждое правильное значение работы	2
3	Найдена работа газа за цикл	0,5
4	Формула для КПД	1
5	Найдено количество теплоты, подведенное от нагревателя	1
6	Найдено КПД	0,5
7	Применение уравнения Пуассона для любого из адиабатных процессов	1
8	Получено значение показателя адиабаты	1
9	Выведено или использовано готовое выражение для показателя адиабаты через число степеней свободы	1
10	Получен ответ для i . Если для расчетов был использован процесс 3-4, то ответ может незначительно отличаться	1

Примечание для жюри

Полностью правильное решение, полученное неавторским методом, оценивается полным баллом. Недопустимо снижать оценку за «неправильное» оформление или неаккуратные записи. Численный ответ без единиц измерения не оценивается.

11.4. По наклонной. (Киреев А.А.) На протяжённой наклонной плоскости с углом наклона α удерживают небольшой диск массой m и с зарядом q ($q > 0$). Коэффициент трения между диском и наклонной плоскостью μ . Напряженность E однородного электрического поля направлена по параллельной плоскости горизонтальной оси Ox , индукция B однородного магнитного поля направлена по оси Oy , перпендикулярной наклонной плоскости (см. рисунок). Диск отпускают. В момент сразу после того как диск отпустили, определите:



- силу нормальной реакции опоры N ;
 - угол β между осью Oz и направлением силы трения;
 - при каком минимальном значении коэффициента трения μ_{min} диск не начнёт двигаться;
- В предположении, что $\mu < \mu_{min}$, в момент сразу после того как диск отпустили, определите:
- силу трения $F_{тр}$;
 - начальное ускорение a_0 ;
- В предположении, что $\mu < \mu_{min}$, в установившемся режиме при движении с постоянной скоростью определите:
- скорость установившегося движения $v_{уст}$;
 - работу A_M , которую совершают магнитные силы за время τ ;
 - количество теплоты Q , которое выделяется в системе за время τ .

Ускорение свободного падения g . Ось Oz параллельна плоскости и перпендикулярна оси Ox .

Решение.

Разложим силу тяжести, действующую на диск, на составляющие $mg\sin\alpha$ и $mg\cos\alpha$ вдоль осей Oz и Oy соответственно.

Из второго закона Ньютона в проекции на ось Oy : $0 = N - mg\cos\alpha$ или $N = mg\cos\alpha$.

Сразу после того, как диск отпустили.

В начальный момент скорость диска равна нулю, а значит сила со стороны магнитного поля также равна нулю, и три силы имеют отличные от нуля составляющие в плоскости xOz – составляющая силы тяжести $mg\sin\alpha$, сила со стороны электрического поля qE и сила трения $F_{\text{тр}} \leq \mu N = \mu mg\cos\alpha$ (см. рисунок).

Если $\mu > \mu_{\min}$ брусок будет оставаться неподвижным, а значит из условия равновесия и геометрии рисунка $F_{\text{тр}} = \sqrt{(qE)^2 + (mg\sin\alpha)^2}$ и $\tan\beta = \frac{qE}{mg\sin\alpha}$. С учётом того, что $F_{\text{тр}} \leq \mu mg\cos\alpha$, находим $\mu_{\min} = \frac{\sqrt{(qE)^2 + (mg\sin\alpha)^2}}{mg\cos\alpha}$.

Если $\mu < \mu_{\min}$ брусок начнёт двигаться с ускорением, направленным вдоль суммы составляющей силы тяжести $mg\sin\alpha$ и силы со стороны электрического поля qE . Сила трения $F_{\text{тр}} = \mu N = \mu mg\cos\alpha$ будет направлена против начальной скорости (а значит и начального ускорения). С учётом этого и второго закона Ньютона в проекции на данное направление получаем:

$$ma_0 = \sqrt{(qE)^2 + (mg\sin\alpha)^2} - \mu mg\cos\alpha, \text{ значит } a_0 = \sqrt{\left(\frac{qE}{m}\right)^2 + (g\sin\alpha)^2} - \mu g\cos\alpha.$$

В установившемся режиме при движении с постоянной скоростью.

При движении с установившейся скоростью v_y на диск наряду с упомянутыми ранее силами при скольжении будет действовать и сила со стороны магнитного поля $F_M = qv_y B$, направленная перпендикулярно скорости. Работы такая сила не совершает, значит $A_M = 0$. Сила нормальной реакции при движении диска также работы не совершает.

Так как скорость диска постоянная, то из теоремы об изменении кинетической энергии следует, что мощность потенциальных сил $P_{\text{п}}$ (силы тяжести и силы со стороны электрического поля) в сумме с мощностью силы трения $P_{\text{тр}}$ равна нулю: $P_{\text{п}} + P_{\text{тр}} = 0$. С другой стороны, мощность потенциальных сил равна мощности тепловыделения $P_{\text{тр}} = \frac{Q}{\tau}$.

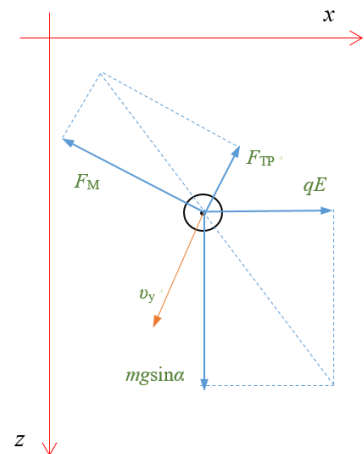
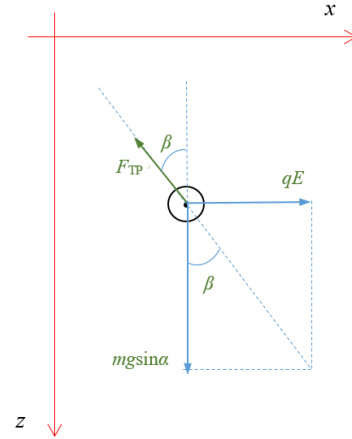
Откуда получаем $P_{\text{тр}} = -F_{\text{тр}}v_y = -\mu mg\cos\alpha v_y = -\frac{Q}{\tau}$. То есть $Q = \mu mg\cos\alpha v_y \tau$.

Осталось найти установившуюся скорость v_y . При таком движении четыре силы будут иметь отличные от нуля составляющие в плоскости xOz – составляющая силы тяжести $mg\sin\alpha$, сила со стороны электрического поля qE , сила трения $F_{\text{тр}} = \mu mg\cos\alpha$, направленная против v_y , и сила со стороны магнитного поля $F_M = qv_y B$ (см. рисунок). Сумма сил при движении с установившейся скоростью равна нулю. Значит модуль векторной суммы составляющей силы тяжести и силы со стороны электрического поля равен модулю векторной суммы силы трения и силы со стороны магнитного поля:

$$\sqrt{(qE)^2 + (mg\sin\alpha)^2} = \sqrt{(qv_y B)^2 + (\mu mg\cos\alpha)^2}, \text{ откуда } v_y = \frac{\sqrt{(qE)^2 + (mg\sin\alpha)^2} - \mu mg\cos\alpha}{qB}.$$

Ответы:

а) $N = mg\cos\alpha$;



- б) $\operatorname{tg} \beta = \frac{mg \sin \alpha}{qE}$;
- в) $\mu_{\min} = \frac{\sqrt{(qE)^2 + (mg \sin \alpha)^2}}{mg \cos \alpha}$;
- г) $F_{\text{тр}} = \mu mg \cos \alpha$;
- д) $a_0 = \sqrt{\left(\frac{qE}{m}\right)^2 + (g \sin \alpha)^2} - \mu g \cos \alpha$;
- е) $v_y = \frac{\sqrt{(qE)^2 + (mg \sin \alpha)^2 - (\mu mg \cos \alpha)^2}}{qB}$;
- ж) $A_M = 0$;
- з) $Q = \mu mg \cos \alpha v_y \tau$, где v_y из пункта е).

Критерии оценивания

№	Критерий	Балл
1	Получен аргументированный ответ на вопрос <i>a</i>	1
2	Получен аргументированный ответ на вопрос <i>b</i>	1
3	Получен аргументированный ответ на вопрос <i>c</i>	1.5
4	Получен аргументированный ответ на вопрос <i>d</i>	1
5	Получен аргументированный ответ на вопрос <i>e</i>	1.5
6	Получен аргументированный ответ на вопрос <i>f</i>	2
7	Получен аргументированный ответ на вопрос <i>g</i>	1
8	Получен аргументированный ответ на вопрос <i>h</i>	1
	max	10,0

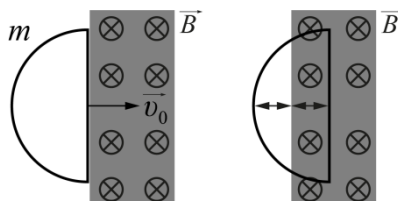
Примечание для жюри

Полностью правильное решение, полученное неавторским методом, оценивается полным баллом. Недопустимо снижать оценку за «неправильное» оформление или неаккуратные записи.

11.5. Много Пи. (Кутелев К.А) Из проволоки массой m , длиной l и сопротивлением R изготовили контур в виде половины окружности с диаметром. В начальный момент времени, контуру сообщили скорость v_0 , вектор которой перпендикулярен диаметру и лежит в плоскости контура (см. рис.). В процессе движения проволоочная конструкция заехала в область однородного магнитного поля с индукцией B_0 , вектор которой перпендикулярен плоскости контура, а начальная скорость v_0 перпендикулярна границе магнитного поля. Через некоторое время контур остановился, заехав в поле на половину радиуса. Определите:

- начальную кинетическую энергию контура W_0 ;
- ускорение контура a_0 в момент пересечения диаметром границы области с магнитным полем;
- количество теплоты Q , выделившееся в контуре к моменту остановки;
- заряд q , прошедший по контуру за время движения.

Действием гравитационных сил пренебречь.



Возможное решение

- По определению начальная кинетическая энергия $W_0 = \frac{mv_0^2}{2}$

2) При попадании контура в магнитное поле, начинает меняться поток поля, что приводит к возникновению ЭДС индукции $\varepsilon = \frac{d\Phi}{dt}$ (знак пока не учитываем). В контуре

возникает электрический ток, сила которого равна $I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{d\Phi}{Rdt}$. Наличие тока

приводит к возникновению силы Ампера, тормозящей движение контура.

В начальный момент времени в магнитном поле находится только диаметр контура. Его можно найти приравняв периметр контура к длине проволоки:

$$l = \frac{\pi D}{2} + D \Rightarrow D = \frac{l}{\frac{\pi}{2} + 1}$$

Скорость изменения потока в начальный момент времени:

$$\frac{d\Phi}{dt} = B \frac{dS}{dt} = B v_0 D$$

$$\text{Сила Ампера: } F_A = IBD = \frac{d\Phi}{Rdt} BD = \frac{B^2 v_0}{R} D^2 \Rightarrow a_0 = \frac{B^2 v_0}{mR} \left(\frac{l}{\frac{\pi}{2} + 1} \right)^2$$

3) К моменту вся механическая энергия перейдёт в тепловую $Q = W_0 = \frac{m v_0^2}{2}$

4) Прошедший через контур заряд пропорционален изменению потока:

$$I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{d\Phi}{Rdt}$$

$$I = \frac{dq}{dt} = \frac{d\Phi}{Rdt} \Rightarrow \Delta q = \frac{\Delta\Phi}{R} = \frac{B}{R} \Delta S$$

Изменение площади - это площадь той части контура, которая оказалась в поле. Её можно найти как сумму площадей двух секторов по 30 градусов и двух прямоугольных треугольников:

$$\Delta S = 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot \frac{\pi D^2}{4} + 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{D}{4} \cdot \frac{\sqrt{3}D}{4} = D^2 \left(\frac{\pi}{24} + \frac{\sqrt{3}}{16} \right) = l^2 \left(\frac{2\pi + 3\sqrt{3}}{48} \right) \frac{1}{\left(\frac{\pi}{2} + 1 \right)^2}$$

$$\Delta S = l^2 \left(\frac{2\pi + 3\sqrt{3}}{48} \right) \frac{1}{\left(\frac{\pi}{2} + 1 \right)^2} \approx 0.036 l^2$$

$$\text{И заряд } \Delta q = l^2 \left(\frac{2\pi + 3\sqrt{3}}{48} \right) \frac{1}{\left(\frac{\pi}{2} + 1 \right)^2} \frac{B}{R} \approx 0.036 \frac{B}{R} l^2$$

Критерии оценивания

№	Критерий	Балл
1	Дан правильный ответ на 1й вопрос	0,5
2	Использовано определение ЭДС индукции	1
3	Использован закон Ома	1
4	Использовано определение силы Ампера	1
5	Геометрический размер контура связан с длиной проволоки	1
6	Найдена ЭДС индукции в начальный момент	1
7	Найдено начальное ускорение	1
8	Дан правильный ответ на 3й вопрос	1
9	Установлена связь заряда с изменением потока магнитного поля	1

10	Найдено изменение площади	1
11	Дан правильный ответ на 4й вопрос	0,5
	max	10,0

Примечание для жюри

Полностью правильное решение, полученное неавторским методом, оценивается полным баллом. Недопустимо снижать оценку за «неправильное» оформление или неаккуратные записи. Вместо ЭДС индукции возможно использование холловского напряжения.