



**Профиль:** Физика («Профессор Жуковский»)

**Предмет:** Физика

**Класс:** 11, вариант 1

Решения

1. (8 баллов) «Горе-экспериментаторы» решили изготовить линзу из подручных материалов для получения огня. Нашли два сферических тонких стекла разных радиусов, соединили их, как показано на рисунке, и залили пространство между ними водой. Проверили систему, она сработала. Воду из линзы вылили и опустили линзу в большую емкость с керосином, так, что внутрь линзы керосин не попал. Как и во сколько раз изменилась оптическая сила системы? Показатель преломления воды принять равным 1,33, воздуха 1, керосина 1,39.



**Решение:**

Используем уравнение шлифовщика:

$$D_1 = \left( \frac{n_{\text{воды}}}{n_{\text{воздуха}}} - 1 \right) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

$$D_2 = \left( \frac{n_{\text{воздуха}}}{n_{\text{керосина}}} - 1 \right) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

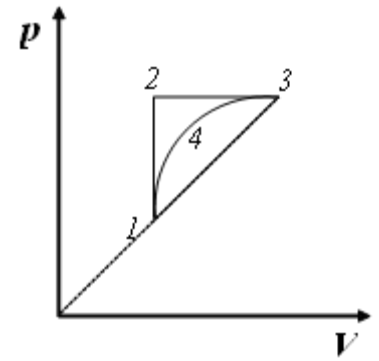
Следовательно,  $\frac{D_2}{D_1} = \frac{\left( \frac{n_{\text{воды}}}{n_{\text{воздуха}}} - 1 \right)}{\left( \frac{n_{\text{воздуха}}}{n_{\text{керосина}}} - 1 \right)} = -1,18$

Получим, что линза из собирающей, стала рассеивающей.

## КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ РЕШЕНИЯ

- 1) Не выполнен ни один пункт, приведенный ниже, и/или просто записан верный ответ – 0 баллов
- 2) Записана формула шлифовщика – 2 балла
- 3) Верно применена формула шлифовщика в двух случаях – 4 балла
- 4) Верно применена формула шлифовщика в двух случаях. Получено отношение для оптических сил, но нет указания на сменный тип линзы – 6 баллов
- 5) Получен верный ответ на вопрос задачи, с учетом всех предыдущих пунктов – 8 баллов.

2. (10 баллов) Двухатомный идеальный газ участвует в процессах 1-2-3-1 и 1-4-3-1, графики которых изображены на  $p(V)$  диаграмме. Кривая процесса 1-4-3 представляет из себя дугу окружности. Известно, что термодинамические КПД циклов:  $\eta_1$  и  $\eta_2$ . Найдите отношение работ, совершаемых в циклах 1-2-3-1 и 1-4-3-1.



**Решение:**

В циклах 1-2-3-1 и 1-4-3-1 процесс 3-1 является общим и одновременно холодильником.

$$\eta_i = \frac{A_i}{A_i + Q_x} \Rightarrow Q_x = \frac{A_i(1 - \eta_i)}{\eta_i}$$

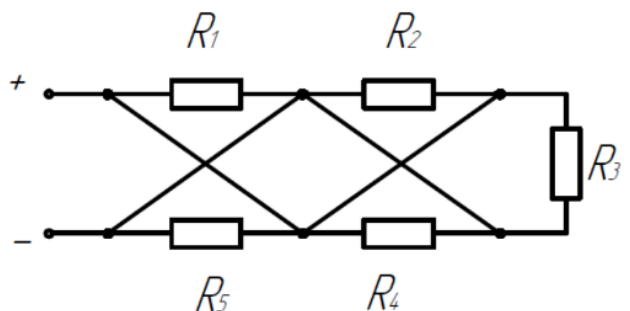
$$\frac{A_1(1 - \eta_1)}{\eta_1} = \frac{A_2(1 - \eta_2)}{\eta_2}$$

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{\eta_1(1 - \eta_2)}{\eta_2(1 - \eta_1)}$$

### КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ РЕШЕНИЯ

- 1) Не выполнен ни один пункт, приведенный ниже, и/или просто записан верный ответ – 0 баллов
- 2) Записана формула КПД тепловой машины через тепло холодильника – 3 балла
- 3) Записана формула КПД тепловой машины через тепло холодильника. Указано, что отводимое количество теплоты одинаково в циклах – 5 баллов
- 4) Записана формула КПД тепловой машины через тепло холодильника. Указано, что отводимое количество теплоты одинаково в циклах. Получено выражение для отношения работ, но допущена вычислительная ошибка – 8 баллов
- 5) Получен верный ответ на вопрос задачи, с учетом всех предыдущих пунктов – 10 баллов

3. Рассчитать эквивалентное сопротивление цепи постоянного тока, представленной на рисунке, если сопротивления при нормальных условиях равны  $R_1 = 1 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 2 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 3 \text{ Ом}$ ,  $R_4 = 4 \text{ Ом}$ ,  $R_5 = 5 \text{ Ом}$ .



Во сколько раз изменится сопротивление схемы с повышением температуры до  $50^\circ$ , если резисторы выполнены из меди, а температурный коэффициент меди равен 0,043. Сопротивлением соединительных проводов можно пренебречь. Ответ округлить до сотых.

**Решение:**

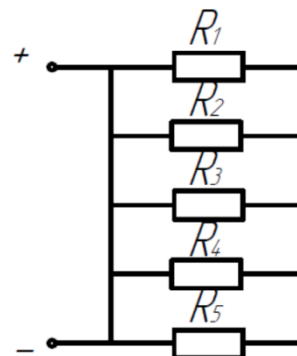
$$\frac{1}{R_{\text{ЭКВ}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} = \frac{1}{1} + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \frac{1}{5} = \frac{137}{60},$$

$$R_{\text{ЭКВ}} = \frac{60}{137} = 0,44 \text{ Ом.}$$

$$R_{\text{ЭКВ}}(50^\circ) = R_{\text{ЭКВ}} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T) = 0,44 \cdot (1 + 0,043 \cdot 50) = 1,39 \text{ Ом,}$$

Сопротивление увеличится в  $\frac{1,39}{0,44} = 3,16$  раза.

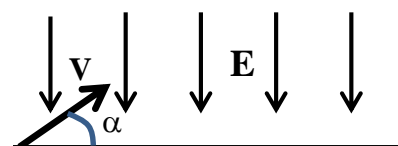
Ответ: 0,44 Ом, в 3,16 раза.



### КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ РЕШЕНИЯ

- 1) Не выполнен ни один пункт, приведенный ниже, и/или просто записан верный ответ – 0 баллов
- 2) Верно представлена формула расчета эквивалентного сопротивления – 4 балла
- 3) Верно рассчитано эквивалентное сопротивление с точностью до  $\pm 0,03$  Ом – 6 баллов
- 4) Верно представлена формула расчета сопротивления с изменением температуры – 8 баллов
- 5) Верно рассчитано изменение эквивалентного сопротивления с точностью до  $\pm 0,03$  – 10 баллов

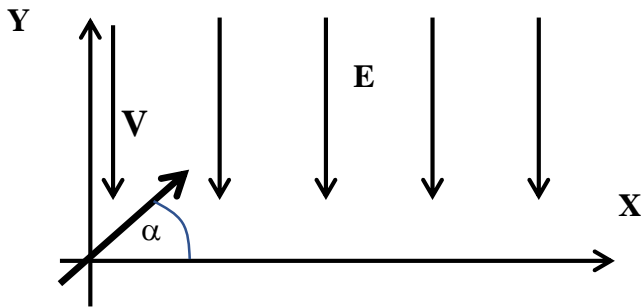
4. (12 баллов) В области полупространства с плоской границей создано электрическое поле, векторы напряжённости которого направлены перпендикулярно к границе (см. рис), а их величина



прямо пропорциональна расстоянию до границы. В эту область под некоторым углом  $\alpha$  к границе влетает положительно заряженная микрочастица. Определите тангенс величины этого угла, если известно, что частица вылетела из области на расстоянии (от точки входа вдоль плоскости границы) в 2 раза большем, чем максимальное расстояние, на которое частица углубилась в область поля. Излучением и влиянием силы тяжести пренебречь.

**Решение:**

Вводим систему координат – ось  $X$  вдоль границы, а ось  $Y$ - перпендикулярно направлена вглубь области с электрическим полем.



Зависимость величины напряженности  
 $E = \beta \cdot y$

Второй закон Ньютона вдоль оси  $Y$   
 $ma_y = -\beta \cdot y$ , откуда следует уравнение

колебаний  $a_y = -\frac{\beta}{m} \cdot y$ , с циклической  
 частотой  $\omega = \sqrt{\frac{\beta}{m}}$ , и периодом  $T = \frac{2\pi}{\omega}$ .

Пусть  $L_1$  – максимальная глубина проникновения в область поля от границы. Т.к. на границе области у частицы положение равновесия, то это амплитуда колебаний вдоль оси  $Y$ . Поэтому максимальная скорость вдоль оси  $Y$  равна  $V \cdot \sin \alpha = \omega \cdot L_1$ .

Пусть  $L_2$  - расстояние от точки входа вдоль плоскости границы до точки выхода.

По оси  $X$  нет ускорения:  $V \cdot \cos \alpha = \frac{L_2}{t_{\text{движ}}}$ , частица вылетит из области через половину периода

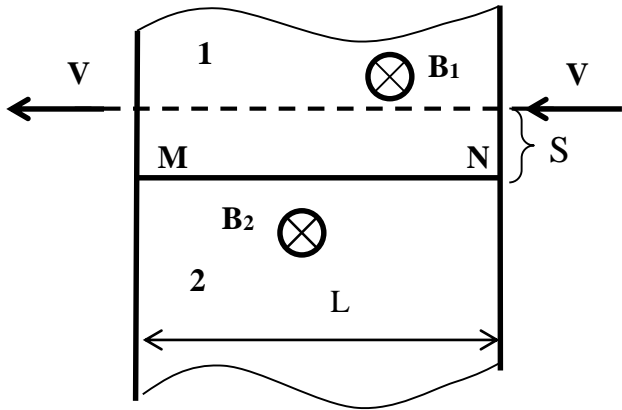
$t_{\text{движ}} = \frac{T}{2} = \frac{\pi}{\omega}$ , поэтому  $V \cdot \cos \alpha = \frac{\omega L_2}{\pi}$ . Следовательно,  $\text{tg} \alpha = \frac{V \cdot \sin \alpha}{V \cdot \cos \alpha} = \frac{\omega \cdot L_1}{\left(\frac{\omega L_2}{\pi}\right)} = \pi \frac{L_1}{L_2}$ .

ВАРИАНТ	ОТВЕТ
1	$\pi/2$

### КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ РЕШЕНИЯ

- 1) Не выполнен ни один пункт, приведенный ниже, и/или просто записан верный ответ – 0 баллов
- 2) Задана величина напряженности поля как функция расстояния от границы. Записано уравнение движения частицы в форме второго закона Ньютона. Введены расстояния вдоль границы и вглубь области электрического поля – 3 балла
- 3) Описано колебательное движение частицы – указана частота, период, амплитуда – 6 баллов
- 4) Получены выражения для проекций скорости – 9 баллов
- 5) Получен верный ответ на вопрос задачи – 12 баллов

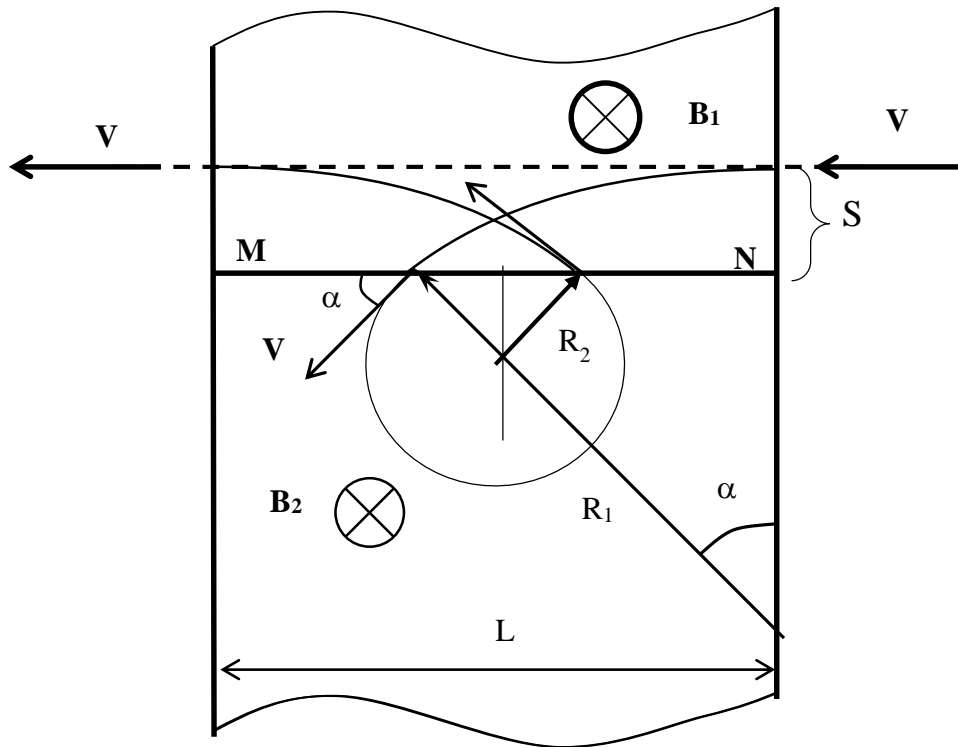
5. (16 баллов) Положительно заряженная микрочастица, при движении справа налево по прямой траектории (см. рис), влетает в область, где создано магнитное поле. Эта область имеет форму длинной полосы ширины  $L$ , перпендикулярной к траектории частицы. Она состоит из двух частей 1 и 2, в каждой из которых создано однородное магнитное поле, а векторы полей  $B_1$  и  $B_2$  направлены от наблюдателя и перпендикулярно к вектору скорости частицы. Граница частей  $MN$  параллельна траектории частицы. Частица влетает в область 1 на расстоянии  $S$  от границы  $MN$  и



вылетает из магнитного поля, двигаясь по той же траектории. Известно, что при движении в магнитном поле частица один раз побывала в области 2. Определите отношение ширины полосы магнитного поля  $L$  к расстоянию  $S$  при условии, что время движения частицы в области 1 в 6 раз больше времени её движения в области 2, а отношение величин индукций полей равно  $B_2/B_1 = 3$ . Считать, что области полей имеют четкие границы, излучением и влиянием силы тяжести пренебречь.

Итак, частица движется из области 1 в область 2, совершает один полный оборот (или часть оборота) и возвращается в область 1. Поскольку время в области 1 в 6 раз больше, чем в области 2, и  $B_2/B_1 = 3$ , можно найти радиусы и периоды движения.

**Решение:**



*Радиусы и периоды движения частиц в однородном магнитном поле*

$$R_1 = \frac{mv}{qB_1}, \quad R_2 = \frac{mv}{qB_2}, \quad T_1 = \frac{2\pi m}{qB_1}, \quad T_2 = \frac{2\pi m}{qB_2}$$

$$k = \frac{B_2}{B_1}, \quad \frac{R_1}{R_2} = \frac{B_2}{B_1} = k$$

Ширина полосы и расстояние до границы MN

$L = 2(R_1 - R_2) \sin \alpha$ ,  $S = R_1(1 - \cos \alpha)$ , где  $\alpha$  - угол между вектором скорости границей

Времена движения частицы в областях 1 и 2

$$t_1 = \frac{\alpha}{2\pi} T_1 = \frac{2\alpha}{2\pi} \frac{2\pi m}{qB_1} = 2\alpha \frac{m}{qB_1}, \quad t_2 = \frac{2(\pi - \alpha)}{2\pi} T_2 = \frac{2(\pi - \alpha)}{2\pi} \frac{2\pi m}{qB_2} = 2(\pi - \alpha) \frac{m}{qB_2}$$

Отношение времен и величина угла

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{\alpha}{(\pi - \alpha)} \frac{B_2}{B_1} = \frac{\alpha}{(\pi - \alpha)} k = n, \quad \alpha = \frac{n\pi}{k + n},$$

Окончательный ответ

$$\frac{L}{S} = 2 \left( 1 - \frac{R_2}{R_1} \right) \frac{\sin \alpha}{(1 - \cos \alpha)},$$

Вариант	k	n	$\alpha$	L/S
1	3	6	$2\pi/3$	0.769800359

### КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕШЕНИЯ ПРИ ПРОВЕРКЕ

- 1) Не выполнен ни один пункт, приведенный ниже, и/или просто записан верный ответ – 0 баллов
  - 2) Записаны формулы для радиуса траектории и периода движения частицы в однородном магнитном поле. Определено отношение радиусов траекторий и/или периодов через отношение индукций полей – 4 балла
  - 3) Сделан рисунок траектории частицы в каждой части, введены углы поворота векторов скорости на границе MN. Определены формулы для ширины L и расстояния S – 8 баллов
  - 4) Определены времена движения частицы в каждой части поля через их периоды. Найдено отношение времен движения. Получено выражение для угла поворота вектора скорости – 12 баллов
  - 5) Найден полный ответ на поставленный в задаче вопрос – 16 баллов
6. (24 балла) Атмосфера некоторой планеты состоит из плотного облака неподвижной, относительно планеты, звездной пыли. Для исследования данной планеты был отправлен надежный космический аппарат «шарик», массой  $M$ , и имеющий форму сферы, радиусом  $R$ . Опускаясь на поверхность планеты «шарик» двигался равномерно со скоростью  $v$  с выключенными двигателями. Забирая

небольшие порции «звездной пыли» из атмосферы планеты, «шарик» установил, что плотность пыли зависит от расстояния до центра планеты  $r$  по закону  $\rho = \frac{\alpha}{r^2}$ ,  $\alpha$  - известная константа. Найдите по данным собранным «шариком» массу планеты. Считать удары пылинок о космический аппарат абсолютно упругими.

**Решение:**

Перейдем в систему отсчета, связанную с шаром. Тогда пылинки будут «налетать» на шар со скоростью  $v$ .

Поскольку сфера – симметричная фигура, вклад в силу взаимодействия пылинок с шаром будут давать только «налетающие» импульсы. При суммировании импульсов «отлетающих» получится ноль.

Тогда по ЗИИ получим:  $N_{iy} = \frac{m_i v}{t}$ , где  $m_i$  – масса  $i$ -ой пылинки, а  $N_{iy}$  – проекция силы реакции опоры, действующей на  $i$ -ю пылинку.

По 3-му закону Ньютона:  $\sum N_{iy} = F$ , где  $F$  – сила, действующая на шар со стороны всех пылинок.

$$\text{Получим: } F = \sum N_{iy} = \sum \frac{m_i v}{t} = \sum \frac{\rho V_i v}{t} = \rho v \sum \frac{V_i}{t} = \rho v S \sum \frac{h_i}{t} = \rho S v^2$$

$\sum V_i$  – объем всех сбитых пылинок, а следовательно, равен объему цилиндра –  $Sh = \pi r^2 h$ ,  $h$  – высота цилиндра.

$$\text{По второму закону Ньютона: } F - G \frac{Mm}{r^2} = 0$$

$$\text{Получим, } m = \frac{F}{G \frac{M}{r^2}} = \frac{\pi \alpha r^2 v^2}{GM}$$

## КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ РЕШЕНИЯ

- 1) Не выполнен ни один пункт, приведенный ниже, и/или просто записан верный ответ – 0 баллов
- 2) Указано, что равномерное движение достигается за счет равенства сил: гравитационного взаимодействия с планетой и силы, взаимодействия с пылинками – 6 баллов
- 3) Указано, что равномерное движение достигается за счет равенства сил: гравитационного взаимодействия с планетой и силы, взаимодействия с пылинками. Осуществлен переход в новую систему отсчета, связанную с «шариком». Записан закон изменения импульса для пылинок, и указан спектр налета (описано или словами, или на рисунке, что суммарный импульс отлета равен нулю), соответственно изменение импульса равно налетающему – 12 баллов
- 4) Указано, что равномерное движение достигается за счет равенства сил: гравитационного взаимодействия с планетой и силы, взаимодействия с пылинками. Осуществлен переход в новую систему отсчета, связанную с «шариком». Записан закон изменения импульса для пылинок, и указан спектр налета (описано или словами, или на рисунке, что суммарный импульс

отлета равен нулю). Найдена масса пыли, сбитой «шариком» в зависимости от расстояния до центра планеты – 18 баллов

\*Допускается, что в силе гравитационного взаимодействия указано расстояние, включающее радиус «шарика».

5) Получен верный ответ, с учетом всех предыдущих пунктов – 24 балла



### Ситуационная задача

В медицине часто используются суспензии – вещества, представляющие собой взвесь твердых частиц в жидкости. В лаборатории проводится исследование суспензии, полученной на основе воды. Для опыта взяли суспензию, высота столба которой равна 0,2 м. В начальный момент времени частицы сферической формы распределены в жидкости равномерно. Плотность материала частиц  $2800 \text{ кг/м}^3$ . В таблице приведены диаметральные размеры частиц и массовые доли фракций, полученные в начальный момент времени

$d, \text{ мм}$	$q, \%$
0,1	25
0,01	35
0,001	40

В течение какого времени после встряхивания можно набрать суспензию шприцом, не касаясь дна сосуда, чтобы в шприце оказались частицы всех имеющихся размеров? Каким должен стать дисперсный состав (массовые доли частиц каждого размера) осадка через 5 секунд после начала сепарации суспензии методом отстаивания, если принять, что в данном опыте все частицы находятся в равновесном состоянии?

#### Дополнительные сведения:

Коэффициент гидродинамического сопротивления движущейся в жидкости сферической частицы  $C_y$  равен 0,4. Сила сопротивления  $Y = SC_y\rho \frac{v^2}{2}$ , где  $S$  – площадь поперечного сечения частицы,  $C_y$  – коэффициент лобового сопротивления,  $\rho$  – плотность жидкости,  $v$  – скорость оседания частицы.

#### Решение:

Рассмотрим движение частицы на установившемся режиме. На частицу действуют силы, показанные схематично на рисунке 1:

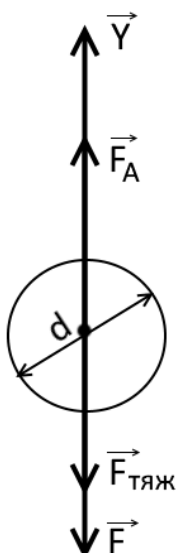


Рис. 1 Расчётная схема

Здесь  $F_{\text{тяж}}$  – сила тяжести,  $F_A$  – сила Архимеда,  $Y$  – сила сопротивления,  $F$  – результирующая сила.

Запишем силы, действующие на частицу.

Сила тяжести:

$$F_{\text{тяж}} = mg,$$

где  $m$  – масса частички, которая может быть найдена как:

$$m = \rho_{\text{ч}} V_{\text{ч}},$$

где  $\rho_{\text{ч}}$  – плотность материала частички,  $V_{\text{ч}}$  – объём частички.

Т.к. частица имеет сферическую форму, то объём находится по формуле для объёма шара:

$$V_{\text{ч}} = \frac{1}{6} \pi d^3$$

Окончательно для силы тяжести:

$$F_{\text{тяж}} = \frac{1}{6} \rho_{\text{ч}} \pi g d^3$$

Сила Архимеда:

$$F_A = \rho_{\text{в}} g V_{\text{ч}},$$

где  $\rho_{\text{в}}$  – плотность воды.

С учётом записанного ранее объёма частицы:

$$F_A = \frac{1}{6} \rho_{\text{в}} g \pi d^3$$

Сила сопротивления:

$$Y = S C_y \rho_{\text{в}} \frac{v^2}{2},$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения частички,  $C_y$  – коэффициент лобового сопротивления,  $v$  – скорость оседания частички. Учитывая, что площадь поперечного сечения может быть найдена как:

$$S = \frac{\pi}{4} d^2$$

Выражение для силы сопротивления примет вид:

$$Y = \frac{\pi}{8} C_y \rho_B d^2 v^2$$

Установившийся режим характеризуется тем, что частицы оседают с постоянной скоростью. Следовательно, ускорение равно нулю. Поэтому второй закон Ньютона в проекции на вертикальную ось запишется в виде:

$$F_{\text{тяж}} - F_A - Y = 0$$

или

$$\frac{gd}{3} (\rho_{\text{ч}} - \rho_B) = \frac{1}{4} C_y \rho_B v^2$$

Выражая из полученного выражения скорость как функцию диаметра частицы, получим:

$$v = 2 \sqrt{\frac{\rho_{\text{ч}} - \rho_B}{3C_y \rho_B} gd}$$

Подставив известные величины, получим:

$$v = 7,672\sqrt{d}$$

Соответственно, время оседания той или иной фракции, это время, за которое частички, находящиеся на уровне зеркала жидкости, окажутся на дне, т.е:

$$T = \frac{h}{v} = \frac{h}{7,672\sqrt{d}}$$

где  $h$  – высота столба жидкости,  $v$  – скорость оседания.

С учётом численного значения высоты столба жидкости:

$$T = \frac{0,2}{7,672\sqrt{d}} = \frac{0,026}{\sqrt{d}}$$

Вычислим время полного оседания для каждой фракции и сведём результаты в таблицу:

$d$ , мм	$T$ , с
0,1	2,6
0,01	8,22
0,001	26

Можно заметить, что в течение первых 2,6 с после встряхивания ни один из видов частиц не осядет полностью.

Очевидно, что масса осевших частиц прямо пропорциональна времени. Поэтому долю осевших частиц каждой фракции можно оценить следующим образом:

$$1) d = 0,1 \text{ мм}$$

Поскольку время сепарации больше времени оседания частиц данного размера, то на дне окажутся все 100% данной фракции. Поэтому:

$$q'_{0,1} = q_{0,1} = 25\%,$$

где  $q_{0,1}$  – начальная доля частиц диаметром 0,1 мм

$$2) d = 0,01 \text{ мм}$$

Для этого размера частиц время полного оседания оказалось больше времени сепарации, поэтому доля осевших частиц находится как:

$$q'_{0,01} = q_{0,01} \frac{\tau}{T_{0,01}},$$

где  $\tau$  – время сепарации,  $T_i$  – время оседания соответствующей фракции. Численно:

$$q'_{0,01} = 35 \cdot \frac{5}{8,22} = 21,29\%$$

$$2) d = 0,001 \text{ мм}$$

Аналогично предыдущему случаю

$$q'_{0,001} = q_{0,001} \frac{\tau}{T_{0,001}}$$

$$q'_{0,001} = 40 \cdot \frac{5}{26} = 7,69\%$$

Массовые доли частиц каждой фракции в осадке находятся по формуле:

$$q''_i = \frac{q'_i}{q'_{0,1} + q'_{0,01} + q'_{0,001}} = \frac{q'_i}{25 + 21,29 + 7,69} = \frac{q'_i}{53,98},$$

где  $q'_i$  – доля осевших частиц каждой фракции. Вычислим это значение для каждой фракции и сведём результат в таблицу:

$d, \text{ мм}$	$q'', \%$
0,1	46,313
0,01	39,441
0,001	14,246

**Ответ:** 2,6 с; таблица.



## Критерии оценивания олимпиадной работы

**Профиль:** Физика («Профессор Жуковский»)

**Предмет:** Физика

**Класс:** 11, вариант 1

### Задание 1 (максимальная оценка 8 б.)

Критерий (выбрать соответствие одному критерию)	Балл
Не выполнен ни один пункт, приведенный ниже, и/или просто записан верный ответ.	0
Записана формула шлифовщика.	2
Верно применена формула шлифовщика в двух случаях.	4
Верно применена формула шлифовщика в двух случаях. Получено отношение для оптических сил, но нет указания на сменный тип линзы.	6
Получен верный ответ на вопрос задачи, с учетом всех предыдущих пунктов.	8

### Задание 2 (максимальная оценка 10 б.)

Критерий (выбрать соответствие одному критерию)	Балл
Не выполнен ни один пункт, приведенный ниже, и/или просто записан верный ответ.	0
Записана формула КПД тепловой машины через тепло холодильника.	3
Записана формула КПД тепловой машины через тепло холодильника. Указано, что отводимое количество теплоты одинаково в циклах.	5
Записана формула КПД тепловой машины через тепло холодильника. Указано, что отводимое количество теплоты одинаково в циклах. Получено выражение для отношения работ, но допущена вычислительная ошибка.	8
Получен верный ответ на вопрос задачи, с учетом всех предыдущих пунктов.	10

### Задание 3 (максимальная оценка 10 б.)

Критерий (выбрать соответствие одному критерию)	Балл
Не выполнен ни один пункт, приведенный ниже, и/или просто записан верный ответ.	0
верно представлена формула расчета эквивалентного сопротивления	3
верно рассчитано эквивалентное сопротивление с точностью до $\pm 0,03$ Ом	5
верно представлена формула расчета сопротивления с изменением температуры	8
верно рассчитано изменение эквивалентного сопротивления с точностью до $\pm 0,03$	10

### Задание 4 (максимальная оценка 12 б.)

Критерий (выбрать соответствие одному критерию)	Балл
Не выполнен ни один пункт, приведенный ниже, и/или просто записан верный ответ.	0
Задана величина напряженности поля как функция расстояния от границы. Записано уравнение движения частицы в форме второго закона Ньютона. Введены расстояния вдоль границы и вглубь области электрического поля.	3
Описано колебательное движение частицы – указана частота, период, амплитуда.	6
Получены выражения для проекций скорости.	9
Получен верный ответ на вопрос задачи.	12

### Задание 5 (максимальная оценка 16 б.)

Критерий (выбрать соответствие одному критерию)	Балл
Не выполнен ни один пункт, приведенный ниже, и/или просто записан верный ответ.	0
Записаны формулы для радиуса траектории и периода движения частицы в однородном магнитном поле. Определено отношение радиусов траекторий и/или периодов через отношение индукций полей.	4
Сделан рисунок траектории частицы в каждой части, введены углы поворота векторов скорости на границе MN. Определены формулы для ширины L и расстояния S.	8
Определены времена движения частицы в каждой части поля через их периоды. Найдено отношение времен движения. Получено выражение для угла поворота вектора скорости.	12
Найден полный ответ на поставленный в задаче вопрос.	16

**Задание 6** (максимальная оценка 24 б.)

<b>Критерий</b> (выбрать соответствие одному критерию)	<b>Балл</b>
Не выполнен ни один пункт, приведенный ниже, и/или просто записан верный ответ.	0
Указано, что равномерное движение достигается за счет равенства сил: гравитационного взаимодействия с планетой и силы, взаимодействия с пылинками.	6
Указано, что равномерное движение достигается за счет равенства сил: гравитационного взаимодействия с планетой и силы, взаимодействия с пылинками. Осуществлен переход в новую систему отсчета, связанную с «шариком». Записан закон изменения импульса для пылинок, и указан спектр налетания (описано или словами, или на рисунке, что суммарный импульс отлета равен нулю), соответственно изменение импульса равно налетающему.	12
Указано, что равномерное движение достигается за счет равенства сил: гравитационного взаимодействия с планетой и силы, взаимодействия с пылинками. Осуществлен переход в новую систему отсчета, связанную с «шариком». Записан закон изменения импульса для пылинок, и указан спектр налетания (описано или словами, или на рисунке, что суммарный импульс отлета равен нулю). Найдена масса пыли, сбивой «шариком» в зависимости от расстояния до центра планеты. *Допускается, что в силе гравитационного взаимодействия указано расстояние, включающее радиус «шарика».	18
Получен верный ответ, с учетом всех предыдущих пунктов.	24

**Задание С** (максимальная оценка 20 б.)

<b>Критерий</b> (указать балл по каждому критерию)	<b>Макс. балл</b>
Сформулирована расчётная схема (в том числе, графически), выделены и правильно формализованы все необходимые физические законы	5
Составлена система уравнений и математическая модель	5
Верно учтены технические параметры, характеристики и ограничения	5
Проведены расчеты, получен верный ответ, разумный с точки зрения физического смысла	5

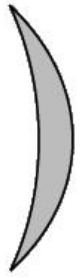
**Профиль:** Физика («Профессор Жуковский»)

**Предмет:** Физика

**Класс:** 11, вариант 2

### Решения

1. «Горе-экспериментаторы» решили изготовить линзу из подручных материалов для получения огня. Нашли два сферических тонких стекла разных радиусов, соединили их, как показано на рисунке, и залили пространство между ними глицерином. Проверили систему, она сработала. Глицерин из линзы вылили и опустили линзу в большую емкость с водой, так что вода внутрь линзы не попала. Как и во сколько раз изменилась оптическая сила системы? Показатель преломления воды принять равным  $1,33$ , воздуха  $1$ , глицерина  $1,47$ .



**Решение:**

Используем формулу шлифовщика:

$$D_1 = \left( \frac{n_{\text{глицерина}}}{n_{\text{воздуха}}} - 1 \right) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

$$D_2 = \left( \frac{n_{\text{воздуха}}}{n_{\text{воды}}} - 1 \right) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

Следовательно,  $\frac{D_2}{D_1} = \frac{\left( \frac{n_{\text{глицерина}}}{n_{\text{воздуха}}} - 1 \right)}{\left( \frac{n_{\text{воздуха}}}{n_{\text{воды}}} - 1 \right)} = -1,89$

Получим, что линза из собирающей, стала рассеивающей.

### КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ РЕШЕНИЯ

- 1) Не выполнен ни один пункт, приведенный ниже, и/или просто записан верный ответ – 0 баллов
- 2) Записана формула шлифовщика - 2 балла
- 3) Верно применена формула шлифовщика в двух случаях – 4 балла
- 4) Получено отношение для оптических сил, но нет указания на сменный тип линзы – 6 баллов
- 5) Получен верный ответ на вопрос задачи, с учетом всех предыдущих пунктов – 8 баллов

2. Многоатомный идеальный газ участвует в процессах 3-1 и 1-3-4-1, графики которых изображены на диаграмме. Кривые процессов 1-2-3 и 3-4-1 представ. из себя дуги окружностей, одинаковых ради. Известно, что отношение термодинамических КПД циклов равно  $\varphi$ . Найдите КПД  $\eta_1$  цикла 1-2-3-1.

**Решение:**

Поскольку площади циклов одинаковы, то работа совершаемая в этих циклах одинакова.

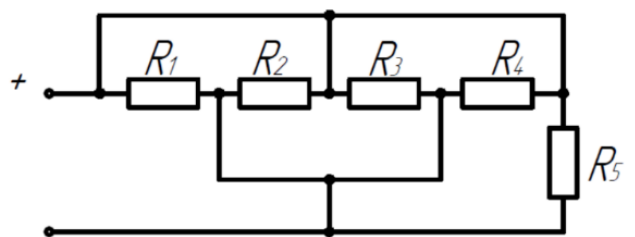
$Q_{13} = Q_H$  в цикле 1-3-4-1 и  $Q_{31} = Q_X$  в цикле 1-2-3-1, их значения по модулю одинаковы.

$$\eta_1 = \frac{A}{A + Q_X}$$
$$\eta_2 = \frac{A}{Q_H}$$
$$\begin{cases} Q_X = \frac{A(1 - \eta_1)}{\eta_1} \\ Q_H = \frac{A}{\eta_2} \end{cases}$$
$$\frac{1 - \eta_1}{\eta_1} = \frac{1}{\varphi \eta_1}$$
$$1 - \eta_1 = \frac{1}{\varphi} \Rightarrow \eta_1 = 1 - \frac{1}{\varphi}$$

**КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ РЕШЕНИЯ**

- 1) Не выполнен ни один пункт, приведенный ниже, и/или просто записан верный ответ – 0 баллов
- 2) Записаны формулы КПД тепловой машины – 3 балла
- 3) Записана формула КПД тепловой машины. Указано, что отводимое количество теплоты в первом цикле совпадает с подведенным количеством теплоты во втором цикле – 5 баллов
- 4) Записана формула КПД тепловой машины. Указано, что отводимое количество теплоты в первом цикле совпадает с подведенным количеством теплоты во втором цикле. Указано, что работы в циклах одинаковые – 8 баллов
- 5) Получен верный ответ на вопрос задачи, с учетом всех предыдущих пунктов – 10 баллов

3. Рассчитать эквивалентное сопротивление цепи постоянного тока, представленной на рисунке, если сопротивления при нормальных условиях равны  $R_1 = 2 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 2 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 3 \text{ Ом}$ ,  $R_4 = 3 \text{ Ом}$ ,  $R_5 = 5 \text{ Ом}$ . Во сколько раз изменится

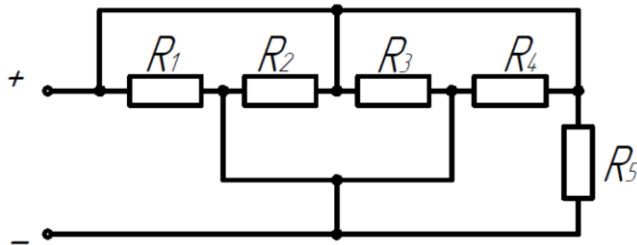


сопротивление схемы с повышением температуры до 30°, если резисторы выполнены из меди, а температурный коэффициент меди равен 0,043. Сопротивлением соединительных проводов можно пренебречь. Ответ округлить до сотых.



**Решение:**

Рассчитать эквивалентное сопротивление цепи постоянного тока, представленной на рисунке, если сопротивления при нормальных условиях равны  $R_1 = 2 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 2 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 3 \text{ Ом}$ ,  $R_4 = 3 \text{ Ом}$ ,  $R_5 = 5 \text{ Ом}$ . Во сколько раз изменится сопротивление схемы с повышением температуры до  $30^\circ$ , если проводники выполнены из меди. Ответ округлить до сотых.



$$\frac{1}{R_{\text{ЭКВ}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{3} + \frac{1}{5} = \frac{28}{15}$$

$$R_{\text{ЭКВ}} = \frac{15}{28} = 0,54 \text{ Ом.}$$

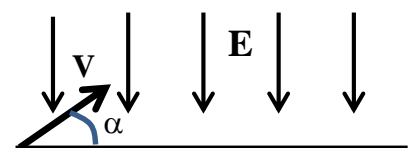
$$R_{\text{ЭКВ}}^{\text{н}} = R_{\text{ЭКВ}} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T) = 0,54 \cdot (1 + 0,043 \cdot 30^\circ) = 1,24 \text{ Ом,}$$

Сопротивление увеличится в  $\frac{1,24}{0,54} = 2,3$  раза.

**КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ РЕШЕНИЯ**

- 1) Не выполнен ни один пункт, приведенный ниже, и/или просто записан верный ответ – 0 баллов
- 2) Верно представлена формула расчета эквивалентного сопротивления – 4 балла
- 3) Верно рассчитано эквивалентное сопротивление с точностью до  $\pm 0,03 \text{ Ом}$  – 6 баллов
- 4) Верно представлена формула расчета сопротивления с изменением температуры – 8 баллов
- 5) Верно рассчитано изменение эквивалентного сопротивления с точностью до  $\pm 0,03$  – 10 баллов

4. (12 баллов) В области полупространства с плоской границей создано электрическое поле, векторы напряжённости которого направлены перпендикулярно к границе (см. рис), а их величина прямо пропорциональна расстоянию до границы. В эту область под некоторым углом  $\alpha$  к границе влетает положительно заряженная микрочастица. Определите тангенс величины этого угла, если известно, что частица вылетела из области на

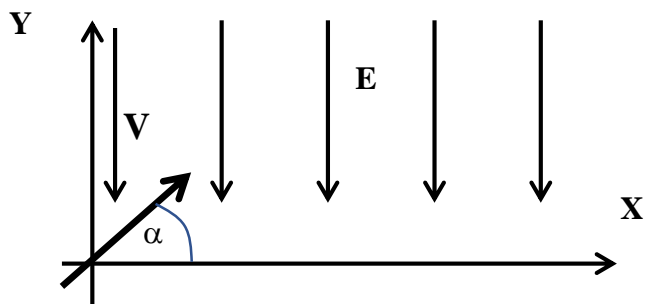


прямо пропорциональна расстоянию до границы. В эту область под некоторым углом  $\alpha$  к границе влетает положительно заряженная микрочастица. Определите тангенс величины этого угла, если известно, что частица вылетела из области на

расстоянии (от точки входа вдоль плоскости границы) в 3 раза больше, чем максимальное расстояние, на которое частица углубилась в область поля. Излучением и влиянием силы тяжести пренебречь.

**Решение:**

Вводим систему координат – ось  $X$  вдоль границы, а ось  $Y$ - перпендикулярно направлена вглубь области с электрическим полем.



Зависимость величины напряженности  $E = \beta \cdot y$

Второй закон Ньютона вдоль оси  $Y$   $ma_y = -\beta \cdot y$ , откуда следует уравнение

колебаний  $a_y = -\frac{\beta}{m} \cdot y$ , с циклической

частотой  $\omega = \sqrt{\frac{\beta}{m}}$ , и периодом  $T = \frac{2\pi}{\omega}$ .

Пусть  $L_1$  – максимальная глубина проникновения в область поля от границы. Т.к. на границе области  $y$  частицы положение равновесия, то это амплитуда колебаний вдоль оси  $Y$ . Поэтому максимальная скорость вдоль оси  $Y$  равна  $V \cdot \sin \alpha = \omega \cdot L_1$ .

Пусть  $L_2$  - расстояние от точки входа вдоль плоскости границы до точки выхода.

По оси  $X$  нет ускорения:  $V \cdot \cos \alpha = \frac{L_2}{t_{\text{движ}}}$ , частица вылетит из области через половину периода

$$t_{\text{движ}} = \frac{T}{2} = \frac{\pi}{\omega}, \text{ поэтому } V \cdot \cos \alpha = \frac{\omega L_2}{\pi}. \text{ Следовательно, } \text{tg} \alpha = \frac{V \cdot \sin \alpha}{V \cdot \cos \alpha} = \frac{\omega \cdot L_1}{\left(\frac{\omega L_2}{\pi}\right)} = \pi \frac{L_1}{L_2}.$$

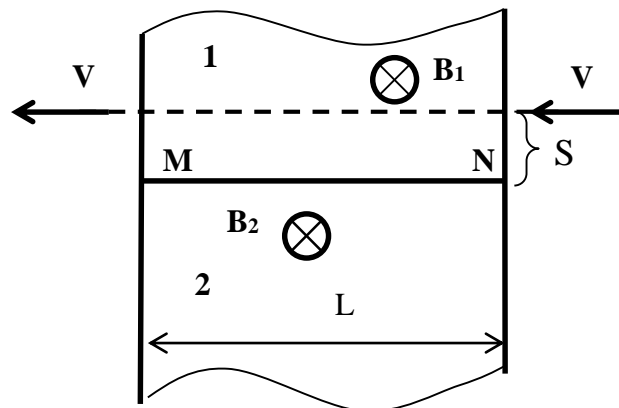
ВАРИАНТ	ОТВЕТ
2	$\pi/3$

**КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ РЕШЕНИЯ**

- 1) Не выполнен ни один пункт, приведенный ниже, и/или просто записан верный ответ – 0 баллов
- 2) Задана величина напряженности поля как функция расстояния от границы. Записано уравнение движения частицы в форме второго закона Ньютона. Введены расстояния вдоль границы и вглубь области электрического поля – 3 балла
- 3) Описано колебательное движение частицы – указана частота, период, амплитуда – 6 баллов
- 4) Получены выражения для проекций скорости – 9 баллов

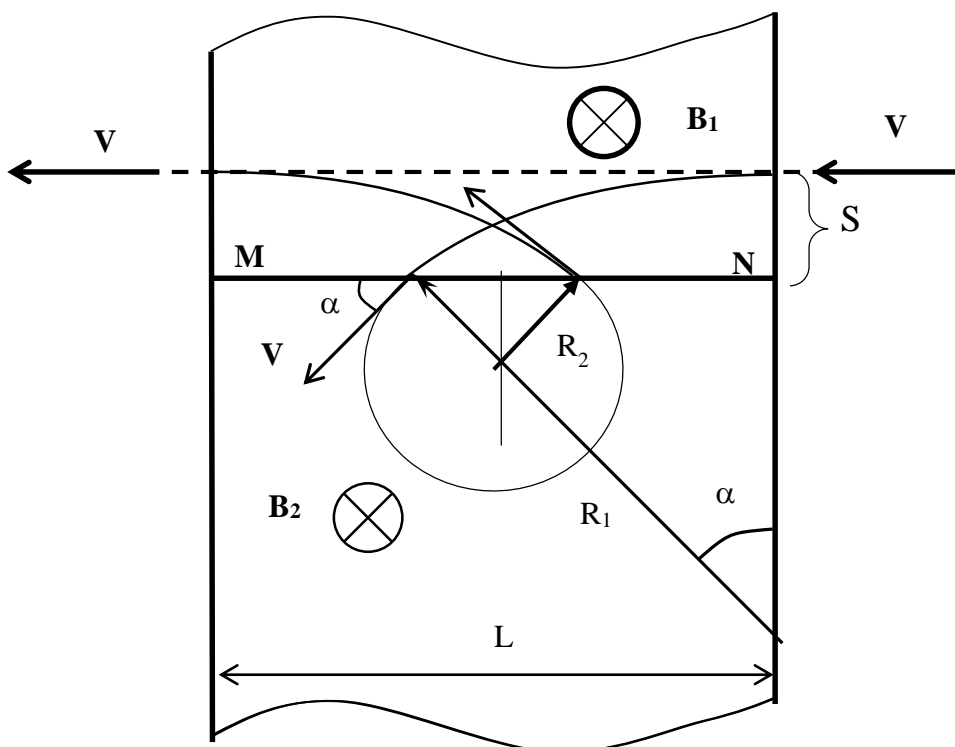
5) Получен верный ответ на вопрос задачи – 12 баллов

5. (16 баллов) Положительно заряженная микрочастица, при движении справа налево по прямой траектории (см. рис), влетает в область, где создано магнитное поле. Эта область имеет форму длинной полосы ширины  $L$ , перпендикулярной к траектории частицы. Она состоит из двух частей 1 и 2, в каждой из которых создано однородное магнитное поле, а векторы полей  $B_1$  и  $B_2$  направлены от наблюдателя и перпендикулярно к вектору скорости частицы. Граница частей  $MN$  параллельна траектории частицы. Частица влетает в область 1 на расстоянии  $S$  от границы  $MN$  и вылетает из магнитного поля, двигаясь по той же траектории. Известно, что при движении в магнитном поле частица один раз побывала в области 2. Определите отношение ширины полосы магнитного поля  $L$  к расстоянию  $S$  при условии, что время движения частицы в области 1 в 2 раза больше времени её движения в области 2, а отношение величин индукций полей равно  $B_2/B_1 = 4$ . Считать, что области полей имеют четкие границы, излучением и влиянием силы тяжести пренебречь.



Граница частей  $MN$  параллельна траектории частицы. Частица влетает в область 1 на расстоянии  $S$  от границы  $MN$  и вылетает из магнитного поля, двигаясь по той же траектории. Известно, что при движении в магнитном поле частица один раз побывала в области 2. Определите отношение ширины полосы магнитного поля  $L$  к расстоянию  $S$  при условии, что время движения частицы в области 1 в 2 раза больше времени её движения в области 2, а отношение величин индукций полей равно  $B_2/B_1 = 4$ . Считать, что области полей имеют четкие границы, излучением и влиянием силы тяжести пренебречь.

**Решение:**



Радиусы и периоды движения частиц в однородном магнитном поле

$$R_1 = \frac{mv}{qB_1}, R_2 = \frac{mv}{qB_2}, T_1 = \frac{2\pi m}{qB_1}, T_2 = \frac{2\pi m}{qB_2}$$

$$k = \frac{B_2}{B_1}, \frac{R_1}{R_2} = \frac{B_2}{B_1} = k$$

Ширина полосы и расстояние до границы MN

$L = 2(R_1 - R_2)\sin\alpha$ ,  $S = R_1(1 - \cos\alpha)$ , где  $\alpha$  - угол между вектором скорости границей

Времена движения частицы в областях 1 и 2

$$t_1 = \frac{\alpha}{2\pi} T_1 = \frac{2\alpha}{2\pi} \frac{2\pi m}{qB_1} = 2\alpha \frac{m}{qB_1}, t_2 = \frac{2(\pi - \alpha)}{2\pi} T_2 = \frac{2(\pi - \alpha)}{2\pi} \frac{2\pi m}{qB_2} = 2(\pi - \alpha) \frac{m}{qB_2}$$

Отношение времен и величина угла

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{\alpha}{(\pi - \alpha)} \frac{B_2}{B_1} = \frac{\alpha}{(\pi - \alpha)} k = n, \alpha = \frac{n\pi}{k + n},$$

Окончательный ответ

$$\frac{L}{S} = 2 \left( 1 - \frac{R_2}{R_1} \right) \frac{\sin\alpha}{(1 - \cos\alpha)},$$

Вариант	k	n	$\alpha$	L/S
2	4	2	$\pi/3$	2.598076211

### КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕШЕНИЯ ПРИ ПРОВЕРКЕ

- 1) Не выполнен ни один пункт, приведенный ниже, и/или просто записан верный ответ – 0 баллов
- 2) Записаны формулы для радиуса траектории и периода движения частицы в однородном магнитном поле. Определено отношение радиусов траекторий и/или периодов через отношение индукций полей – 4 балла
- 3) Сделан рисунок траектории частицы в каждой части, введены углы поворота векторов скорости на границе MN. Определены формулы для ширины L и расстояния S – 8 баллов
- 4) Определены времена движения частицы в каждой части поля через их периоды. Найдено отношение времен движения. Получено выражение для угла поворота вектора скорости – 12 баллов
- 5) Найден полный ответ на поставленный в задаче вопрос.

6. Атмосфера некоторой планеты состоит из плотного облака неподвижной, относительно планеты, звездной пыли. Для исследования данной планеты был отправлен надежный космический аппарат «шарик», массой  $M$ , и имеющий форму сферы, радиусом  $R$ . Опускаясь на поверхность планеты «шарик» двигался равномерно со скоростью  $v$  с выключенными двигателями. Забирая небольшие порции «звездной пыли» из атмосферы планеты, «шарик» установил, что плотность пыли обратно пропорциональна квадрату расстояния до центра планеты  $r$ . Найдите по данным собранным «шариком» коэффициент пропорциональности  $\alpha$  между плотностью облака пыли и  $r^{-2}$ . Считать удары пылинок о космический аппарат абсолютно упругими. Масса планеты  $m$ .

**Решение:**

Перейдем в систему отсчета, связанную с шаром. Тогда пылинки будут «налетать» на шар со скоростью  $v$ .

Поскольку сфера – симметричная фигура, вклад в силу взаимодействия пылинок с шаром будут давать только «налетающие» импульсы. При суммировании импульсов «отлетающих» получится ноль.

Тогда по ЗИИ получим:  $N_{iy} = \frac{m_i v}{t}$ , где  $m_i$  – масса  $i$ -ой пылинки, а  $N_{iy}$  – проекция силы реакции опоры, действующей на  $i$ -ю пылинку.

По 3-му закону Ньютона:  $\sum N_{iy} = F$ , где  $F$  – сила, действующая на шар со стороны всех пылинок.

$$\text{Получим: } F = \sum N_{iy} = \sum \frac{m_i v}{t} = \sum \frac{\rho V_i v}{t} = \rho v \sum \frac{V_i}{t} = \rho v S \sum \frac{h_i}{t} = \rho S v^2$$

$\sum V_i$  – объем всех сбитых пылинок, а следовательно, равен объему цилиндра –  $Sh = \pi r^2 h$ ,  $h$  – высота цилиндра.

$$\text{По второму закону Ньютона: } F - G \frac{Mm}{r^2} = 0$$

$$\text{Получим, } m = \frac{F}{G \frac{M}{r^2}} = \frac{\pi \alpha r^2 v^2}{GM}$$

$$\text{Следовательно, } \alpha = \frac{GMm}{\pi r^2 v^2}$$

## КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ РЕШЕНИЯ

- 1) Не выполнен ни один пункт, приведенный ниже, и/или просто записан верный ответ – 0 баллов
- 2) Указано, что равномерное движение достигается за счет равенства сил: гравитационного взаимодействия с планетой и силы, взаимодействия с пылинками – 6 баллов
- 3) Указано, что равномерное движение достигается за счет равенства сил: гравитационного взаимодействия с планетой и силы, взаимодействия с пылинками. Осуществлен переход в новую систему отсчета, связанную с «шариком». Записан закон изменения импульса для пылинок, и указан спектр налета (описано или словами, или на рисунке, что суммарный импульс

отлета равен нулю), соответственно изменение импульса равно налетающему – 12 баллов.

- 4) Указано, что равномерное движение достигается за счет равенства сил: гравитационного взаимодействия с планетой и силы, взаимодействия с пылинками. Осуществлен переход в новую систему отсчета, связанную с «шариком». Записан закон изменения импульса для пылинок, и указан спектр налета (описано или словами, или на рисунке, что суммарный импульс отлета равен нулю). Найдена масса пыли, сбитой «шариком» в зависимости от расстояния до центра планеты – 18 баллов

\*Допускается, что в силе гравитационного взаимодействия указано расстояние, включающее радиус «шарика».

- 5) Получен верный ответ, с учетом всех предыдущих пунктов.

### Ситуационная задача

В медицине часто используются суспензии – вещества, представляющие собой взвесь твердых частиц в жидкости. В лаборатории проводится исследование суспензии, полученной на основе воды. Для опыта взяли жидкость, высота столба которой равна 0,2 м. В начальный момент времени частицы сферической формы распределены в жидкости равномерно. Плотность материала частиц  $2800 \text{ кг/м}^3$ . В таблице приведены диаметральные размеры частиц и массовые доли фракций, полученные в начальный момент времени

$d$ , мм	$q$ , %
0,1	25
0,01	35
0,001	40

Определите время полной очистки жидкости от частиц каждой дисперсности. Какая массовая доля самых мелких частиц будет присутствовать в осадке к моменту времени, когда все остальные частицы осядут?

#### Дополнительные сведения:

Коэффициент гидродинамического сопротивления движущейся в жидкости сферической частицы  $C_y$  равен 0,4. Сила сопротивления  $Y = SC_y\rho\frac{v^2}{2}$ , где  $S$  – площадь поперечного сечения частицы,  $C_y$  – коэффициент лобового сопротивления,  $\rho$  – плотность жидкости,  $v$  – скорость оседания частицы.

#### Решение:

Рассмотрим движение частицы на установившемся режиме. На частицу действуют силы, показанные схематично на рисунке 1:

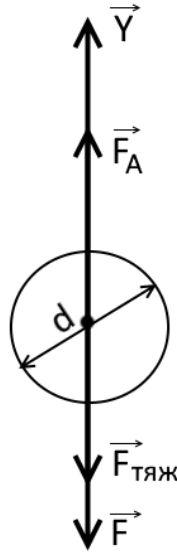


Рис. 1 Расчётная схема

Здесь  $F_{\text{тяж}}$  – сила тяжести,  $F_A$  – сила Архимеда,  $Y$  – сила сопротивления,  $F$  – результирующая сила.

Запишем силы, действующие на частицу.

Сила тяжести:

$$F_{\text{тяж}} = mg,$$

где  $m$  – масса частички, которая может быть найдена как:

$$m = \rho_{\text{ч}}V_{\text{ч}},$$

где  $\rho_{\text{ч}}$  – плотность материала частички,  $V_{\text{ч}}$  – объём частички.

Т.к. частица имеет сферическую форму, то объём находится по формуле для объёма шара:

$$V_{\text{ч}} = \frac{1}{6}\pi d^3$$

Окончательно для силы тяжести:

$$F_{\text{тяж}} = \frac{1}{6}\rho_{\text{ч}}\pi g d^3$$

Сила Архимеда:

$$F_A = \rho_{\text{в}}gV_{\text{ч}},$$

где  $\rho_{\text{в}}$  – плотность воды.

С учётом записанного ранее объёма частицы:

$$F_A = \frac{1}{6} \rho_B g \pi d^3$$

Сила сопротивления:

$$Y = S C_y \rho_B \frac{v^2}{2},$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения частички,  $C_y$  – коэффициент лобового сопротивления,  $v$  – скорость оседания частички. Учитывая, что площадь поперечного сечения может быть найдена как:

$$S = \frac{\pi}{4} d^2$$

Выражение для силы сопротивления примет вид:

$$Y = \frac{\pi}{8} C_y \rho_B d^2 v^2$$

Установившийся режим характеризуется тем, что частицы оседают с постоянной скоростью. Следственно, ускорение равно нулю. Поэтому второй закон Ньютона в проекции на вертикальную ось запишется в виде:

$$F_{\text{ТЯЖ}} - F_A - Y = 0$$

или

$$\frac{gd}{3} (\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{в}}) = \frac{1}{4} C_y \rho_B v^2$$

Выражая из полученного выражения скорость как функцию диаметра частицы, получим:

$$v = 2 \sqrt{\frac{\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{в}}}{3 C_y \rho_B} g d}$$

Подставив известные величины, получим:

$$v = 7,672 \sqrt{d}$$

Соответственно, время оседания той или иной фракции, это время, за которое частички, находящиеся на уровне зеркала жидкости, окажутся на дне, т.е:

$$T = \frac{h}{v} = \frac{h}{7,672 \sqrt{d}},$$

где  $h$  – высота столба жидкости,  $v$  – скорость оседания

С учётом численного значения высоты столба жидкости:

$$T = \frac{0,2}{7,672 \sqrt{d}} = \frac{0,026}{\sqrt{d}}$$



Вычислим время полного оседания для каждой фракции и сведём результаты в таблицу:

$d$ , мм	$T$ , с
0,1	2,6
0,01	8,22
0,001	26

Таким образом, через 26 секунд частицы всех размеров осядут на дно, и несущая жидкость очистится от частиц.

Все частицы, кроме самых мелких, полностью осядут через 8,22 с после начала сепарации.

Найдем долю самых мелких частиц, которые успеют опуститься на дно к этому времени.

$$d = 0,001 \text{ мм}$$

Доля осевших частиц находится как:

$$q'_{0.01} = q_{0.01} \frac{\tau}{T},$$

где  $\tau$  – время сепарации,  $T$  – время оседания соответствующей фракции. Численно:

$$q'_{0.001} = q_{0.001} \frac{\tau}{T}$$

$$q'_{0.001} = 40 \cdot \frac{8,22}{26} = 12,65\%$$

Массовые доли частиц каждой фракции в осадке находятся по формуле:

$$q''_i = \frac{q'_i}{q'_{0.1} + q'_{0.01} + q'_{0.001}},$$

где  $q'_i$  – доля осевших частиц каждой фракции.

Вычислим это значение для самых мелких частиц.

$$q''_{0.001} = \frac{q'_{0.001}}{q'_{0.1} + q'_{0.01} + q'_{0.001}} = \frac{q'_{0.001}}{25 + 35 + 12,65} = \frac{12,65}{72,65} = 0,174.$$

Получилось, что в осадке к этому времени будет присутствовать 17,4% самых мелких частиц.

**Ответ:** 26 секунд; 17,4%



## Критерии оценивания олимпиадной работы

**Профиль:** Физика («Профессор Жуковский»)

**Предмет:** Физика

**Класс:** 11, вариант 2

### Задание 1 (максимальная оценка 8 б.)

Критерий (выбрать соответствие одному критерию)	Балл
Не выполнен ни один пункт, приведенный ниже, и/или просто записан верный ответ.	0
Записана формула шлифовщика.	2
Верно применена формула шлифовщика в двух случаях.	4
Получено отношение для оптических сил, но нет указания на сменный тип линзы.	6
Получен верный ответ на вопрос задачи, с учетом всех предыдущих пунктов.	8

### Задание 2 (максимальная оценка 10 б.)

Критерий (выбрать соответствие одному критерию)	Балл
Не выполнен ни один пункт, приведенный ниже, и/или просто записан верный ответ.	0
Записаны формулы КПД тепловой машины.	3
Записана формула КПД тепловой машины. Указано, что отводимое количество теплоты в первом цикле совпадает с подведенным количеством теплоты во втором цикле.	5
Записана формула КПД тепловой машины. Указано, что отводимое количество теплоты в первом цикле совпадает с подведенным количеством теплоты во втором цикле. Указано, что работы в циклах одинаковые.	8
Получен верный ответ на вопрос задачи, с учетом всех предыдущих пунктов.	10

### Задание 3 (максимальная оценка 10 б.)

Критерий (выбрать соответствие одному критерию)	Балл
Не выполнен ни один пункт, приведенный ниже, и/или просто записан верный ответ.	0
верно представлена формула расчета эквивалентного сопротивления	3
верно рассчитано эквивалентное сопротивление с точностью до $\pm 0,03$ Ом	5
верно представлена формула расчета сопротивления с изменением температуры	8
верно рассчитано изменение эквивалентного сопротивления с точностью до $\pm 0,03$	10

### Задание 4 (максимальная оценка 12 б.)

Критерий (выбрать соответствие одному критерию)	Балл
Не выполнен ни один пункт, приведенный ниже, и/или просто записан верный ответ.	0
Задана величина напряженности поля как функция расстояния от границы. Записано уравнение движения частицы в форме второго закона Ньютона. Введены расстояния вдоль границы и вглубь области электрического поля.	3
Описано колебательное движение частицы – указана частота, период, амплитуда.	6
Получены выражения для проекций скорости.	9
Получен верный ответ на вопрос задачи.	12

### Задание 5 (максимальная оценка 16 б.)

Критерий (выбрать соответствие одному критерию)	Балл
Не выполнен ни один пункт, приведенный ниже, и/или просто записан верный ответ.	0
Записаны формулы для радиуса траектории и периода движения частицы в однородном магнитном поле. Определено отношение радиусов траекторий и/или периодов через отношение индукций полей.	4
Сделан рисунок траектории частицы в каждой части, введены углы поворота векторов скорости на границе MN. Определены формулы для ширины L и расстояния S.	8
Определены времена движения частицы в каждой части поля через их периоды. Найдено отношение времен движения. Получено выражение для угла поворота вектора скорости.	12
Найден полный ответ на поставленный в задаче вопрос.	16

**Задание 6** (максимальная оценка 24 б.)

<b>Критерий</b> (выбрать соответствие одному критерию)	<b>Балл</b>
Не выполнен ни один пункт, приведенный ниже, и/или просто записан верный ответ.	0
Указано, что равномерное движение достигается за счет равенства сил: гравитационного взаимодействия с планетой и силы, взаимодействия с пылинками.	6
Указано, что равномерное движение достигается за счет равенства сил: гравитационного взаимодействия с планетой и силы, взаимодействия с пылинками. Осуществлен переход в новую систему отсчета, связанную с «шариком». Записан закон изменения импульса для пылинок, и указан спектр налетания (описано или словами, или на рисунке, что суммарный импульс отлета равен нулю), соответственно изменение импульса равно налетающему.	12
Указано, что равномерное движение достигается за счет равенства сил: гравитационного взаимодействия с планетой и силы, взаимодействия с пылинками. Осуществлен переход в новую систему отсчета, связанную с «шариком». Записан закон изменения импульса для пылинок, и указан спектр налетания (описано или словами, или на рисунке, что суммарный импульс отлета равен нулю). Найдена масса пыли, сбивой «шариком» в зависимости от расстояния до центра планеты. *Допускается, что в силе гравитационного взаимодействия указано расстояние, включающее радиус «шарика».	18
Получен верный ответ, с учетом всех предыдущих пунктов.	24

**Задание С** (максимальная оценка 20 б.)

<b>Критерий</b> (указать балл по каждому критерию)	<b>Макс. балл</b>
Сформулирована расчётная схема (в том числе, графически), выделены и правильно формализованы все необходимые физические законы	5
Составлена система уравнений и математическая модель	5
Верно учтены технические параметры, характеристики и ограничения	5
Проведены расчеты, получен верный ответ, разумный с точки зрения физического смысла	5