



$$(ab)c = a(bc)$$

$$E = mc^2$$



1. Используйте только размеченные стороны листов.
2. Заполните номер варианта и номер страницы в поле внизу.

Физика

Площадка написания

Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого

Шифр 85439 Класс 11

Вариант 6 Дата 20.02.2022



Продолжение задачи №6

$$\frac{dv}{\sqrt{v_0^2 - v^2}} = - \frac{Bh}{\sqrt{mL}} dt$$

$$\int \frac{dv}{\sqrt{v_0^2 - v^2}} = \int \frac{d(\frac{v}{v_0})}{\sqrt{1 - (\frac{v}{v_0})^2}} = \arcsin \frac{v}{v_0} + C$$

$$\arcsin \frac{v}{v_0} = - \frac{Bh}{\sqrt{mL}} t + C$$

$$t=0, v=v_0; \frac{\pi}{2} = C$$

$$\arcsin \frac{v}{v_0} = \frac{\pi}{2} - \frac{Bh}{\sqrt{mL}} t$$

$$v = v_0 \sin\left(\frac{\pi}{2} - \frac{Bh}{\sqrt{mL}} t\right) = v_0 \cos\left(\frac{Bh}{\sqrt{mL}} t\right)$$

$$x(t) = \frac{v_0}{\frac{Bh}{\sqrt{mL}}} \sin\left(\frac{Bh}{\sqrt{mL}} t\right) = \frac{\sqrt{mL}}{Bh} v_0 \sin\left(\frac{Bh}{\sqrt{mL}} t\right)$$

Время первой остановки: $\frac{Bh t_0}{\sqrt{mL}} = \frac{\pi}{2} \Rightarrow t_0 = \frac{\sqrt{mL}}{Bh} \cdot \frac{\pi}{2}$

$$S = x(t_0) = \frac{\sqrt{mL}}{Bh} v_0$$

Ответ: $\frac{\sqrt{mL}}{Bh} v_0$



$$(ab)c = a(bc)$$

$$E = mc^2$$



1. Используйте только размеченные стороны листов.
2. Заполните номер варианта и номер страницы в поле внизу.

Физика



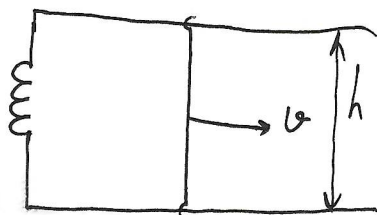
Площадка написания

Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого

Шифр 85439 Класс 11

Вариант 6 Дата 20.02.2022

Задача N6



Заметим, что, так как сопротивления всех элементов можно пренебречь, ток через катушку должен всегда быть изменением потока через катушку всегда должно быть равно изменению потока через весь контур, т.к. иначе возник бы бесконечно большой ток.

Тогда верны следующие уравнения:

$$\begin{cases} L \frac{dI}{dt} - B l h = 0 & \text{— общий поток } 0 \\ m \frac{d\varphi}{dt} = -B l h I & \text{— сила Ампера} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{dI}{dt} = \frac{B l h}{L} \varphi \\ \frac{d\varphi}{dt} = -\frac{B l h}{m} I \end{cases} \Rightarrow \frac{dI}{dt} = -\frac{m}{L} \cdot \frac{\varphi}{I} \cdot \frac{d\varphi}{dt}$$

$$I dI = -\frac{m}{L} \varphi d\varphi$$

$$\frac{I^2}{2} = C - \frac{m}{2L} \varphi^2$$

$$I^2 = C - \frac{m}{L} \varphi^2$$

При $\varphi = \varphi_0$, $I = 0$, т.к. ток через катушку не может возрасти скачком.

$$0 = C - \frac{m}{L} \varphi_0^2 \Rightarrow C = \frac{m}{L} \varphi_0^2$$

$$I = \sqrt{\frac{m}{L} (\varphi_0^2 - \varphi^2)}$$

Приведенные выше рассуждения также верны из закона сохранения энергии:

$$\frac{L I^2}{2} + \frac{m \varphi^2}{2} = \frac{m \varphi_0^2}{2} \Leftrightarrow I = \sqrt{\frac{m}{L} (\varphi_0^2 - \varphi^2)} \quad (R \text{ очень мало} \Rightarrow \text{нет тепловых потерь})$$

$$\frac{d\varphi}{dt} = -\frac{B l h}{m} \sqrt{\frac{m}{L} (\varphi_0^2 - \varphi^2)} \quad \text{— подставим } I \text{ в уравнение } \frac{d\varphi}{dt} = -\frac{B l h}{m} I$$

$$\frac{d\varphi}{\sqrt{\varphi_0^2 - \varphi^2}} = -\frac{B l h dt}{\sqrt{m L}}$$



$$(ab)c = a(bc)$$

$$E = mc^2$$



1. Используйте только размеченные стороны листов.
2. Заполните номер варианта и номер страницы в поле внизу.

Физика

Площадка написания

Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого

Шифр

85439 Класс

11

Вариант

6

Дата

20.02.2022



Задача №3

3. По определению $dA = \vec{F} \cdot d\vec{x}$, в нашем случае $\vec{F} \parallel d\vec{x} \Rightarrow dA = F dx$. Пусть v — постоянная скорость, с которой поднимают ведро, μ — постоянный массовый расход воды.

Время подъёма: $\tau = \frac{H}{v} \Rightarrow \mu = \frac{m_b}{3\tau} = \frac{m_b v}{3H}$, где m_b — начальная масса воды.

Найдём $F(t)$ — силу, с которой нужно тянуть, чтобы поднимать равномерно:

$$F(t) = (m + m_b(t))g = (m + m_b - \mu t)g = (m + m_b)g - \frac{m_b v g}{3H} t$$

$$dx = v dt$$

$$dA = F(t) dx = (m + m_b)g v dt - \frac{m_b v g}{3H} t v dt$$

$$A_0 = \int_0^{\tau} \left((m + m_b)g v dt - \frac{m_b v^2 g}{3H} t dt \right) = (m + m_b)g v \tau - \frac{m_b v^2 g}{3H} \left(\frac{\tau^2}{2} - 0 \right) =$$

$$= (m + m_b)g H - \frac{m_b v g H^2}{6H} = mgH + \frac{5}{6} m_b g H$$

$$A_0 = mgH + \frac{5}{6} \rho g V H = 2,9 \text{ кДж}$$

Ответ: 2,9 кДж



$$(ab)c = a(bc)$$

$$E = mc^2$$



1. Используйте только размеченные стороны листов.
2. Заполните номер варианта и номер страницы в поле внизу.

Физика



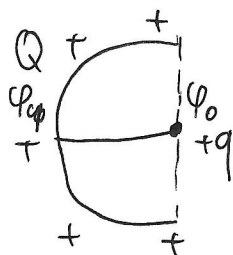
Площадка написания

Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого

Шифр 85439 Класс 11

Вариант 6 Дата 20.02.2022

Задача 1/4



Сфера приобретёт максимальную скорость, когда она отдалится от шарика на бесконечность, т.к. тогда сила их взаимодействия будет нулевой $\Rightarrow$ скорость будет расти.

Найдём потенциальную энергию их взаимодействия:

$$E_n = (q\phi_0 + Q\phi_{cp}) \frac{1}{2}$$

ϕ_0 — потенциал в центре полусферы: $\phi_0 = \frac{kQ}{R}$, т.к. все точки сферы равноудалены от её центра.

ϕ_{cp} — потенциал, который создаётся зарядом q на сфере, $\phi_{cp} = \frac{kq}{R}$

$$E_n = \left(\frac{kqQ}{R} + \frac{kqQ}{R} \right) \cdot \frac{1}{2} = \frac{kqQ}{R}$$

Когда тела разлетятся, они приобретут разные скорости — v_m , v_{cp} (скорость шарика и скорость сферы).

Кроме того, выполняется закон сохранения импульса, т.к. на оба тела действуют равные по модулю противоположные силы.

$$M v_{cp} - m v_m = 0 \Leftrightarrow v_m = \frac{M}{m} v_{cp}$$

По закону сохранения энергии:

$$\frac{kqQ}{R} = \frac{M v_{cp}^2}{2} + \frac{m v_m^2}{2} \Leftrightarrow \frac{kqQ}{R} = \frac{M v_{cp}^2}{2} + \frac{M^2 v_{cp}^2}{2m}$$

$$\frac{M}{2} v_{cp}^2 \left(1 + \frac{M}{m} \right) = \frac{kqQ}{R}$$

$$v_{cp} = \sqrt{\frac{2kqQ}{RM \left(1 + \frac{M}{m} \right)}}$$

Ответ: $\sqrt{\frac{2kqQ}{RM \left(1 + \frac{M}{m} \right)}}$



$$(ab)c = a(bc)$$

$$E = mc^2$$



1. Используйте только размеченные стороны листов.
2. Заполните номер варианта и номер страницы в поле внизу.

Физика

Площадка написания

Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого

Шифр

85439 Класс

11

Вариант

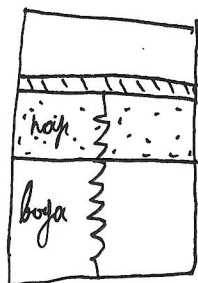
6

Дата

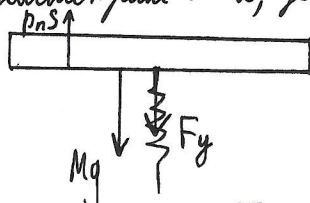
20.02.2022



Задача №5



В конце процесса пар должен стоять насыщенным, чтобы вода и пар были в равновесии. При $t = 100^\circ\text{C}$ $p_n = 10^5 \text{ Па}$ — давление насыщенного пара при 100°C . Рассмотрим силы, действующие на поршень:



$p_n S > Mg \Rightarrow F_y$ направлена вниз $\Rightarrow$ пружина растянута.

Условие равновесия: $p_n S = F_y + Mg$

$$F_y = k \Delta L$$

$$p_n S = k \Delta L + Mg$$

Объём пара будет равен $S \Delta L$, т.к. плотность воды много больше плотности пара, поэтому измещением объёма воды можно пренебречь.

Уравнение состояния для пара:

$$p_n S \Delta L = \frac{m}{M_n} R t, \text{ где } M_n - \text{молярная масса пара (вода)}$$

$$m = \frac{M_n p_n S \Delta L}{R t} = \frac{M_n p_n S}{R t} \cdot \frac{p_n S - Mg}{k} \approx 7,42$$

Ответ: 7,4 грамма.



ОТРАСЛЕВАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ

$$(ab)c = a(bc)$$

$$E = mc^2$$



1. Используйте только размеченные стороны листов.
2. Заполните номер варианта и номер страницы в поле внизу.

Физика



Площадка написания

Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого

Шифр 85439 Класс 11

Вариант 6 Дата 20.02.2022

Заполняется проверяющим строго по образцу

Образец заполнения: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0

1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	2	1	6	1	6	1	6	1	6
2	4								

Оценка цифрами

Оценка прописью

Подпись

1	0	0	60	
---	---	---	----	--

Задача N 1

По формуле гравитационной силы $F_m = \frac{GM_z m}{R^2}$, где M_z - масса Земли, m - масса тела. Тогда $g(R) = \frac{F_m}{m} = \frac{GM_z}{R^2}$

$g(R) \sim \frac{1}{R^2} \Rightarrow$ чтобы ускорение уменьшилось в 4 раза, расстояние до центра Земли должно возрасти в 2 раза.

$R_0 = 2R \approx 12800 \text{ км}$ - расстояние до центра Земли.

$R_{\text{н.п.}} = R_0 - R = 6400 \text{ км}$ - расстояние до поверхности.

Ответ: $\approx 6400 \text{ км}$.



$$(ab)c = a(bc)$$

$$E = mc^2$$



1. Используйте только размеченные стороны листов.
2. Заполните номер варианта и номер страницы в поле внизу.

Физика



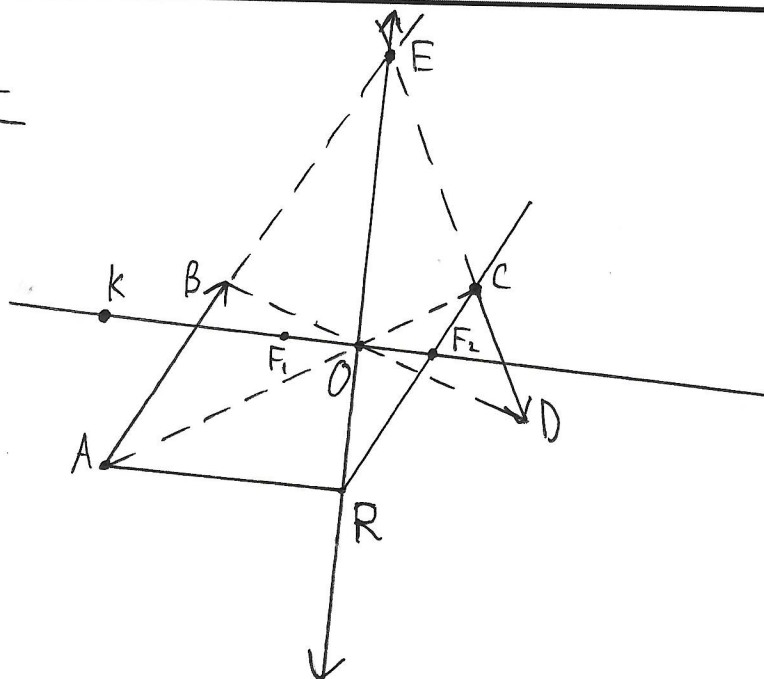
Площадка написания

Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого

Шифр 85439 Класс 11

Вариант 6 Дата 20.02.2022

Задача № 2



- 1) Лучи, проходящие через центр линзы, не преломляются $\Rightarrow$ если провести BD , то O (центр линзы) лежит на BD . Аналогично O лежит на AC . Тогда O — их пересечение. Центр линзы найден.
- 2) Луч AB после преломления переходит в луч $CD \Rightarrow$ пересечение лучей AB и DC — точка, принадлежащая линзе (E).
- 3) Линза собирательная, т.к. изображение перевернутое. Проведем перпендикуляр KO к EO (плоскости линзы) в точке O . Тогда KO — главная оптическая ось.
- 4) Найдем фокус линзы. Проведем $AR \perp EO$. Тогда $AR \parallel KO \Rightarrow$ после преломления этот луч пройдет через фокус, а также через C . Так находим F_2 и F_1 , отразив F_2 относительно EO .



1. Используйте только размеченные стороны листов.
2. Заполните номер варианта и номер страницы в поле внизу.

Физика

Площадка написания

Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого

Шифр 85439 Класс 11

Вариант 6 Дата 20.02.2022



Продолжение задачи №6

$$\frac{dv}{\sqrt{v_0^2 - v^2}} = - \frac{Bh}{\sqrt{mL}} dt$$

$$\int \frac{dv}{\sqrt{v_0^2 - v^2}} = \int \frac{d(\frac{v}{v_0})}{\sqrt{1 - (\frac{v}{v_0})^2}} = \arcsin \frac{v}{v_0} + C$$

$$\arcsin \frac{v}{v_0} = - \frac{Bh}{\sqrt{mL}} t + C$$

$$t=0, v=v_0; \frac{\pi}{2} = C$$

$$\arcsin \frac{v}{v_0} = \frac{\pi}{2} - \frac{Bh}{\sqrt{mL}} t$$

$$v = v_0 \sin\left(\frac{\pi}{2} - \frac{Bh}{\sqrt{mL}} t\right) = v_0 \cos\left(\frac{Bh}{\sqrt{mL}} t\right)$$

$$x(t) = \frac{v_0}{\frac{Bh}{\sqrt{mL}}} \sin\left(\frac{Bh}{\sqrt{mL}} t\right) = \frac{\sqrt{mL}}{Bh} v_0 \sin\left(\frac{Bh}{\sqrt{mL}} t\right)$$

Время первой остановки: $\frac{Bh t_0}{\sqrt{mL}} = \frac{\pi}{2} \Rightarrow t_0 = \frac{\sqrt{mL}}{Bh} \cdot \frac{\pi}{2}$

$$S = x(t_0) = \frac{\sqrt{mL}}{Bh} v_0$$

Ответ: $\frac{\sqrt{mL}}{Bh} v_0$



$$(ab)c = a(bc)$$

$$E = mc^2$$



1. Используйте только размеченные стороны листов.
2. Заполните номер варианта и номер страницы в поле внизу.

Физика

Площадка написания

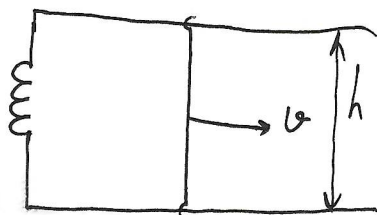
Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого

Шифр 85439 Класс 11

Вариант 6 Дата 20.02.2022



Задача N6



Заметим, что, так как сопротивления всех элементов можно пренебречь, ток через катушку должен всегда быть изменением потока через катушку всегда должно быть равно изменению потока через весь контур, т.к. иначе возник бы бесконечно большой ток.

Тогда верны следующие уравнения:

$$\begin{cases} L \frac{dI}{dt} - B l h = 0 & \text{— общий поток } 0 \\ m \frac{dv}{dt} = -B h I & \text{— сила Ампера} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{dI}{dt} = \frac{B h}{L} v \\ \frac{dv}{dt} = -\frac{B h}{m} I \end{cases} \Rightarrow \frac{dI}{dt} = -\frac{m}{L} \cdot \frac{v}{I} \cdot \frac{dv}{dt}$$

$$I dI = -\frac{m}{L} v dv$$

$$\frac{I^2}{2} = C - \frac{m}{2L} v^2$$

$$I^2 = C - \frac{m}{L} v^2$$

При $v = v_0$, $I = 0$, т.к. ток через катушку не может возрасти скачком.

$$0 = C - \frac{m}{L} v_0^2 \Rightarrow C = \frac{m}{L} v_0^2$$

$$I = \sqrt{\frac{m}{L} (v_0^2 - v^2)}$$

Приведенные выше рассуждения также верны из закона сохранения энергии:

$$\frac{L I^2}{2} + \frac{m v^2}{2} = \frac{m v_0^2}{2} \Leftrightarrow I = \sqrt{\frac{m}{L} (v_0^2 - v^2)} \quad (R \text{ очень мало} \Rightarrow \text{нет тепловых потерь})$$

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{B h}{m} \sqrt{\frac{m}{L} (v_0^2 - v^2)} \quad \text{— подставим } I \text{ в уравнение } \frac{dv}{dt} = -\frac{B h}{m} I$$

$$\frac{dv}{\sqrt{v_0^2 - v^2}} = -\frac{B h \sqrt{L}}{m} dt$$



$$(ab)c = a(bc)$$

$$E = mc^2$$



1. Используйте только размеченные стороны листов.
2. Заполните номер варианта и номер страницы в поле внизу.

Физика

Площадка написания

Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого

Шифр

85439 Класс

11

Вариант

6

Дата

20.02.2022



Задача №3

3. По определению $dA = \vec{F} \cdot d\vec{x}$, в нашем случае $\vec{F} \parallel d\vec{x} \Rightarrow dA = F dx$. Пусть v — постоянная скорость, с которой поднимают ведро, μ — постоянный массовый расход воды.

Время подъёма: $\tau = \frac{H}{v} \Rightarrow \mu = \frac{m_b}{3\tau} = \frac{m_b v}{3H}$, где m_b — начальная масса воды.

Найдём $F(t)$ — силу, с которой нужно тянуть, чтобы поднимать равномерно:

$$F(t) = (m + m_b(t))g = (m + m_b - \mu t)g = (m + m_b)g - \frac{m_b v g}{3H} t$$

$$dx = v dt$$

$$dA = F(t) dx = (m + m_b)g v dt - \frac{m_b v g}{3H} t v dt$$

$$A_0 = \int_0^\tau \left((m + m_b)g v dt - \frac{m_b v^2 g}{3H} t dt \right) = (m + m_b)g v \tau - \frac{m_b v^2 g}{3H} \left(\frac{\tau^2}{2} - 0 \right) =$$

$$= (m + m_b)g H - \frac{m_b v g H^2}{6H} = mgH + \frac{5}{6} m_b g H$$

$$A_0 = mgH + \frac{5}{6} \rho g V H = 2,9 \text{ кДж}$$

Ответ: 2,9 кДж



$$(ab)c = a(bc)$$

$$E=mc^2$$



1. Используйте только размеченные стороны листов.
2. Заполните номер варианта и номер страницы в поле внизу.

Физика



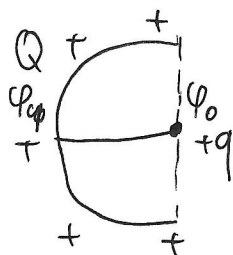
Площадка написания

Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого

Шифр 85439 Класс 11

Вариант 6 Дата 20.02.2022

Задача 1/4



Сфера приобретёт максимальную скорость, когда она отдалится от шарика на бесконечность, т.к. тогда сила их взаимодействия будет нулевой $\Rightarrow$ скорость будет расти.

Найдём потенциальную энергию их взаимодействия:

$$E_n = (q\phi_0 + Q\phi_{cp}) \frac{1}{2}$$

ϕ_0 — потенциал в центре полусферы: $\phi_0 = \frac{kQ}{R}$, т.к. все точки сферы равноудалены от её центра.

ϕ_{cp} — потенциал, который создаётся зарядом q на сфере, $\phi_{cp} = \frac{kq}{R}$

$$E_n = \left(\frac{kqQ}{R} + \frac{kqQ}{R} \right) \cdot \frac{1}{2} = \frac{kqQ}{R}$$

Когда тела разлетятся, они приобретут разные скорости — v_m , v_{cp} (скорость шарика и скорость сферы).

Кроме того, выполняется закон сохранения импульса, т.к. на оба тела действуют равные по модулю противоположные силы.

$$M v_{cp} - m v_m = 0 \Leftrightarrow v_m = \frac{M}{m} v_{cp}$$

По закону сохранения энергии:

$$\frac{kqQ}{R} = \frac{M v_{cp}^2}{2} + \frac{m v_m^2}{2} \Leftrightarrow \frac{kqQ}{R} = \frac{M v_{cp}^2}{2} + \frac{M^2 v_{cp}^2}{2m}$$

$$\frac{M}{2} v_{cp}^2 \left(1 + \frac{M}{m} \right) = \frac{kqQ}{R}$$

$$v_{cp} = \sqrt{\frac{2kqQ}{RM \left(1 + \frac{M}{m} \right)}}$$

Ответ: $\sqrt{\frac{2kqQ}{RM \left(1 + \frac{M}{m} \right)}}$



$$(ab)c = a(bc)$$

$$E = mc^2$$



1. Используйте только размеченные стороны листов.
2. Заполните номер варианта и номер страницы в поле внизу.

Физика

Площадка написания

Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого

Шифр

85439 Класс

11

Вариант

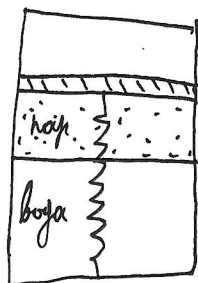
6

Дата

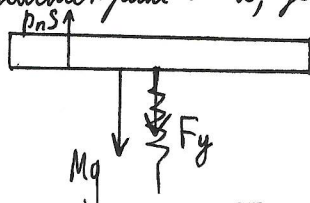
20.02.2022



Задача №5



В конце процесса пар должен стоять насыщенным, чтобы вода и пар были в равновесии. При $t = 100^\circ\text{C}$ $p_n = 10^5 \text{ Па}$ — давление насыщенного пара при 100°C . Рассмотрим силы, действующие на поршень:



$p_n S > Mg \Rightarrow F_y$ направлена вниз $\Rightarrow$ пружина растянута.

Условие равновесия: $p_n S = F_y + Mg$

$$F_y = k \Delta L$$

$$p_n S = k \Delta L + Mg$$

Объём пара будет равен $S \Delta L$, т.к. плотность воды много больше плотности пара, поэтому измещением объёма воды можно пренебречь.

Уравнение состояния для пара:

$$p_n S \Delta L = \frac{m}{M_n} R t, \text{ где } M_n - \text{молярная масса пара (вода)}$$

$$m = \frac{M_n p_n S \Delta L}{R t} = \frac{M_n p_n S}{R t} \cdot \frac{p_n S - Mg}{k} \approx 7,42$$

Ответ: 7,4 грамма.



$$(ab)c = a(bc)$$

$$E = mc^2$$



1. Используйте только размеченные стороны листов.
2. Заполните номер варианта и номер страницы в поле внизу.

Физика



Площадка написания

Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого

Шифр 85439 Класс 11

Вариант 6 Дата 20.02.2022

Заполняется проверяющим строго по образцу

Образец заполнения: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0

1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	2	1	6	1	6	1	6	1	6
2	4								

Оценка цифрами

Оценка прописью

Подпись

1	0	0	50						
---	---	---	----	--	--	--	--	--	--

Задача N 1

По формуле гравитационной силы $F_m = \frac{GM_z m}{R^2}$, где M_z - масса Земли, m - масса тела. Тогда $g(R) = \frac{F_m}{m} = \frac{GM_z}{R^2}$

$g(R) \sim \frac{1}{R^2} \Rightarrow$ чтобы ускорение уменьшилось в 4 раза, расстояние до центра Земли должно возрасти в 2 раза.

$R_0 = 2R \approx 12800 \text{ км}$ - расстояние до центра Земли.

$R_{\text{н.п.}} = R_0 - R = 6400 \text{ км}$ - расстояние до поверхности.

Ответ: $\approx 6400 \text{ км}$.



$$(ab)c = a(bc)$$

$$E = mc^2$$



1. Используйте только размеченные стороны листов.
2. Заполните номер варианта и номер страницы в поле внизу.

Физика



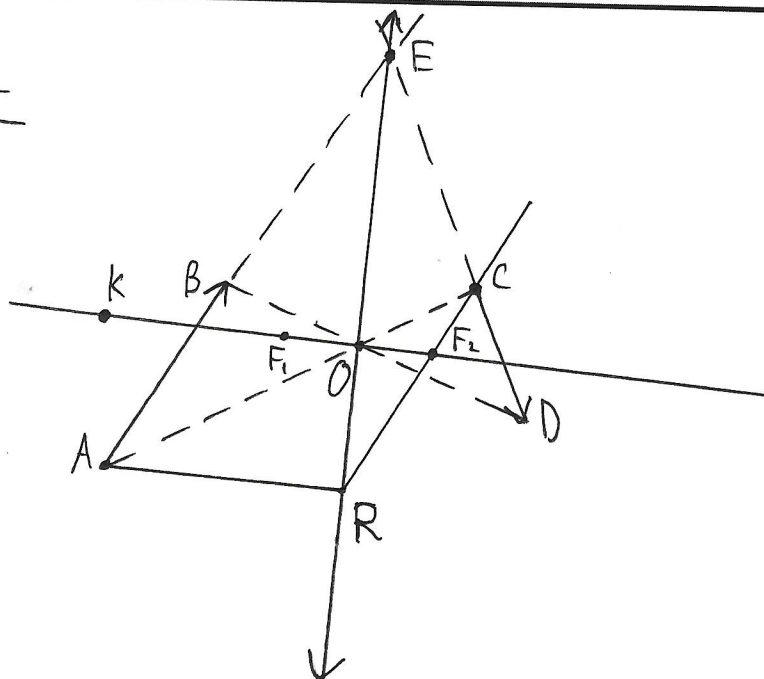
Площадка написания

Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого

Шифр 85439 Класс 11

Вариант 6 Дата 20.02.2022

Задача № 2



- 1) Лучи, проходящие через центр линзы, не преломляются $\Rightarrow$ если проведем BD , то O (центр линзы) лежит на BD . Аналогично O лежит на AC . Тогда O — их пересечение. Центр линзы найден.
- 2) Луч AB после преломления переходит в луч $CD \Rightarrow$ пересечение лучей AB и DC — точка, принадлежащая линзе (E).
- 3) Линза собирательная, т.к. изображение перевернутое. Проведем перпендикуляр KO к EO (плоскости линзы) в точке O . Тогда KO — главная оптическая ось.
- 4) Найдем фокус линзы. Проведем $AR \perp EO$. Тогда $AR \parallel KO \Rightarrow$ после преломления этот луч пройдет через фокус, а также через C . Так находим F_2 и F_1 , отразив F_2 относительно EO .