

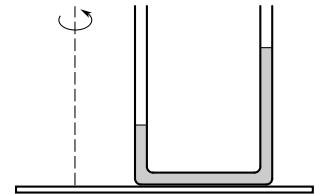
Олимпиада «ФИЗТЕХ-2012» (физика)

Билет 1

2012 г.

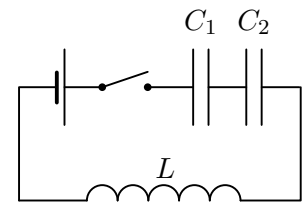
1. Небольшая шайба массой m соскальзывает без начальной скорости с вершины гладкого закреплённого полушара. С какой силой действует шайба на полушар в момент, когда касательная составляющая ускорения шайбы равна $a_\tau = \frac{3}{5}g$?

2. Изогнутая трубка состоит из одного горизонтального колена и двух вертикальных колен. Трубка укреплена на платформе, вращающейся с постоянной угловой скоростью вокруг вертикальной оси (см. рис.). Вертикальные колена находятся на расстояниях R и $3R$ от оси вращения. Установившаяся разность уровней (по высоте) налитой в трубку жидкости в вертикальных коленах равна H . Найдите угловую скорость вращения платформы. Диаметр трубки значительно меньше её длины.



3. Идеальный одноатомный газ совершает цикл, состоящий из двух изобар и двух адиабат. Найдите КПД цикла, если при изобарическом расширении газ совершил работу A , а работа газа во всём цикле $A_{\text{ц}} > 0$.

4. В схеме, показанной на рисунке, все элементы можно считать идеальными, параметры элементов указаны на рисунке. До замыкания ключа конденсаторы были не заряжены. После замыкания ключа максимальный ток в катушке равен I_0 .



1) Найдите ЭДС источника.

2) Найдите максимальное напряжение на конденсаторе C_1 .

5. Груз, висящий на пружине, совершает вертикальные колебания, двигаясь перпендикулярно главной оптической оси линзы с фокусным расстоянием $F = 18$ см. На экране, который можно перемещать, получено изображение груза. При этом максимальная скорость изображения оказалась в 3 раза больше максимальной скорости груза.

1) Найдите расстояние между грузом и линзой.

2) На какое расстояние и куда (по отношению к грузу) следует переместить линзу, чтобы максимальная скорость изображения увеличилась в 2 раза по сравнению с предыдущей?

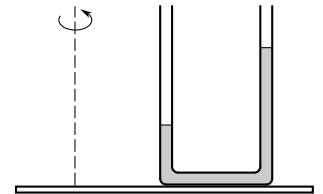
Олимпиада «ФИЗТЕХ-2012» (физика)

Билет 2

2012 г.

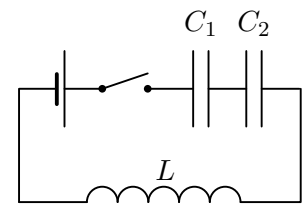
1. Небольшая шайба массой m соскальзывает без начальной скорости с вершины гладкого закреплённого полушара. Найдите касательную составляющую ускорения шайбы (в единицах g) в момент, когда шайба действует на полушар с силой $\frac{1}{2}mg$.

2. Изогнутая трубка состоит из одного горизонтального колена и двух вертикальных колен. Трубка укреплена на платформе, вращающейся с постоянной угловой скоростью ω вокруг вертикальной оси (см. рис.). Вертикальные колена находятся на расстояниях R и $2R$ от оси вращения. Найдите установившуюся разность уровней (по высоте) налитой в трубку воды в её вертикальных коленах. Диаметр трубки значительно меньше её длины.



3. Идеальный одноатомный газ совершает цикл, состоящий из двух изобар и двух адиабат. КПД цикла равен η . Найдите отношение работ, совершённых газом на изобарах.

4. В схеме, показанной на рисунке, все элементы можно считать идеальными, параметры элементов указаны на рисунке. До замыкания ключа конденсаторы были не заряжены. После замыкания ключа максимальное напряжение на конденсаторе C_1 равно U_0 .



1) Найдите ЭДС источника.

2) Найдите максимальный ток после замыкания ключа.

5. Шарик, висящий на пружине, совершает вертикальные колебания, двигаясь перпендикулярно главной оптической оси линзы с фокусным расстоянием $F = 12$ см. На экране, который можно перемещать, получено изображение шарика. При этом максимальная скорость изображения оказалась в 2 раза меньше максимальной скорости шарика.

1) Найдите расстояние между шариком и линзой.

2) На какое расстояние и куда (по отношению к шарiku) следует переместить линзу, чтобы максимальная скорость изображения увеличилась в 12 раз по сравнению с предыдущей?

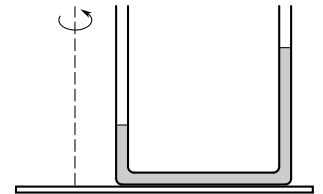
Олимпиада «ФИЗТЕХ-2012» (физика)

Билет 3

2012 г.

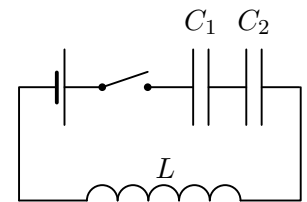
1. Небольшая шайба массой m соскальзывает без начальной скорости с вершины гладкого закреплённого полушара. С какой силой действует шайба на полушар в момент, когда касательная составляющая ускорения шайбы равна $a_\tau = \frac{5}{13}g$?

2. Изогнутая трубка состоит из одного горизонтального колена и двух вертикальных колен. Трубка укреплена на платформе, вращающейся с постоянной угловой скоростью вокруг вертикальной оси (см. рис.). Вертикальные колена находятся на расстояниях R и $5R$ от оси вращения. Установившаяся разность уровней (по высоте) налитой в трубку жидкости в вертикальных коленах равна H . Найдите угловую скорость вращения платформы. Диаметр трубки значительно меньше её длины.



3. Идеальный одноатомный газ совершает цикл, состоящий из двух изобар и двух адиабат. Найдите КПД цикла, если при изобарическом сжатии над газом совершили работу A , а работа газа во всём цикле $A_{\text{ц}} > 0$.

4. В схеме, показанной на рисунке, все элементы можно считать идеальными, параметры элементов указаны на рисунке. До замыкания ключа конденсаторы были не заряжены. После замыкания ключа максимальный ток в катушке равен I_0 .



1) Найдите ЭДС источника.

2) Найдите максимальное напряжение на конденсаторе C_2 .

5. Болт, висящий на пружине, совершает вертикальные колебания, двигаясь перпендикулярно главной оптической оси линзы с фокусным расстоянием $F = 32$ см. На экране, который можно перемещать, получено изображение болта. При этом максимальная скорость изображения оказалась в 8 раз больше максимальной скорости болта.

1) Найдите расстояние между болтом и линзой.

2) На какое расстояние и куда (по отношению к болту) следует переместить линзу, чтобы максимальная скорость изображения уменьшилась в 4 раза по сравнению с предыдущей?

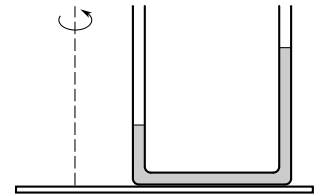
Олимпиада «ФИЗТЕХ-2012» (физика)

Билет 4

2012 г.

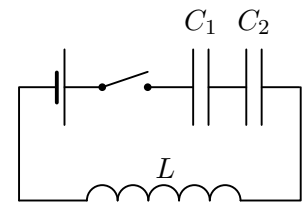
1. Небольшая шайба массой m соскальзывает без начальной скорости с вершины гладкого закреплённого полушара. Найдите касательную составляющую ускорения шайбы (в единицах g) в момент, когда шайба действует на полушар с силой $\frac{1}{3}mg$.

2. Изогнутая трубка состоит из одного горизонтального колена и двух вертикальных колен. Трубка укреплена на платформе, вращающейся с постоянной угловой скоростью ω вокруг вертикальной оси (см. рис.). Вертикальные колена находятся на расстояниях R и $4R$ от оси вращения. Найдите установившуюся разность уровней (по высоте) налитой в трубку воды в её вертикальных коленах. Диаметр трубки значительно меньше её длины.



3. Идеальный одноатомный газ совершает цикл, состоящий из двух изобар и двух адиабат. Найдите КПД цикла, если работа, совершённая над газом при изобарическом сжатии, в три раза меньше работы, совершённой газом при изобарическом расширении.

4. В схеме, показанной на рисунке, все элементы можно считать идеальными, параметры элементов указаны на рисунке. До замыкания ключа конденсаторы были не заряжены. После замыкания ключа максимальное напряжение на конденсаторе C_2 равно U_0 .



1) Найдите ЭДС источника.

2) Найдите максимальный ток после замыкания ключа.

5. Гайка, висящая на пружине, совершает вертикальные колебания, двигаясь перпендикулярно главной оптической оси линзы с фокусным расстоянием $F = 20$ см. На экране, который можно перемещать, получено изображение гайки. При этом максимальная скорость изображения оказалась в 3 раза меньше максимальной скорости гайки.

1) Найдите расстояние между гайкой и линзой.

2) На какое расстояние и куда (по отношению к гайке) следует переместить линзу, чтобы максимальная скорость изображения уменьшилась в 2 раза по сравнению с предыдущей?

Олимпиада «ФИЗТЕХ-2012» (физика)

Решения

Билет 1

1. Пусть α — угол между радиусом, проведённым к шайбе, и вертикалью.

$$mg \cos \alpha - N = \frac{mv^2}{R}, \quad \frac{mv^2}{2} = mg(R - R \cos \alpha)$$

$$N = mg(3 \cos \alpha - 2).$$

$$mg \sin \alpha = ma_\tau, \quad a_\tau = \frac{3}{5}g \Rightarrow \sin \alpha = \frac{3}{5}, \quad \cos \alpha = \frac{4}{5}.$$

$$N = \frac{2}{5}mg.$$

2. Мысленно выделенный столбик жидкости сечением S в горизонтальном колене имеет массу $m = \rho S(3R - R) = 2\rho SR$. Ускорение центра масс $a_c = \omega^2 \frac{3R+R}{2} = 2\omega^2 R$. По второму закону Ньютона $\rho g HS = ma_c$. Угловая скорость $\omega = \frac{\sqrt{gH}}{2R}$.

3. Пусть в процессе 1–2 изобарического расширения газ получил количество теплоты Q_{12} . Тогда

$$Q_{12} = \nu \frac{3}{2}R(T_2 - T_1) + A, \quad Q_{12} = \nu \frac{5}{2}R(T_2 - T_1).$$

Отсюда $Q_{12} = \frac{5}{2}A$. КПД цикла $\eta = \frac{A_{ц}}{Q_{12}} = \frac{2A_{ц}}{5A}$.

4. Общая ёмкость $C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$.

1) При максимальном токе напряжение на конденсаторе C будет равно ЭДС источника \mathcal{E} . От момента замыкания до момента максимального тока работа источника $A = C\mathcal{E} \cdot \mathcal{E} = C\mathcal{E}^2$. Из ЗСЭ

$$A = \frac{C\mathcal{E}^2}{2} + \frac{LI_0^2}{2}$$

получаем

$$\mathcal{E} = I_0 \sqrt{\frac{L}{C}} = I_0 \sqrt{\frac{L(C_1 + C_2)}{C_1 C_2}}.$$

2) При максимальном напряжении U_1 на C_1 (и одновременно максимальном напряжении U_m на C) будет равен нулю ток в цепи. ЗСЭ от момента замыкания до момента нулевого тока: $CU_m \cdot \mathcal{E} = \frac{1}{2}CU_m^2$. Отсюда $U_m = 2\mathcal{E}$. На C_1 максимальное напряжение

$$U_1 = \frac{2\mathcal{E}C_2}{C_1 + C_2} = 2I_0 \sqrt{\frac{LC_2}{C_1(C_1 + C_2)}}.$$

5. 1) Начальное поперечное увеличение $\Gamma_1 = 3$.

$$\frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_1} = \frac{1}{F}, \quad \Gamma_1 = \frac{f_1}{d_1} \Rightarrow d_1 = F \frac{\Gamma_1 + 1}{\Gamma_1} = 24 \text{ см.}$$

2) Конечное поперечное увеличение $\Gamma_2 = 3 \cdot 2 = 6$.

$$d_1 - d_2 = F \left(\frac{1}{\Gamma_1} - \frac{1}{\Gamma_2} \right) = 3 \text{ см.}$$

Линзу надо переместить на 3 см к грузу.

Олимпиада «ФИЗТЕХ-2012» (физика)

Решения

Билет 2

1. $\cos \alpha = \frac{5}{6}, \quad \sin \alpha = \frac{\sqrt{11}}{6}, \quad a_\tau = \frac{\sqrt{11}}{6}g.$

2. $H = \frac{3\omega^2 R^2}{2g}.$

3. Пусть 1–2 — изобарическое расширение, 2–3 — адиабатическое расширение, 3–4 — изобарическое сжатие, 4–1 — адиабатическое сжатие.

$$\eta = \frac{A_{\text{п}}}{Q_{12}} = \frac{Q_{12} + Q_{34}}{Q_{12}} = 1 + \frac{Q_{34}}{Q_{12}},$$

$$Q_{12} = \nu \frac{3}{2} R(T_2 - T_1) + A_{12} = \nu \frac{5}{2} R(T_2 - T_1), \quad Q_{34} = \nu \frac{3}{2} R(T_4 - T_3) + A_{34} = \nu \frac{5}{2} R(T_4 - T_3).$$

Отсюда $Q_{12} = \frac{5}{2}A_{12}, Q_{34} = \frac{5}{2}A_{34}$, отношение работ $\frac{A_{12}}{A_{34}} = \frac{1}{\eta - 1} < 0$.

4. 1) При максимальном напряжении на C_1 заряд конденсаторов $C_1 U_0$, ток равен нулю. ЗСЭ:

$$C_1 U_0 \cdot \mathcal{E} = \frac{1}{2} C_1 U_0^2 + \frac{(C_1 U_0)^2}{2C_2}.$$

Отсюда $\mathcal{E} = \frac{U_0(C_1 + C_2)}{2C_2}.$

2) При максимальном токе I_0 напряжение на конденсаторе ёмкостью $C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$ будет равно ЭДС \mathcal{E} . ЗСЭ:

$$C \mathcal{E} \cdot \mathcal{E} = \frac{C \mathcal{E}^2}{2} + \frac{L I_0^2}{2}.$$

Отсюда $I_0 = \mathcal{E} \sqrt{\frac{C}{L}}$. Окончательно $I_0 = \frac{U_0}{2} \sqrt{\frac{C_1(C_1 + C_2)}{C_2 L}}$.

5. 1) $\Gamma_1 = \frac{1}{2}, \quad d_1 = F \frac{\Gamma_1 + 1}{\Gamma_1} = 36 \text{ см.}$

2) $\Gamma_2 = \frac{1}{2} \cdot 12 = 6, \quad d_1 - d_2 = F \left(\frac{1}{\Gamma_1} - \frac{1}{\Gamma_2} \right) = 22 \text{ см.}$ Линзу надо переместить на 22 см к шарик.

Олимпиада «ФИЗТЕХ-2012» (физика)

Решения

Билет 3

1. $\sin \alpha = \frac{5}{13}, \quad \cos \alpha = \frac{12}{13}. \quad N = \frac{10}{13}mg.$

2. $\omega = \frac{1}{2R} \sqrt{\frac{gH}{3}}.$

3. Пусть 1–2 — изобарическое расширение, 2–3 — адиабатическое расширение, 3–4 — изобарическое сжатие, 4–1 — адиабатическое сжатие.

$$\eta = \frac{A_{\text{ц}}}{Q_{12}}, \quad Q_{12} + Q_{34} = A_{\text{ц}}, \quad Q_{34} = \nu \frac{3}{2} R(T_4 - T_3) + (-A), \quad Q_{34} = \nu \frac{5}{2} R(T_4 - T_3).$$

Отсюда $\eta = \frac{2A_{\text{ц}}}{2A_{\text{ц}} + 5A}.$

4. 1) $\mathcal{E} = I_0 \sqrt{\frac{L(C_1 + C_2)}{C_1 C_2}}.$ 2) $U_1 = \frac{2\mathcal{E} C_1}{C_1 + C_2} = 2I_0 \sqrt{\frac{LC_1}{C_2(C_1 + C_2)}}.$

5. 1) $\Gamma_1 = 8. \quad d_1 = F \frac{\Gamma_1 + 1}{\Gamma_1} = 36 \text{ см.}$

2) $\Gamma_2 = 8/4 = 2. \quad d_1 - d_2 = F \left(\frac{1}{\Gamma_1} - \frac{1}{\Gamma_2} \right) = -12 \text{ см.}$ Линзу надо переместить на 12 см от болта.

Олимпиада «ФИЗТЕХ-2012» (физика)

Решения

Билет 4

1. $\cos \alpha = \frac{7}{9}$, $\sin \alpha = \frac{4\sqrt{2}}{9}$. $a_\tau = \frac{4\sqrt{2}}{9}g$.

2. $H = \frac{15\omega^2 R^2}{2g}$.

3. См. бил. 2. По условию $\frac{A_{12}}{-A_{34}} = 3$. Ответ: $\eta = \frac{2}{3}$.

4. 1) $\mathcal{E} = \frac{U_0(C_1 + C_2)}{2C_1}$. 2) $I_0 = \frac{U_0}{2} \sqrt{\frac{C_2(C_1 + C_2)}{C_1 L}}$.

5. 1) $\Gamma_1 = 1/3$. $d_1 = F \frac{\Gamma_1 + 1}{\Gamma_1} = 80$ см.

2) $\Gamma_2 = \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{6}$. $d_1 - d_2 = F \left(\frac{1}{\Gamma_1} - \frac{1}{\Gamma_2} \right) = -60$ см. Линзу надо переместить на 60 см от гайки.

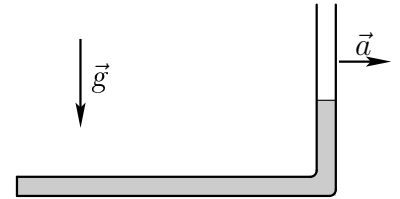
Олимпиада «ФИЗТЕХ-2012» (физика)

Билет 5

2012 г.

1. Маленький шарик массой m висит неподвижно на невесомой нерастяжимой нити длиной l . Шарик толчком сообщают такую горизонтальную скорость, что он в итоге поднимается над начальной точкой на максимальную высоту $h_0 < l$. Найдите силу натяжения нити в момент, когда шарик находился на высоте $h = h_0/2$.

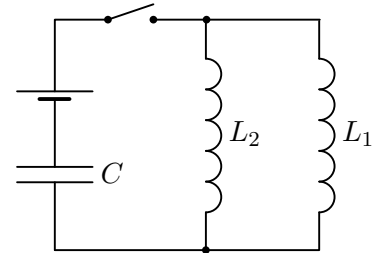
2. Изогнутая трубка состоит из горизонтального колена длиной l , запаянного с одного конца, и вертикального колена, открытого в атмосферу (см. рис.). Трубка заполнена водой так, что в вертикальном колене высота столба воды равна $l/3$. Трубку двигают с ускорением $a = g/5$, направленным вдоль горизонтального колена. Плотность воды ρ , атмосферное давление P_0 . Диаметр трубки значительно меньше её длины.



- 1) Найдите давление в воде в месте изгиба трубки.
- 2) Найдите давление в воде у запаянного конца трубки.

3. С ν молями идеального одноатомного газа проводят прямой циклический процесс, состоящий из двух изохор и двух адиабат. В процессе адиабатического расширения температура газа уменьшается на ΔT_1 ($\Delta T_1 > 0$), а в процессе адиабатического сжатия изменение температуры вдвое меньше. Сколько тепла подводится к газу при изохорическом нагревании, если при изохорическом охлаждении температура уменьшается на ΔT_2 ($\Delta T_2 > 0$)?

4. В схеме, показанной на рисунке, все элементы можно считать идеальными, параметры элементов указаны на рисунке. До замыкания ключа ток в цепи отсутствовал, конденсатор был не заряжен. После замыкания ключа максимальное напряжение на конденсаторе равно U_0 .



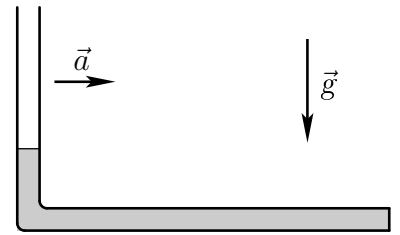
- 1) Найдите ЭДС источника.
- 2) Найдите максимальный ток в катушке L_1 .

5. Шарик, висящий на пружине, совершает вертикальные колебания, двигаясь перпендикулярно главной оптической оси линзы с фокусным расстоянием $F_1 = 20$ см. На экране, который можно перемещать, получено изображение шарика. При этом максимальная скорость изображения оказалась в 2 раза больше максимальной скорости шарика.

- 1) Найдите расстояние между шариком и линзой.
- 2) Найдите фокусное расстояние F_2 ($F_2 < 0$) рассеивающей линзы, которую надо поместить вплотную к собирающей линзе, чтобы максимальная скорость изображения увеличилась в 3 раза по сравнению с предыдущей.

1. Маленький шарик массой m висит неподвижно на невесомой нерастяжимой нити длиной l . Шарику толчком сообщают такую горизонтальную скорость, что при последующем движении шарик поднимается над начальной точкой на высоту меньшую l , а минимальная сила натяжения нити равна $\frac{1}{2}mg$. На какой высоте находился шарик в момент, когда сила натяжения нити равнялась mg ?

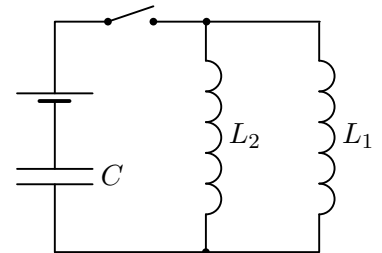
2. Изогнутая трубка состоит из горизонтального колена длиной l , запаянного с одного конца, и вертикального колена, открытого в атмосферу (см. рис.). Трубка заполнена жидкостью так, что в вертикальном колене высота столба жидкости равна $l/4$. Трубку двигают с ускорением $a = g/8$, направленным вдоль горизонтального колена. Плотность жидкости ρ , атмосферное давление P_0 . Диаметр трубки значительно меньше её длины.



- 1) Найдите давление в жидкости в месте изгиба трубки.
- 2) Найдите давление в жидкости у запаянного конца трубки.

3. С идеальным одноатомным газом проводят циклический процесс, состоящий из двух изохор и двух адиабат. В процессе адиабатического расширения газ совершает работу A , а в процессе изохорического нагревания к газу подводят количество теплоты Q . КПД цикла равен η . Найдите отношение изменений температуры в процессах адиабатического расширения и сжатия.

4. В схеме, показанной на рисунке, все элементы можно считать идеальными, параметры элементов указаны на рисунке. До замыкания ключа ток в цепи отсутствовал, конденсатор был не заряжен. После замыкания ключа максимальный ток в катушке L_1 равен I_0 .



- 1) Найдите ЭДС источника.
- 2) Найдите максимальное напряжение на конденсаторе.

5. Висящий на пружине груз совершает вертикальные колебания, двигаясь перпендикулярно главной оптической оси линзы с фокусным расстоянием $F_1 = 32$ см. На экране, который можно перемещать, получено изображение груза. При этом максимальная скорость изображения оказалась в 8 раз больше максимальной скорости груза.

- 1) Найдите расстояние между грузом и линзой.
- 2) Найдите фокусное расстояние F_2 собирающей линзы, которую надо поместить вплотную к первой линзе, чтобы максимальная скорость изображения уменьшилась в 4 раза по сравнению с предыдущей.

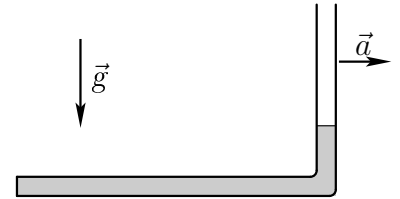
Олимпиада «ФИЗТЕХ-2012» (физика)

Билет 7

2012 г.

1. Маленький шарик массой m висит неподвижно на невесомой нерастяжимой нити длиной l . Шарик толчком сообщают такую горизонтальную скорость, что он в итоге поднимается над начальной точкой на максимальную высоту $h_0 < l$. На какой высоте находился шарик в момент, когда сила натяжения нити равнялась mg ?

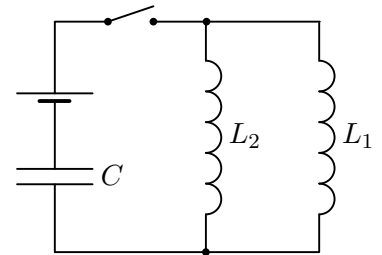
2. Изогнутая трубка состоит из горизонтального колена длиной l , запаянного с одного конца, и вертикального колена, открытого в атмосферу (см. рис.). Трубка заполнена маслом так, что в вертикальном колене высота столба масла равна $l/5$. Трубку двигают с ускорением $a = g/7$, направленным вдоль горизонтального колена. Плотность масла ρ , атмосферное давление P_0 . Диаметр трубки значительно меньше её длины.



- 1) Найдите давление в масле в месте изгиба трубки.
- 2) Найдите давление в масле у запаянного конца трубки.

3. С ν молями идеального одноатомного газа проводят прямой циклический процесс, состоящий из двух изохор и двух адиабат. В процессе адиабатического сжатия температура газа изменяется на ΔT_1 , а в процессе адиабатического расширения модуль изменения температуры втрое больше. Найдите совершённую газом в цикле работу, если при изохорическом нагревании температура газа изменяется на ΔT_2 ?

4. В схеме, показанной на рисунке, все элементы можно считать идеальными, параметры элементов указаны на рисунке. До замыкания ключа ток в цепи отсутствовал, конденсатор был не заряжен. После замыкания ключа максимальное напряжение на конденсаторе равно U_0 .



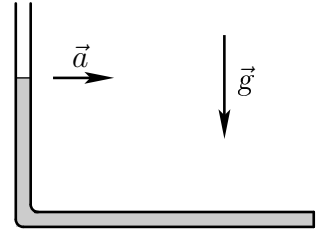
- 1) Найдите ЭДС источника.
- 2) Найдите максимальный ток в катушке L_2 .

5. Болт, висящий на пружине, совершает вертикальные колебания, двигаясь перпендикулярно главной оптической оси линзы с фокусным расстоянием $F_1 = 15$ см. На экране, который можно перемещать, получено изображение болта. При этом максимальная скорость изображения оказалась в 1,5 раза больше максимальной скорости болта.

- 1) Найдите расстояние между болтом и линзой.
- 2) Найдите фокусное расстояние F_2 ($F_2 < 0$) рассеивающей линзы, которую надо поместить вплотную к собирающей линзе, чтобы максимальная скорость изображения увеличилась в 4 раза по сравнению с предыдущей.

1. Маленький шарик массой m висит неподвижно на невесомой нерастяжимой нити длиной l . Шарик толчком сообщают такую горизонтальную скорость, что при последующем движении шарик поднимается над начальной точкой на высоту меньшую l , а минимальная сила натяжения нити равна $\frac{1}{3}mg$. На какой высоте находился шарик в момент, когда сила натяжения нити равнялась mg ?

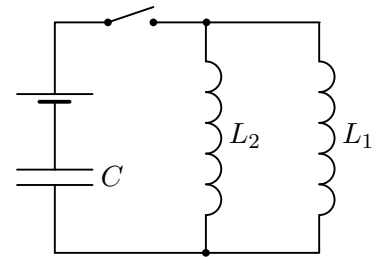
2. Изогнутая трубка состоит из горизонтального колена длиной l , запаянного с одного конца, и вертикального колена, открытого в атмосферу (см. рис.). Трубка заполнена жидкостью так, что в вертикальном колене высота столба жидкости равна $l/2$. Трубку двигают с ускорением $a = g/9$, направленным вдоль горизонтального колена. Плотность жидкости ρ , атмосферное давление P_0 . Диаметр трубки значительно меньше её длины.



- 1) Найдите давление в жидкости в месте изгиба трубки.
- 2) Найдите давление в жидкости у запаянного конца трубки.

3. С идеальным одноатомным газом проводят циклический процесс, состоящий из двух изохор и двух адиабат. В процессе адиабатического сжатия над газом совершается работа A ($A > 0$), а в процессе изохорического охлаждения от газа отводят количество теплоты Q ($Q > 0$). КПД цикла равен η . Найдите отношение изменений температуры в процессах адиабатического расширения и сжатия.

4. В схеме, показанной на рисунке, все элементы можно считать идеальными, параметры элементов указаны на рисунке. До замыкания ключа ток в цепи отсутствовал, конденсатор был не заряжен. После замыкания ключа максимальный ток в катушке L_2 равен I_0 .



- 1) Найдите ЭДС источника.
- 2) Найдите максимальное напряжение на конденсаторе.

5. Висящая на пружине гайка совершает вертикальные колебания, двигаясь перпендикулярно главной оптической оси линзы с фокусным расстоянием $F_1 = 24$ см. На экране, который можно перемещать, получено изображение гайки. При этом максимальная скорость изображения оказалась в 6 раз больше максимальной скорости гайки.

- 1) Найдите расстояние между гайкой и линзой.
- 2) Найдите фокусное расстояние F_2 собирающей линзы, которую надо поместить вплотную к первой линзе, чтобы максимальная скорость изображения уменьшилась в 3 раза по сравнению с предыдущей.

Олимпиада «ФИЗТЕХ-2012» (физика)

Решения

Билет 5

1. Пусть φ — угол отклонения нити от вертикали. Из уравнений

$$\frac{mv^2}{2} = mg(h_0 - h), \quad T - mg \cos \varphi = m \frac{v^2}{l}, \quad \cos \varphi = \frac{l - h}{l}$$

получаем зависимость силы натяжения нити T от высоты h : $T = mg \frac{l + 2h_0 - 3h}{l}$.

При $h = \frac{1}{2}h_0$ имеем

$$T = mg \left(1 + \frac{h_0}{2l} \right).$$

2. 1) $P_1 = P_0 + \frac{1}{3}\rho gl$.

2) Мысленно выделенный столбик жидкости сечением S в горизонтальном колене имеет массу $m = \rho Sl$. По второму закону Ньютона $P_2S - P_1S = ma$.

$$P_2 = P_1 + \rho al = P_0 + \frac{8}{15}\rho gl.$$

3. Пусть 1–2 — адиабатическое расширение, 2–3 — изохорическое охлаждение, 3–4 — адиабатическое сжатие, 4–1 — изохорическое нагревание.

$$Q_{41} = \nu \frac{3}{2} R(T_1 - T_4), \quad T_1 - T_2 = \Delta T_1, \quad T_4 - T_3 = \frac{1}{2} \Delta T_1, \quad T_2 - T_3 = \Delta T_2.$$

$$Q_{41} = \frac{3}{4} \nu R(\Delta T_1 + 2\Delta T_2).$$

4. Напряжения на параллельно соединённых катушках всё время одинаковы: $L_1 I_1' = L_2 I_2'$, или $(L_1 I_1 - L_2 I_2)' = 0$, откуда получаем, что величина $L_1 I_1 - L_2 I_2$ остаётся постоянной. Т.к. в начальный момент токи в катушках отсутствовали, эта постоянная равна нулю, и, следовательно, в любой момент времени токи в катушках удовлетворяют условию $L_1 I_1 = L_2 I_2$. Суммарная энергия катушек при этом равна

$$W = \frac{L_1 I_1^2}{2} + \frac{L_2 I_2^2}{2} = \frac{L_1 I_1^2}{2} + \frac{L_2}{2} \left(\frac{L_1}{L_2} I_1 \right)^2 = \frac{L_1 I_1^2}{2} \left(1 + \frac{L_1}{L_2} \right).$$

1) При максимальном напряжении U_0 на конденсаторе заряд конденсатора CU_0 , ток равен нулю. ЗСЭ: $CU_0 \cdot \mathcal{E} = \frac{1}{2} CU_0^2$. Отсюда $\mathcal{E} = \frac{U_0}{2}$.

2) При максимальном токе I_1 через первую катушку будет максимален и ток через вторую катушку. Напряжения на катушках в этот момент равны нулю, поэтому напряжение на конденсаторе будет равно ЭДС источника. Из ЗСЭ получаем:

$$C \mathcal{E} \cdot \mathcal{E} = \frac{C \mathcal{E}^2}{2} + \frac{L_1 I_{1m}^2}{2} \left(1 + \frac{L_1}{L_2} \right).$$

$$\text{Отсюда } I_{1m} = \frac{U_0}{2} \sqrt{\frac{CL_2}{L_1(L_1 + L_2)}}.$$

5. 1) Начальное поперечное увеличение $\Gamma_1 = 2$. $\frac{1}{d} + \frac{1}{\Gamma_1 d} = \frac{1}{F_1} \Rightarrow d = F_1 \frac{\Gamma_1 + 1}{\Gamma_1} = 30$ см.

2) Конечное поперечное увеличение $\Gamma_2 = 3 \cdot 2 = 6$. $\frac{1}{d} + \frac{1}{\Gamma_2 d} = \frac{1}{F_1} + \frac{1}{F_2}$.

$$F_2 = F_1 \frac{(\Gamma_1 + 1)\Gamma_2}{\Gamma_1 - \Gamma_2} = -90 \text{ см.}$$

Олимпиада «ФИЗТЕХ-2012» (физика)

Решения

Билет 6

1. См. билет 5. Из зависимости силы натяжения нити T от высоты h

$$T = mg \frac{l + 2h_0 - 3h}{l}$$

получаем, что сила натяжения нити минимальна при наибольшей высоте h (т.е. при $h = h_0$):

$$T_{\min} = mg \frac{l - h_0}{l}.$$

Из условия $T_{\min} = \frac{1}{2}mg$ получаем $h_0 = \frac{l}{2}$ и $T = mg \frac{2l - 3h}{l}$, поэтому равенство $T = mg$ выполнялось при $h = \frac{l}{3}$.

2. 1) $P_1 = P_0 + \frac{1}{4}\rho gl$. 2) $P_2 = P_1 - \rho al = P_0 + \frac{1}{8}\rho gl$.

3. $0 = \nu C_V(T_2 - T_1) + A$, $0 = \nu C_V(T_4 - T_3) + A_{34}$, $\eta = \frac{A + A_{34}}{Q}$.

$$x = \frac{T_2 - T_1}{T_4 - T_3} = \frac{A}{\eta Q - A}.$$

4. См. билет 5.

1) При максимальном токе напряжение на конденсаторе будет равно ЭДС \mathcal{E} . Из ЗСЭ

$$C\mathcal{E} \cdot \mathcal{E} = \frac{C\mathcal{E}^2}{2} + \frac{L_1 I_0^2}{2} \left(1 + \frac{L_1}{L_2}\right).$$

находим:

$$\mathcal{E} = I_0 \sqrt{\frac{L_1(L_1 + L_2)}{L_2 C}}.$$

2) При максимальном напряжении U_0 на конденсаторе заряд конденсатора CU_0 , ток равен нулю. ЗСЭ:

$$CU_0 \cdot \mathcal{E} = \frac{1}{2}CU_0^2.$$

Отсюда $U_0 = 2\mathcal{E}$. Окончательно $U_0 = 2I_0 \sqrt{\frac{L_1(L_1 + L_2)}{L_2 C}}$.

5. 1) $\Gamma_1 = 8$. $\Gamma_2 = 8/4 = 2$. 1) $d = 36$ см. 2) $F_2 = 96$ см.

Олимпиада «ФИЗТЕХ-2012» (физика)

Решения

Билет 7

1. См. билет 5. Из зависимости силы натяжения нити T от высоты h

$$T = mg \frac{l + 2h_0 - 3h}{l}$$

получаем, что $T = mg$ при $h = \frac{2}{3}h_0$.

2. 1) $P_1 = P_0 + \frac{1}{5}\rho gl$. 2) $P_2 = P_1 + \rho al = P_0 + \frac{12}{35}\rho gl$.

3. $0 = \nu C_V(-3\Delta T_1) + A_{12}$, $0 = \nu C_V\Delta T_1 + A_{34}$, $A_0 = A_{12} + A_{34}$. $A_0 = 3\nu R\Delta T_1$.

4. См. билет 5. 1) $\mathcal{E} = \frac{U_0}{2}$. 2) Максимальный ток в L_2 равен $I_{2m} = \frac{U_0}{2} \sqrt{\frac{CL_1}{L_2(L_1 + L_2)}}$.

5. 1) $\Gamma_1 = 1,5$. $\Gamma_2 = 1,5 \cdot 4 = 6$. 1) $d = 25$ см. 2) $F_2 = -50$ см.

Олимпиада «ФИЗТЕХ-2012» (физика)

Решения

Билет 8

1. См. билет 6. Из условия $T_{\min} = \frac{1}{3}mg$ получаем $h_0 = \frac{2}{3}l$.

$$T = mg \text{ при } h = \frac{4}{9}l.$$

2. 1) $P_1 = P_0 + \frac{1}{2}\rho gl$. 2) $P_2 = P_1 - \rho al = P_0 + \frac{7}{18}\rho gl$.

3. $0 = \nu C_V(T_2 - T_1) + A_{12}$, $0 = \nu C_V(T_4 - T_3) + (-A)$,

$$\eta = \frac{A_{12} + (-A)}{Q_{41}}, \quad Q_{41} + (-Q) = A_{12} + (-A).$$

$$x = \frac{T_2 - T_1}{T_4 - T_3} = - \left(\frac{\eta}{1 - \eta} \frac{Q}{A} + 1 \right).$$

4. См. билет 6. 1) $\mathcal{E} = I_0 \sqrt{\frac{L_2(L_1 + L_2)}{L_1 C}}$. 2) $U_0 = 2\mathcal{E} = 2I_0 \sqrt{\frac{L_2(L_1 + L_2)}{L_1 C}}$.

5. 1) $\Gamma_1 = 6$. $\Gamma_2 = 6/3 = 2$. 1) $d = 28$ см. 2) $F_2 = 84$ см.

Критерии оценивания Билеты 1 - 4

Указанные очки даются только за полностью правильно выполненный пункт. В случае неполного или не во всём правильного решения проверяющий может поставить часть очков. Если абитуриент ввёл новое обозначение (за исключением общепринятых), то он должен написать, что оно означает. Проверяющий не обязан додумывать за абитуриента. Полностью решённый вариант «стоит» 40 очков.

Задача 1. (8 очков)

- Правильно записан ЗСЭ 2 очка
- Правильно записано уравнение 2 закона Ньютона на радиальное направление 2 очка
- Правильно записано уравнение 2 закона Ньютона на касательное направление 2 очка
- Ответ 2 очка

Задача 2. (8 очков)

- Правильные выражения для давлений в местах изгиба 2 очка
- Правильно записано уравнение 2 закона Ньютона в горизонтальном колене 4 очка
- Ответ 2 очка

Задача 3. (8 очков)

- Правильно записаны все необходимые уравнения 5 очков
- Ответ 3 очка

Задача 4. (8 очков)

- Есть понимание, какое напряжение на конденсаторах при максимальном токе 1 очко
- Есть понимание, что ток равен нулю при максимальном напряжении на конденсаторе 1 очко
- 1) Ответ на первый вопрос (найдена ЭДС) 3 очка
- 2) Ответ на второй вопрос 3 очка

Задача 5. (8 очков)

- 1) Ответ на первый вопрос 2 очка
- 2) Найдено перемещение линзы 5 очков
- Указано куда 1 очко

Критерии оценивания Билеты 5 - 8

Указанные очки даются только за полностью правильно выполненный пункт. В случае неполного или не во всём правильного решения проверяющий может поставить часть очков. Если абитуриент ввёл новое обозначение (за исключением общепринятых), то он должен написать, что оно означает. Проверяющий не обязан додумывать за абитуриента. Полностью решённый вариант «стоит» 40 очков.

Задача 1. (8 очков)

- Правильно записано уравнение 2 закона Ньютона
на радиальное направление 2 очка
Правильно записаны все остальные необходимые уравнения 4 очка
Ответ 2 очка

Задача 2. (8 очков)

- 1) Ответ на первый вопрос (давление в месте изгиба) 2 очка
2) Правильно записано уравнение 2 закона Ньютона в
горизонтальном колене 4 очка
Ответ 2 очка

Задача 3. (8 очков)

- Правильно записаны все необходимые уравнения 5 очков
Ответ 3 очка

Задача 4. (8 очков)

- Есть понимание, какое напряжение на конденсаторе
при максимальном токе 1 очко
Есть понимание, что ток равен нулю при максимальном
напряжении на конденсаторе 1 очко
1) Ответ на первый вопрос (найдена ЭДС) 3 очка
2) Ответ на второй вопрос 3 очка

Задача 5. (8 очков)

- 1) Ответ на первый вопрос 2 очка
2) Правильно записаны все необходимые уравнения 4 очка
Ответ на второй вопрос 2 очка