

Задача 1 (10,0 балла)

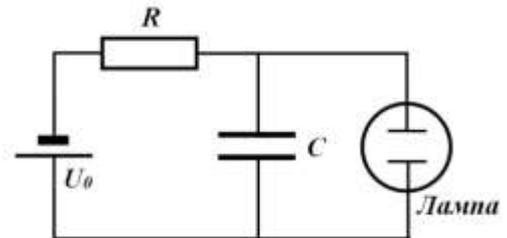
Эта задача состоит из трех независимых частей.

Часть 1А (3,0 балла)

Цепочка массы m висит неподвижно, касаясь нижним концом поверхности стола. Цепочку отпускают. Найдите среднюю величину силы давления цепочки на стол за время падения. Ускорение свободного падения g .

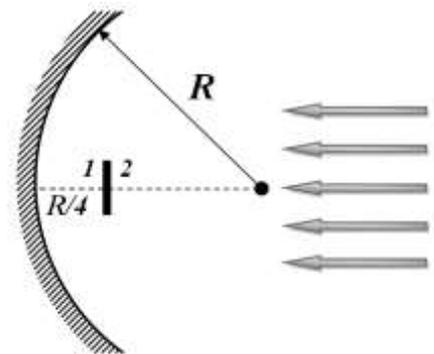
Часть 1В (3,5 балла)

Газоразрядная лампа включена в цепь, показанную на рисунке. Сопротивление лампы в погасшем состоянии очень велико (считайте, что равно бесконечности), а если напряжение на ней достигает величины $U = 10 \text{ В}$, то лампа вспыхивает, и ее сопротивление падает практически до нуля. Найдите частоту вспышек лампы. Напряжение источника $U_0 = 1,0 \text{ кВ}$, $R = 1,0 \text{ кОм}$, $C = 100 \text{ мкФ}$.



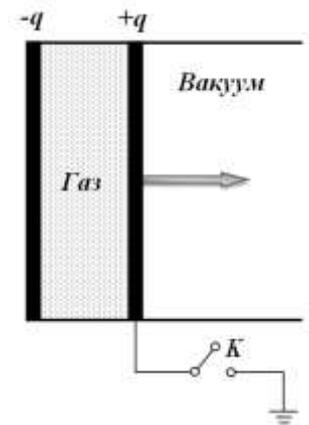
Часть 1С (3,5 балла)

На сферическое зеркало радиусом R параллельно ее оптической оси падает широкий однородный световой пучок. На расстоянии $R/4$ от вершины зеркала перпендикулярно оптической оси расположен небольшой непрозрачный диск радиусом r , $r \ll R$. Найдите отношение $\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}$ разностей температур поверхностей диска (1 и 2) и температуры окружающего воздуха. Теплопроводностью диска пренебречь, а теплообмен каждой его поверхности с окружающей средой пропорционален разности их температур.



Задача 2. Что за одноатомный газ? (10,0 балла)

Стенки цилиндрического сосуда изготовлены из непроводящего материала, а дно и подвижный поршень сделаны из проводника, так что вместе они образуют плоский конденсатор с площадью поперечного сечения $S = 100,0 \text{ см}^2$. Между дном и поршнем находится одноатомный газ с начальной температурой $T_0 = 100 \text{ К}$ и массой $m = 1,00 \text{ г}$. Начальное расстояние от поршня до дна сосуда составляет $x_0 = 5,0 \text{ мм}$, начальные заряды поршня и дна равны $\pm q = 85,7 \text{ мкКл}$, масса подвижного поршня равна $M = 1,00 \text{ кг}$, универсальная газовая постоянная – $R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$. Сосуд теплоизолирован от окружающей среды, а его теплоемкостью можно пренебречь. Подвижный поршень через ключ K можно соединять с землей, изменяя его заряд.



Пусть в начальный момент времени ключ K разомкнут.

1. Найдите давление газа в сосуде p_0 .
2. Какой газ находится в сосуде?
3. Рассчитайте теплоемкость газа под поршнем и выразите ее в единицах универсальной газовой постоянной R .
4. До какой температуры T надо нагреть газ, чтобы расстояние между поршнем и дном сосуда увеличилось вдвое?
5. Какое количество теплоты Q надо сообщить газу, чтобы расстояние между поршнем и дном сосуда увеличилось вдвое?
6. Вычислите частоту ω малых колебаний поршня возле положения равновесия x_0 .

Систему вернули в начальное положение и ключ K замкнули так, что заряд подвижного поршня практически уменьшился вдвое.

7. Найдите максимальную скорость v_{max} подвижного поршня.

Систему вернули в начальное положение x_0 и зарядили поршень до исходного заряда $+q$. Затем ключ K вновь замыкают, но теперь заряд стекает в землю постепенно.

8. Поршень начал двигаться с постоянным ускорением $a = 1,00 \text{ м}/\text{с}^2$. При этом в начальные моменты времени заряд, который стек с поршня, зависит от времени по закону

$$q(t) = C_1 + C_2 t^2,$$

где C_1 и C_2 – некоторые постоянные.

Найдите и рассчитайте C_1 и C_2 .

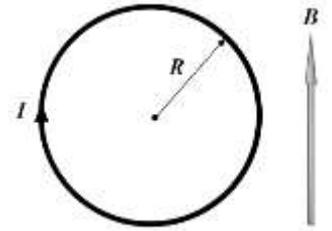
Подсказка: при $x \ll 1$ и произвольных α справедлива формула

$$(1 + x)^\alpha \approx 1 + \alpha x.$$

Задача 3. Что такое гиромагнитные явления? (10,0 балла)

Эта задача посвящена изучению гиромагнитных явлений, которые связывают механическое движение с магнитными свойствами вещества.

Тонкий проводник изогнут в виде кольца радиуса R , в котором поддерживается электрический ток силой I , обусловленный движением электронов.



Кольцо помещается в однородное магнитное поле с индукцией B , лежащей в его плоскости, как показано на рисунке.

1. Найдите силу F , действующую на кольцо со стороны магнитного поля.
2. Момент сил M , действующий на кольцо со стороны магнитного поля можно представить в виде

$$M = p_m B,$$

где величина p_m – называется магнитным моментом кольца.

Найдите p_m .

3. Найдите полный момент количества движения электронов L в проводнике.
4. В физике соотношение между магнитным моментом p_m и моментом количества движения электронов L можно представить в виде

$$p_m = \frac{ge}{2m} L,$$

где e – элементарный заряд, а m – масса электрона.

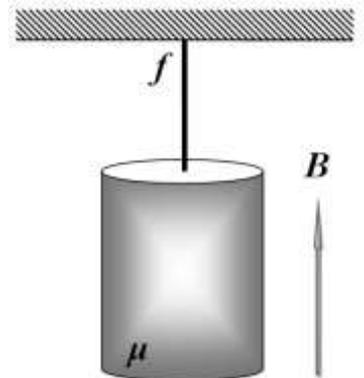
Найдите g .

Рассмотрим известное явление, которое было предсказано О. Ричардсоном в 1908 году, и теоретически объясненное Эйнштейном и де Хаазом в 1915 году. Из магнетика с магнитной проницаемостью μ изготовлен длинный цилиндр, имеющий радиус R , длину $L \gg R$ и массу M . Цилиндр подвесили на упругой нити, при закручивании которой на угол α на него действует момент сил

$$M = f\alpha,$$

где f – так называемый модуль кручения нити.

Цилиндр помещается во внешнее магнитное поле с индукцией B , параллельной его оси.



5. Пренебрегая «краевыми» эффектами, найдите индукцию магнитного поля B' в цилиндре.
6. Изменение магнитной индукции внутри цилиндра можно представить как результат протекания электрического тока по поверхности цилиндра. Найдите полный ток I , который течет по поверхности цилиндра.
7. При резком включении магнитного поля до значения B нить с цилиндром закручивается на некоторый угол α_0 . Найдите α_0 .
8. Проведите численные расчеты для следующих значений: $M = 500$ г, $R = 1.00$ см, $L = 20.0$ см, $\mu = 1000$, $f = 2.00 \times 10^{-5}$ Н·м, $B = 1$ Тл, $e = 1.602 \times 10^{-19}$ Кл, $m = 0.911 \times 10^{-30}$ кг, $\mu_0 = 1,257 \times 10^{-6}$ Гн/м.

Обратным к явлению Эйнштейна – де Хааза является эффект, открытый Барнеттом в 1909 году. Пусть цилиндр удалили из магнитного поля и привели во вращение с угловой скоростью ω . При этом вблизи поверхности возникает магнитное поле, индукция которого может зависеть от e, m, ω, μ_0 .

9. Оцените величину индукции B_0 создаваемого цилиндром магнитного поля вблизи его боковой поверхности при ω . Сделайте численную оценку для $\omega = 10000$ рад/с.

Продолжительность тура 5 часов.