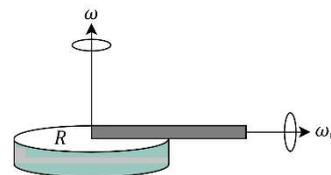


Задача 1. «Солянка» (10.0 балла)

Эта задача состоит из трех независимых частей.

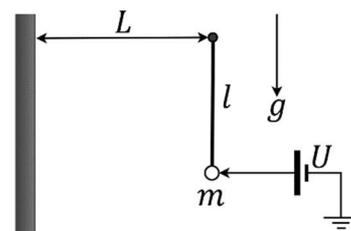
Часть 1.1 (3.0 балла)

Длинный цилиндр радиуса r вращается вокруг своей оси с угловой скоростью ω_0 и прижимается к диску радиуса R так, что давление равномерно распределено вдоль линии касания. Диск может свободно вращаться вокруг своей оси, а линия касания цилиндра и диска совпадают с радиусом диска. Найдите угловую скорость ω вращения диска.



Часть 1.2 (3.5 балла)

Небольшой шарик радиуса r и массы m подвешен на шарнире с помощью непроводящего стержня длиной l . Слева от шарнира на расстоянии $L > l \gg r$ располагается вертикальная бесконечная проводящая плоскость. Шарику с помощью источника напряжения, показанного на рисунке, сообщают заряд, после чего он отклоняется на угол α и вновь возвращается в исходное положение. Найдите напряжение источника питания U , если ускорение свободного падения равно g .



Часть 1.3 (3.5 балла)

Человек рассматривает свое собственное изображение в плоскопараллельной пластине толщиной $h = 15$ см, изготовленной из стекла с показателем преломления $n = 1.5$. При этом он наблюдает целый ряд изображений своего лица, отстоящих на одинаковом расстоянии L друг от друга. Найдите L .

Задача 2. КПД циклических процессов (10.0 балла)

Рассмотрим некоторый циклический процесс, который происходит с идеальным одноатомным газом. Пусть в этом циклическом процессе Q_1 – количество теплоты, подведенное газу в течении всего процесса, а Q_2 – количество отведенного количества теплоты соответственно. Тогда коэффициент полезного действия цикла (КПД) определяется выражением

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}.$$

Из школьного курса известно, что циклом Карно называется процесс, состоящий из двух адиабат и двух изотерм. В цикле Карно термодинамическая система выполняет механическую работу и обменивается теплотой с двумя тепловыми резервуарами, имеющими постоянные, но различающиеся температуры. Резервуар с более высокой температурой T_1 называется нагревателем, а с более низкой температурой T_2 – холодильником.

2.1. Запишите выражение для КПД η цикла Карно и рассчитайте его для $T_1 = 800$ К и $T_2 = 200$ К.

Рассмотрим несколько более сложный вариант работы машины по циклу Карно. Процесс по-прежнему протекает между изотермами с температурами T и $T_1 = 800$ К, причём $T < T_1$. Теплообмен газа с нагревателем происходит непосредственно при температуре T_1 , а теплообмен в изотермическом процессе с температурой T происходит с резервуаром, имеющим постоянную температуру $T_2 = 200$ К, причём $T > T_2$. Известно, что теплообмен между газом и резервуаром осуществляется посредством теплопроводности, так что количество теплоты, отдаваемое в единицу времени резервуару, равно $q = \alpha(T - T_2)$, где $\alpha = 1.00$ кВт/К. В дальнейшем считайте, что продолжительность по времени изотермических процессов одинакова, а длительность адиабатических – пренебрежимо мала.

2.2. Найдите зависимость мощности тепловой машины $P(T)$, работающей по этому циклу Карно, от температуры T .

2.3. Постройте график зависимости мощности тепловой машины $P(T)$ в интервале температур $T_2 < T < T_1$.

2.4. Аналитически или графически, найдите максимальную мощность P_{max} данной тепловой машины.

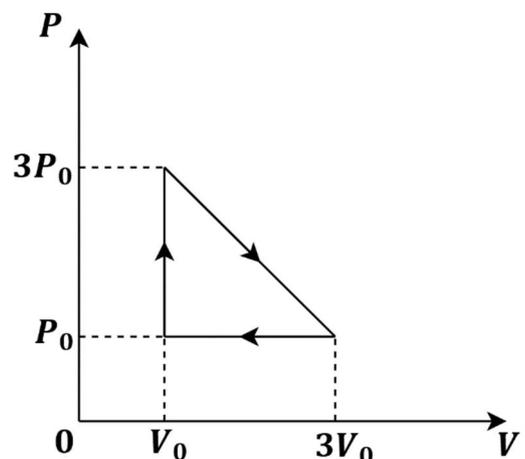
На рисунке справа изображен еще один циклический процесс в диаграмме $P - V$, который происходит с 1 моле идеального одноатомного газа. Считайте известными величины P_0 , V_0 и универсальную газовую постоянную R .

2.5. Рассчитайте минимальную температуру газа T_{min} в этом процессе.

2.6. Рассчитайте максимальную температуру газа T_{max} в этом процессе.

2.7. Каков бы был КПД цикла Карно, если бы температура нагревателя была равна T_{max} , а температура холодильника – T_{min} .

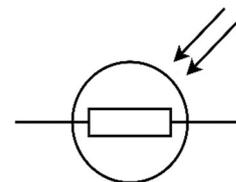
2.8. Рассчитайте реальный КПД приведенного цикла.



Продолжительность тура 5 часов.

Задача 3. Фоторезистор и солнечный элемент (10.0 балла)

Фоторезистор – полупроводниковый прибор, изменяющий величину своего сопротивления при облучении светом. На электрических схемах фоторезистор имеет графическое изображение, показанное на рисунке справа.



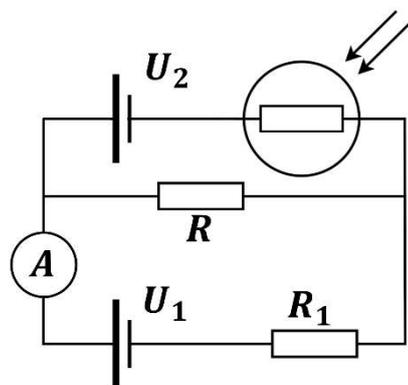
Школьник по имени Галым нашел в кабинете физики фоторезистор и решил измерить его вольт-амперную характеристику, то есть зависимость протекающего через него тока от напряжения на нем. Для этого ему пришлось использовать переменное сопротивление – реостат.

3.1. Предложите принципиальную электрическую схему, которую мог использовать Галым и схематически ее нарисуйте.

Как и ожидал Галым, вольтамперная характеристика фоторезистора зависит от его освещенности Φ (количества падающего излучения), которая измеряется в относительных единицах, по закону

$$I = 0.2 U(2 - \exp(-\Phi)),$$

где I – сила тока фоторезистора в амперах, U – напряжение на нем в вольтах.

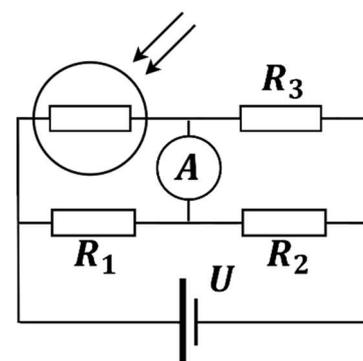


Галым нашел в кабинете физики несколько электрических компонентов и собрал схему, показанную на рисунке слева. Ему удалось прочесть надписи на отдельных элементах, которые гласили: $U_1 = 9$ В, $U_2 = 6$ В и $R_1 = 5$ Ом. Надпись на сопротивлении R ему прочесть не удалось, однако он выяснил, что показания амперметра в схеме чудесным образом не зависят от освещенности фоторезистора. Как он ни старался, помещал схему в темное место, светил на фоторезистор фонарем и т.д., амперметр упорно показывал одно и тоже значение. Галым подумал, что амперметр сломан, но после проверки он убедился, что амперметр исправен.

3.2. Рассчитайте значение стертого номинала на сопротивлении R . Все элементы схемы считайте идеальными.

3.3. Найдите показания амперметра.

Галым, используя имеющийся у него фоторезистор, решил изготовить прибор для измерения освещенности. Для этого он собрал схему, показанную на рисунке справа, причем в ней $U = 9$ В, $R_1 = 4$ Ом и $R_2 = 6$ Ом. Сопротивление R_3 он подобрал таким образом, чтобы амперметр показывал нулевой ток при освещенности фоторезистора, равной нулю $\Phi = 0$.



3.4. Найдите сопротивление резистора R_3 .

3.5. Рассчитайте показания амперметра в комнате при освещенности прибора $\Phi = 1$.

3.6. Резко набежали тучи и в комнате потемнело, так что амперметр стал показывать $I_A = 0.1$ А. Найдите новую освещенность прибора Φ .

Галым перешел в темную комнату. Перед этим он внимательно осмотрел фоторезистор, приемный элемент которого представлял собой плоский диск. Галым включил точечный источник света, который располагался на расстоянии $L = 1$ м от центра диска на его оси. При этом амперметр показал ток $I_0 = 150$ мА. Считайте, что точечный источник света излучает во всех направлениях одинаково, а размеры диска приемника малы по сравнению с расстоянием до источника.

Продолжительность тура 5 часов.

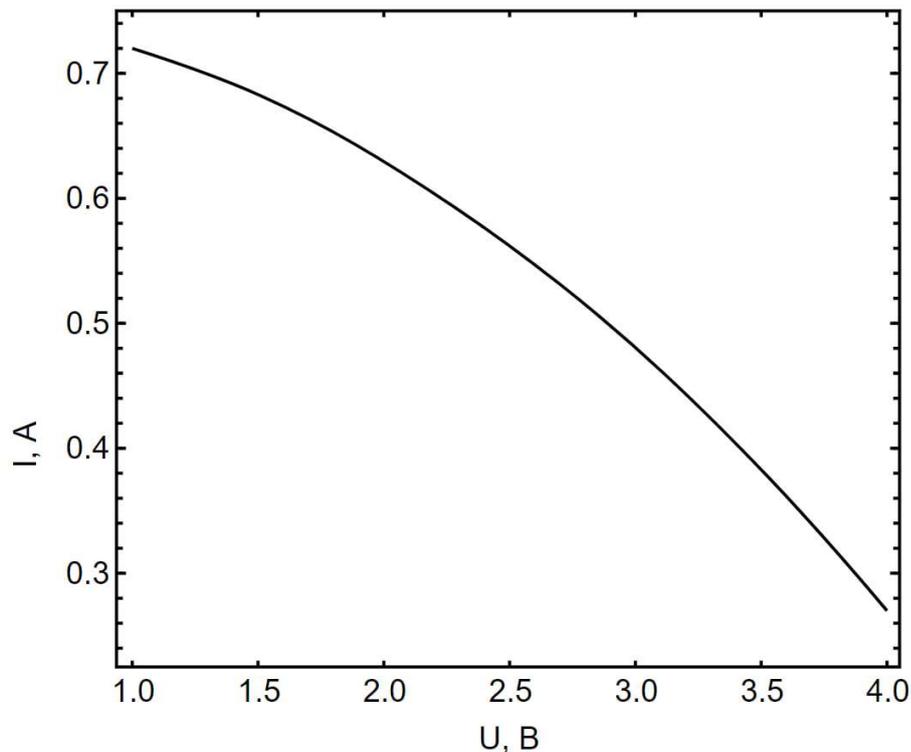
3.7. Найдите показания амперметра I , если диск приемника фоторезистора повернуть на угол $\alpha = 60^\circ$ вокруг оси, лежащей в плоскости диска и проходящей через его центр.

3.8. Галым вернул диск в начальное положение, но отодвинул фоторезистор так, что расстояние до центра диска стало равным r , а амперметр стал показывать $I = 50$ мА. Найдите r .

Вернувшись в кабинет физики Галым обнаружил там другой прибор, называемый солнечным элементом. Солнечный элемент — объединение фотоэлектрических преобразователей (фотоэлементов) — полупроводниковых устройств, прямо преобразующих солнечную энергию в постоянный электрический ток. Таким образом, солнечный элемент используется как источник постоянного тока. Чтобы исследовать его свойства, Галым решил построить его вольтамперную характеристику, то есть зависимость напряжения на его клеммах U от силы тока I , которую он отдает во внешнюю цепь. Для этого ему вновь пришлось использовать переменное сопротивление — реостат.

3.9. Предложите принципиальную электрическую схему, которую мог использовать Галым и схематически ее нарисуйте. Используйте для солнечного элемента тоже обозначение, что и для фоторезистора.

На рисунке ниже представлены графически результаты измерений, полученные Галымом.



Из справочника Галым узнал, что вольтамперная характеристика солнечного элемента должна иметь вид

$$I = a - bU^2,$$

где a и b — некоторые постоянные.

3.10. Найдите значения a и b .

3.11. Рассчитайте максимальный ток I_{max} , который солнечный элемент может отдать во внешнюю цепь.

3.12. Рассчитайте максимально возможное напряжение U_{max} на клеммах солнечного элемента.

3.13. Найдите максимальную мощность P_{max} , которую может развивать солнечный элемент.

Продолжительность тура 5 часов.