



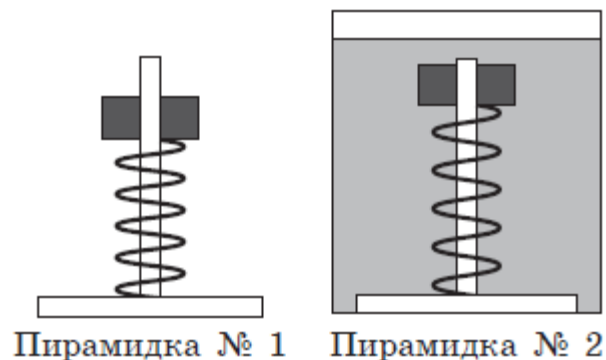
ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К РЕШЕНИЮ КАЧЕСТВЕННЫХ ЗАДАЧ в ЕГЭ по физике

В.А.Грибов

*Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова,
XI летняя школа учителей физики,
Красновидово, 07 июля 2023 года*

Пример задачи по механике

Два деревянных кольца детских пирамидок № 1 и № 2, способных без трения скользить по оси, соединили с основаниями этих пирамидок двумя одинаковыми лёгкими пружинками (см. рисунок). Пирамидку № 2 поместили в прочный сосуд с водой, прикрепив основание к его дну. Обе пирамидки покоятся относительно Земли. Как изменится по сравнению с этим случаем (увеличится, уменьшится или останется прежней) длина пружин пирамидок № 1 и № 2 во время свободного падения с балкона высокого дома? Сопротивлением воздуха пренебречь. Ответ поясните, указав, какие физические закономерности Вы использовали для объяснения.

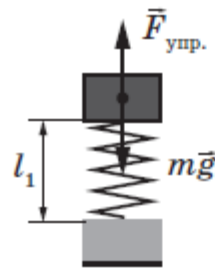


Возможное решение

1. Пружина пирамидки № 1 станет длиннее, а пружина пирамидки № 2 станет короче, чем в состоянии, когда пирамидки покоились.

2. Пока пирамидки покоились относительно Земли, пружина пирамидки № 1 под весом кольца была сжата, а пружина пирамидки № 2 была растянута так, чтобы сила упругости и сила тяжести, действующие на деревянное кольцо, скомпенсировали силу Архимеда, равную по модулю весу вытесненной воды.

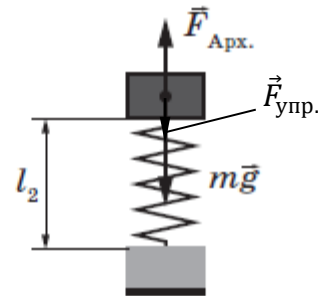
№ 1



$$F_{\text{упр}} = mg$$

$$F_{\text{упр}} = k|l_0 - l_1|$$

№ 2



$$F_{\text{Арх.}} = F_{\text{упр.}} + mg$$

$$F_{\text{упр.}} = F_{\text{Арх.}} - mg = k|l_2 - l_0|$$

m — масса кольца, l_0 — длина недеформированной пружины.

3. При свободном падении тело испытывает состояние невесомости, невесомы стали и кольцо, и вода. Сила Архимеда стала равна нулю.

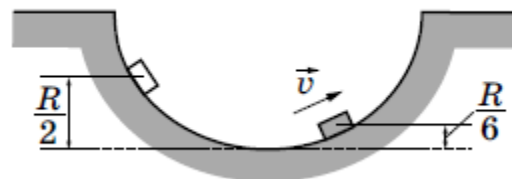
4. При равном нулю весе всех предметов обе пружины перестали быть деформированными, при этом первоначально сжатая пружина № 1 увеличила свою длину, а растянутая № 2 сократила.

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное правильное решение, включающее правильный ответ (в данном случае <i>n. 1</i>) и исчерпывающие верные рассуждения с прямым указанием наблюдаемых явлений и законов (в данном случае: <i>сила Архимеда, условие равновесия кольца, невесомость</i>)</p>	3
<p>Дан правильный ответ, и приведено объяснение, но в решении имеется один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>В объяснении не указано или не используется одно из физических явлений, свойств, определений или один из законов (формул), необходимых для полного верного объяснения. (Утверждение, лежащее в основе объяснения, не подкреплено соответствующим законом, свойством, явлением, определением и т. п.) И (ИЛИ)</p> <p>Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но в них содержится один логический недочёт. И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения и не зачёркнуты. И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеется неточность в указании на одно из физических явлений, свойств, определений, законов (формул), необходимых для полного верного объяснения</p>	2

<p>Представлено решение, соответствующее <u>одному</u> из следующих случаев. Дан правильный ответ на вопрос задания, и приведено объяснение, но в нём не указаны два явления или физических закона, необходимых для полного верного объяснения.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, направленные на получение ответа на вопрос задания, не доведены до конца.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, <u>приводящие к ответу</u>, содержат ошибки.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>Указаны не все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеются верные рассуждения, направленные на решение задачи</p>	1
<p>Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла</p>	0
<p><i>Максимальный балл</i></p>	3

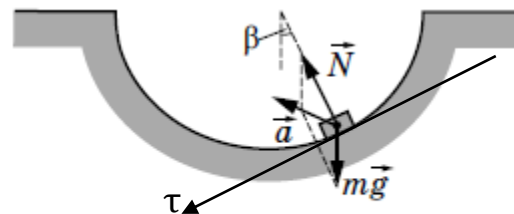
Ещё одна задача по механике

Маленькая шайба движется из состояния покоя по неподвижной гладкой сферической поверхности радиусом R . Начальное положение шайбы находится на высоте $\frac{R}{2}$ относительно нижней точки поверхности. Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на шайбу в момент, когда она движется вправо вверх, находясь на высоте $\frac{R}{6}$ над нижней точкой поверхности (см. рисунок). Покажите на этом рисунке, куда направлено в этот момент ускорение шайбы (по радиусу поверхности, по касательной к поверхности, внутрь поверхности, наружу от поверхности). Ответ обоснуйте. Сопротивление воздуха не учитывать.



Образец возможного решения:

1. К шайбе приложены сила тяжести $m\vec{g}$, направленная вертикально вниз, и сила реакции поверхности \vec{N} , направленная по радиусу вверх. Ускорение шайбы \vec{a} направлено внутрь траектории левее направления силы \vec{N} . (см. рисунок).



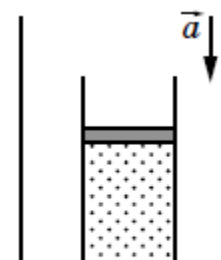
2. В промежуточной точке скорость шайбы $\vec{v} \neq 0$, поэтому у шайбы есть центростремительное ускорение $\vec{a}_c \neq 0$, направленное к центру окружности, по которой движется шайба.

3. Проекция ускорения шайбы на касательную к окружности равна по модулю $g \sin \beta$. Поэтому у шайбы есть касательная составляющая ускорения $\vec{a}_\tau \neq 0$, направленная в сторону нижней точки сферы.

4. Ускорение шарика $\vec{a} = \vec{a}_c + \vec{a}_\tau$ направлено внутрь сферической поверхности левее направления силы \vec{N} .

Задача по механике и молекулярной физике

На полу неподвижного лифта стоит теплоизолированный сосуд, открытый сверху. В сосуде под тяжёлым подвижным поршнем находится одноатомный идеальный газ. Поршень находится в равновесии. Лифт начинает равноускоренно опускаться вниз. Куда сдвинется поршень относительно сосуда после начала движения лифта и как при этом изменится температура газа в сосуде? Трением между поршнем и стенками сосуда, а также утечкой газа из сосуда пренебречь. Ответ поясните, указав, какие физические закономерности Вы использовали для объяснения.



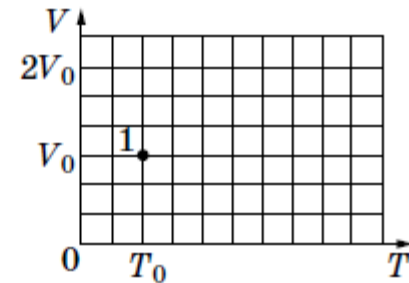
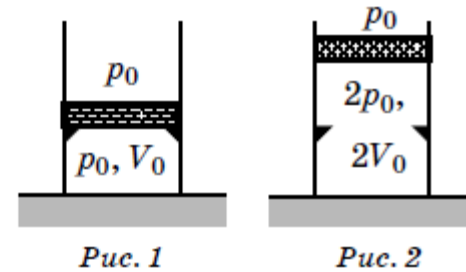
Образец возможного решения:

1. Поршень сдвинется вверх. Температура газа в сосуде понизится.
2. Пусть масса поршня M , а площадь его основания S . Атмосферное давление над поршнем равно $p_{\text{атм}}$, первоначальное давление газа в сосуде равно p_1 . Поскольку поршень первоначально находится в равновесии, $p_1 = p_{\text{атм}} + \frac{Mg}{S}$.
3. При движении лифта с ускорением \vec{a} , направленным вниз, поршень сдвинется и займёт относительно сосуда новое положение равновесия, в котором давление газа в сосуде станет равным $p_2 = p_{\text{атм}} + \frac{M(g - a)}{S} < p_1$. Поскольку сосуд теплоизолирован и изменения числа частиц нет, уменьшение давления возможно только за счёт расширения газа. При этом газ совершает работу $A > 0$.
4. Поскольку сосуд теплоизолированный, газ, находящийся под поршнем, участвует в адиабатическом процессе. В этом случае, по первому закону термодинамики, газ совершает работу за счёт уменьшения внутренней энергии.
5. Уменьшение внутренней энергии газа повлечёт за собой понижение его температуры ($\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T$).

Упомянуты: условие равновесия поршня,
 второй закон Ньютона для движения поршня,
 первый закон термодинамики
 зависимость внутренней энергии от температуры

Ещё одна задача по молекулярной физике

В вертикальном цилиндре с гладкими стенками под массивным металлическим поршнем находится идеальный газ. В первоначальном состоянии 1 поршень опирается на жёсткие выступы на внутренней стороне стенок цилиндра (рис. 1), а газ занимает объём V_0 и находится под давлением p_0 , равным внешнему атмосферному. Его температура в этом состоянии равна T_0 . Газ медленно нагревают, и он переходит из состояния 1 в состояние 2, в котором давление газа равно $2p_0$, а его объём равен $2V_0$ (рис. 2). Количество вещества газа при этом не меняется. Постройте график зависимости объёма газа от его температуры при переходе из состояния 1 в состояние 2. Ответ поясните, указав, какие явления и закономерности Вы использовали для объяснения.



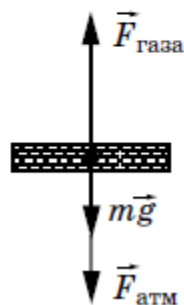
Образец возможного решения:

1. Определим температуру T_2 конечного состояния газа. Запишем уравнение Клапейрона — Менделеева для газа в состояниях 1 и 2:

$$\begin{cases} p_0 V_0 = \nu R T_0, \\ 2p_0 \cdot 2V_0 = \nu R T_2, \end{cases}$$

откуда $T_2 = 4T_0$.

2. Покажем силы, приложенные к поршню, когда он уже не опирается на выступы на стенках цилиндра. Сила тяжести $m\vec{g}$ и сила давления на поршень со стороны атмосферы $\vec{F}_{\text{атм}}$ постоянны. Поскольку поршень перемещается медленно, сумму приложенных к нему сил считаем равной нулю. Отсюда следует, что сила давления на поршень со стороны газа $\vec{F}_{\text{газа}}$ тоже постоянна. Значит, её модуль равен $F_{\text{газа}} = pS = \text{const}$ (S — площадь горизонтального сечения поршня) при любом положении поршня выше первоначального.



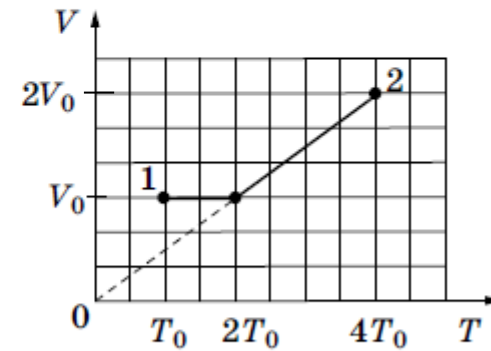
Таким образом, $p = 2p_0 = \text{const}$ при $V_0 < V \leq 2V_0$, процесс нагревания газа изобарный ($\frac{V}{T} = \text{const}$). Определим температуру начала этого процесса T_H :

$$\begin{cases} p_0 V_0 = \nu R T_0, \\ 2p_0 \cdot V_0 = \nu R T_H, \end{cases}$$

откуда $T_H = 2T_0$.

3. На отрезке температур $T_0 \leq T \leq 2T_0$ процесс нагревания газа изохорный ($V = V_0$), давление газа с ростом его температуры при нагревании увеличивается от p_0 до $2p_0$.

Ответ: а) при $T_0 \leq T \leq 2T_0$ $V = V_0 = \text{const}$;
 б) при $2T_0 \leq T \leq 4T_0$ объём газа меняется от V_0 до $2V_0$ по закону $\frac{V}{T} = \text{const}$.

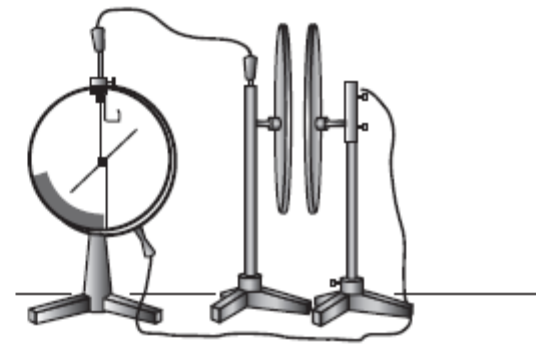


График, изображающий зависимости из п. а) и б), представляет собой ломаную линию.

Упомянуты: уравнение Клапейрона-Менделеева, условие равновесия поршня, изобарный и изохорный процессы

Задача по электростатике

Две плоские пластины конденсатора, закреплённые на изолирующих штативах, расположили на небольшом расстоянии друг от друга и соединили одну пластину с заземлённым корпусом, а другую — со стержнем электрометра (см. рисунок). Затем пластину, соединённую со стержнем электрометра, зарядили. Объясните, опираясь на известные Вам законы, как изменяются показания электрометра при увеличении расстояния между пластинами. Отклонение стрелки электрометра пропорционально разности потенциалов между пластинами. Ёмкость электрометра пренебрежимо мала.



Возможное решение

1. Заряд Q , сообщённый пластине, распределяется между пластиной и стержнем так, что они приобретают одинаковый потенциал. При этом практически весь заряд Q оказывается на пластине.

2. На заземлённом корпусе электрометра и соединённой с ним пластине возникают индуцированные заряды противоположного знака, при этом заряд пластины равен Q по модулю.

3. Разность потенциалов между пластинами $U = \frac{Q}{C}$.

4. Ёмкость плоского воздушного конденсатора $C = \frac{\epsilon_0 S}{d}$, и при увеличении расстояния между пластинами она уменьшается, так как расстояние d между ними увеличивается ($C' < C$ при $d' > d$).

5. Суммарный заряд стержня электрометра и соединённой с ним пластины — электроизолированной системы тел — при увеличении расстояния между пластинами не изменяется. При этом заряд пластины остаётся практически равным Q . Поэтому напряжение между пластинами увеличивается:

$$U' = \frac{Q}{C'} > U.$$

Следовательно, угол отклонения стрелки увеличивается.

Ответ: угол отклонения стрелки увеличивается.

Упомянуты: эквипотенциальность соединённых проводников,
формула для ёмкости плоского воздушного конденсатора,
закон сохранения заряда электроизолированной системы тел

Ещё одна задача по электростатике

На столе установили два незаряженных электрометра и соединили их металлическим стержнем с изолирующей ручкой (рис. 1). Затем ко второму электрометру поднесли, не касаясь шара, отрицательно заряженную палочку (рис. 2). Не убирая палочки, сняли стержень, а затем убрали палочку.

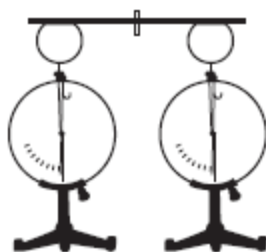


Рис. 1

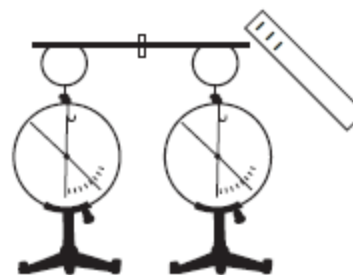
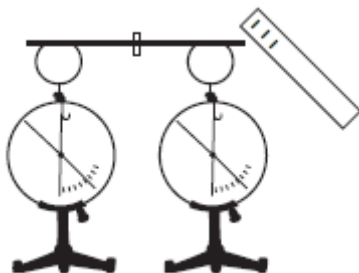


Рис. 2

Ссылаясь на известные Вам законы и явления, объясните, почему электрометры оказались заряженными, и определите знаки заряда каждого из электрометров после того, как палочку убрали.



Возможное решение

1. При поднесении отрицательно заряженной палочки к шару электрометра 2 электроны в шаре, стержне и стрелке каждого из электрометров в электрическом поле, созданном палочкой, стали перемещаться на поверхность шара электрометра 1. Электроны с электрометра 2 перемещаются к шару электрометра 1 по металлическому стержню. Движение электронов будет происходить до тех пор, пока все точки металлических частей двух электрометров не будут иметь одинаковые потенциалы. В результате электрометр 1 приобретёт отрицательный заряд.

2. Поскольку два соединённых металлическим стержнем электрометра образуют изолированную систему, а первоначально электрометры были не заряжены, то согласно закону сохранения заряда отрицательный заряд электрометра 1 в точности равен по модулю положительному заряду электрометра 2.

3. После того как убрали стержень, показания электрометров не изменились.

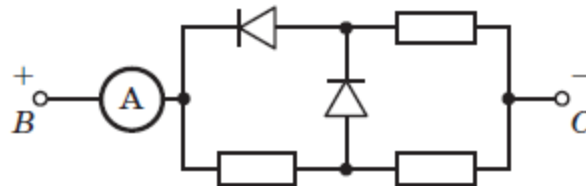
Ответ: электрометр 1 имеет отрицательный заряд, а электрометр 2 — положительный.

Упомянуты:

наличие свободных зарядов,
действие электрического поля на заряды,
эквипотенциальность соединённых проводников,
закон сохранения заряда электроизолированной системы тел

Постоянный ток

Три одинаковых резистора и два одинаковых идеальных диода включены в электрическую цепь, показанную на рисунке, и подключены к аккумулятору в точках B и C . Показания амперметра равны 2 А . Определите показания амперметра при смене полярности подключения аккумулятора. Нарисуйте эквивалентные электрические схемы для двух случаев подключения аккумулятора. Опираясь на законы электродинамики, поясните свой ответ. Сопротивлением амперметра и внутренним сопротивлением аккумулятора пренебречь.



Возможное решение

1. Показания амперметра будут равны 6 А. Эквивалентные электрические схемы для двух случаев подключения аккумулятора даны на рис. 1 и 2.

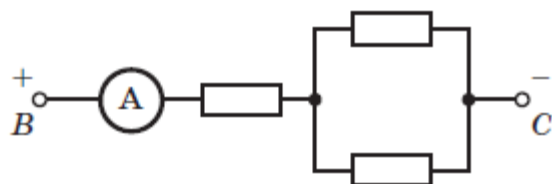


Рис. 1

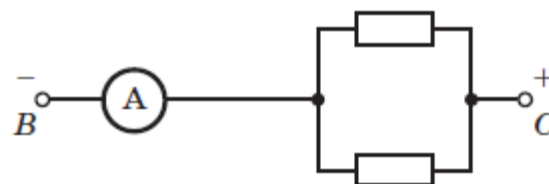
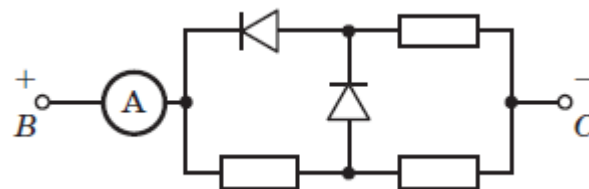


Рис. 2

2. В первом случае верхний диод включён в обратном направлении, обладает бесконечно большим сопротивлением, и ток через него не течёт. Диод, расположенный в центре схемы, включён в прямом направлении, обладает нулевым сопротивлением и пропускает электрический ток. Эквивалентная электрическая схема для первого случая имеет вид, представленный на рис. 1. Получается, что первый резистор соединён последовательно с двумя другими, соединёнными параллельно друг другу. Используя соотношения для вычисления сопротивления последовательно и параллельно подключённых резисторов, получим общее сопротивление схемы в первом случае:

$$R_1 = R + \frac{R}{2} = \frac{3}{2}R,$$

где R — сопротивление каждого из резисторов.



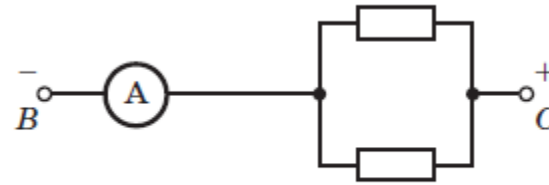
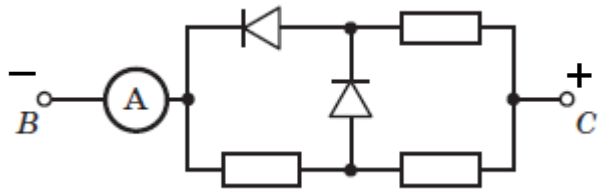


Рис. 2

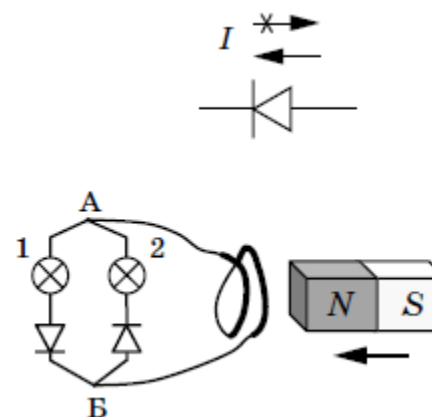
3. При смене полярности подключения аккумулятора оба диода окажутся включёнными в прямом направлении, и ток через левый резистор протекать не будет. Эквивалентная электрическая схема для второго случая примет вид, представленный на рис. 2. Используя соотношение для вычисления сопротивления параллельно подключённых резисторов, получим общее сопротивление схемы во втором случае: $R_2 = \frac{R}{2}$.

4. Таким образом, общее сопротивление участка цепи уменьшилось в 3 раза. Используя закон Ома для полной цепи, $I = \frac{\mathcal{E}}{R_{\text{Общ}}}$, получим, что сила тока через амперметр увеличилась в 3 раза и стала равна 6 А.

Упомянуты: формулы для вычисления сопротивления системы резисторов, закон Ома для полной цепи

Явление электромагнитной индукции

Электрическая цепь состоит из двух лампочек, двух диодов и витка провода, соединённых, как показано на рисунке. (Диод пропускает ток только в одном направлении, как показано в верхней части рисунка.) Какая из лампочек загорится, если к витку приближать северный полюс магнита? Ответ объясните, указав, какие явления и закономерности Вы использовали при объяснении.



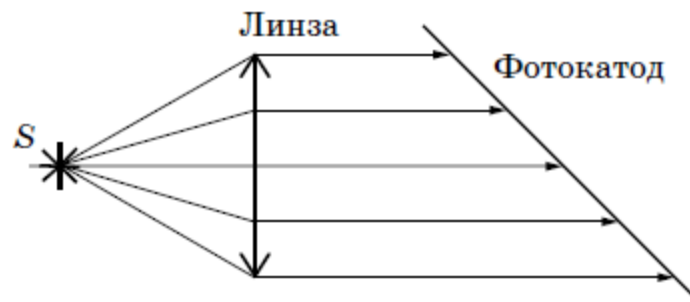
Образец возможного решения:

1. Загорится лампочка 2.
2. При приближении магнита к витку будет меняться магнитный поток сквозь виток, и в витке возникнет индукционный ток. Согласно правилу Ленца магнитное поле этого тока должно препятствовать движению магнита, поэтому выходящие из витка линии индукции этого поля будут направлены в сторону магнита. Для создания такого поля согласно правилу «буравчика» индукционный ток в цепи, содержащей виток, должен быть направлен по часовой стрелке, а в цепи ламп — от Б к А. Ток такого направления пропускает только диод на участке цепи лампочки 2, она и будет гореть.

Упомянуты: явление электромагнитной индукции,
правило Ленца,
правило правого «буравчика»

Задача по геометрической оптике и квантовой физике

В установке по наблюдению фотоэффекта свет от точечного источника S , пройдя через собирающую линзу, падает на фотокатод параллельным пучком. В схему внесли изменение: на место первоначальной линзы поставили другую, того же диаметра, но с бóльшим фокусным расстоянием. Источник света переместили вдоль главной оптической оси линзы так, что на фотокатод свет снова стал падать параллельным пучком. Как изменился при этом (уменьшился или увеличился) фототок насыщения? Объясните, почему изменяется фототок насыщения, и укажите, какие физические закономерности Вы использовали для объяснения.

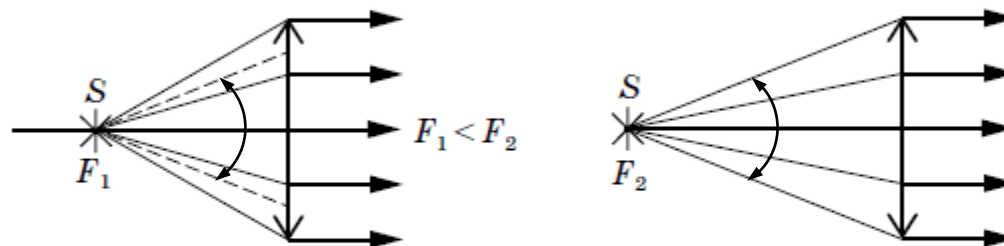


Образец возможного решения:

1. Фототок насыщения уменьшится.

2. Поскольку за линзой свет идёт параллельным пучком, точечный источник света находится в переднем фокусе линзы.

3. Поэтому в случае линзы с большим фокусным расстоянием источник света находится на большем расстоянии от линзы (см. рисунок).



4. В результате фотоны, попадающие на первую линзу близко к её краю (на левом рисунке это область от пунктира до края линзы), уже не попадают на вторую линзу. Поэтому число фотонов, падающих на вторую линзу в единицу времени, меньше, чем падающих на первую.

5. Фототок насыщения пропорционален числу фотонов, падающих на фотокатод в единицу времени. В предложенной установке на фотокатод падают все фотоны, прошедшие линзу, поэтому фототок насыщения при использовании второй линзы будет меньше, чем в первом случае.

Упомянуты:

свойства тонкой линзы (получение параллельного пучка лучей),
зависимость тока насыщения от числа падающих фотонов



Спасибо за внимание и за терпение!