

На столе установили два незаряженных электрометра и соединили их медным стержнем с изолирующей ручкой (рис. 1). Затем к первому электрометру поднесли, не касаясь шара, отрицательно заряжённую палочку (рис. 2). Не убирая палочки, убрали стержень, а затем убрали палочку.

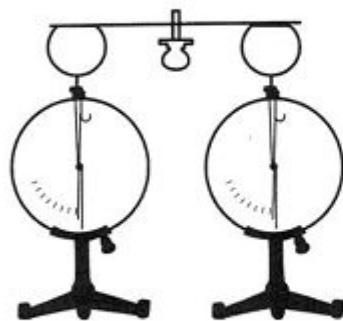


Рис. 1

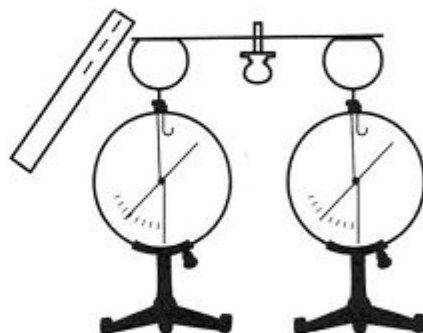


Рис. 2

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. Электрометр 1 имеет положительный заряд, а электрометр 2 — отрицательный.
2. Отрицательно заряженная палочка, поднесённая к шару электрометра 1, создаёт электрическое поле. В этом поле электроны с шара, стержня и стрелки электрометра 1 перемещаются по медному стержню на электрометр 2.
3. Поскольку два соединённых медным стержнем электрометра образуют изолированную систему, то согласно закону сохранения заряда положительный заряд электрометра 1 в точности равен по модулю отрицательному заряду электрометра 2.
4. После того как убрали стержень, показания электрометров не изменились.

На столе установили два незаряженных электрометра и соединили их алюминиевым стержнем с изолирующей ручкой (рис. 1). Затем к первому электрометру поднесли, не касаясь шара, положительно заряжённую палочку (рис. 2). Не убирая палочки, убрали стержень, а затем убрали палочку.

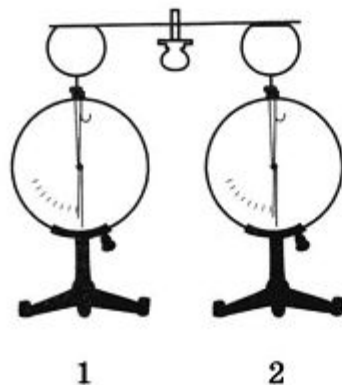


Рис. 1

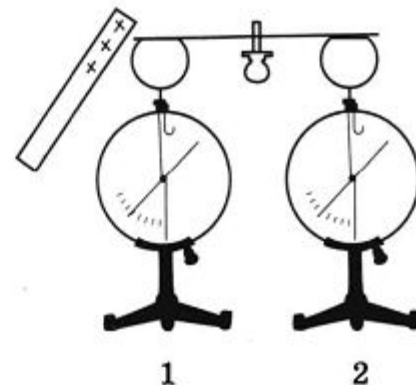


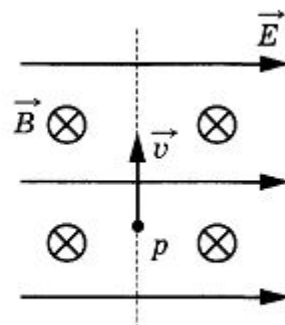
Рис. 2

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. Электрометр 1 имеет отрицательный заряд, а электрометр 2 — положительный.
2. Положительно заряженная палочка, поднесённая к шару электрометра 1, создаёт электрическое поле. В этом поле электроны с шара, стержня и стрелки электрометра 2 перемещаются по алюминиевому стержню на электрометр 1.
3. Поскольку два соединённых алюминиевым стержнем электрометра образуют изолированную систему, то согласно закону сохранения заряда отрицательный заряд электрометра 1 в точности равен по модулю положительному заряду электрометра 2.
4. После того как убрали стержень, показания электрометров не изменились.

В камере, из которой откачан воздух, создали электрическое поле напряжённостью  $\vec{E}$  и магнитное поле с индукцией  $\vec{B}$ . Поля однородные,  $\vec{E} \perp \vec{B}$ . В камеру влетает протон  $p$ , вектор скорости которого перпендикулярен  $\vec{E}$  и  $\vec{B}$  как показано на рисунке. Модули напряжённости электрического поля и индукции магнитного поля таковы, что протон движется прямолинейно. Объясните, как изменится начальный участок траектории протона, если напряжённость электрического поля уменьшить. В ответе укажите, какие явления и закономерности Вы использовали для объяснения. Влиянием силы тяжести пренебречь.

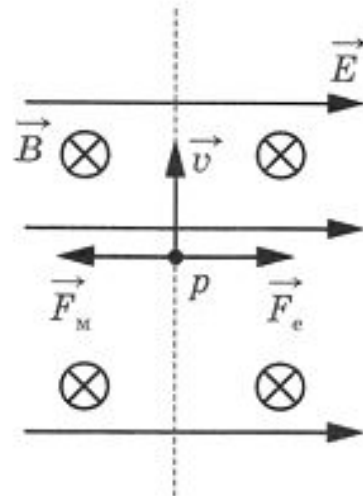


### Возможное решение

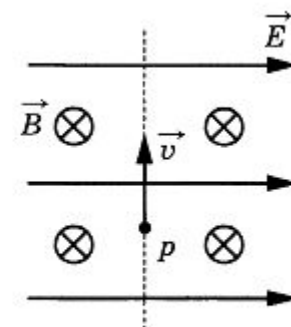
1. Траектория протона будет криволинейной, отклоняющейся от пунктирной прямой влево.

2. На протон действуют магнитное поле силой  $F_m = qvB$  и электрическое поле силой  $F_e = qE$ . Поскольку заряд протона положительный,  $\vec{F}_e$  сонаправлена с  $\vec{E}$ , а по правилу левой руки  $\vec{F}_m$  направлена противоположно силе  $\vec{F}_e$ . Поскольку первоначально протон двигался прямолинейно, то согласно второму закону Ньютона по модулю эти силы были равны.

3. Сила действия электрического поля с уменьшением напряжённости электрического поля уменьшится. Поскольку из-за этого равнодействующая сил  $\vec{F}_m$  и  $\vec{F}_e$ , а также вызываемое ею в этом случае ускорение направлены влево, траектория протона будет криволинейной, отклоняющейся от пунктирной прямой влево.



В камере, из которой откачан воздух, создали электрическое поле напряжённостью  $\vec{E}$  и магнитное поле с индукцией  $\vec{B}$ . Поля однородные,  $\vec{E} \perp \vec{B}$ . В камеру влетает протон  $p$ , вектор скорости которого перпендикулярен  $\vec{E}$  и  $\vec{B}$  как показано на рисунке. Модули напряжённости электрического поля и индукции магнитного поля таковы, что протон движется прямолинейно. Объясните, как изменится начальный участок траектории протона, если напряжённость электрического поля увеличить. В ответе укажите, какие явления и закономерности Вы использовали для объяснения. Влиянием силы тяжести пренебречь.

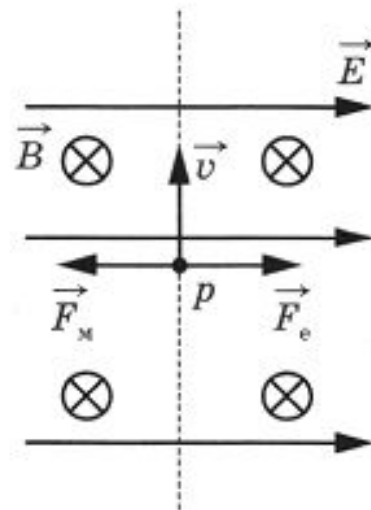


### Возможное решение

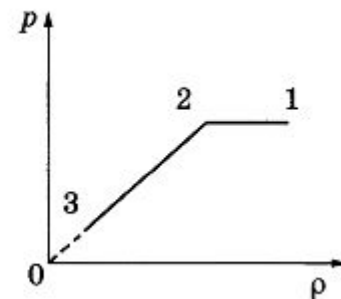
1. Траектория протона будет криволинейной, отклоняющейся от пунктирной прямой влево.

2. На протон действуют магнитное поле силой  $F_m = qvB$  и электрическое поле силой  $F_e = qE$ . Поскольку заряд протона положительный,  $\vec{F}_e$  сонаправлена с  $\vec{E}$ , а по правилу левой руки  $\vec{F}_m$  направлена противоположно силе  $\vec{F}_e$ . Поскольку первоначально протон двигался прямолинейно, то согласно второму закону Ньютона по модулю эти силы были равны.

3. Сила действия магнитного поля с увеличением индукции магнитного поля увеличится. Поскольку из-за этого равнодействующая сил  $\vec{F}_m$  и  $\vec{F}_e$ , а также вызываемое ею в этом случае ускорение направлены влево, траектория протона будет криволинейной, отклоняющейся от пунктирной прямой влево.



На графике представлена зависимость давления неизменной массы идеального газа от его плотности. Опишите, как изменяются в зависимости от плотности температура и объём газа в процессах 1-2 и 2-3.

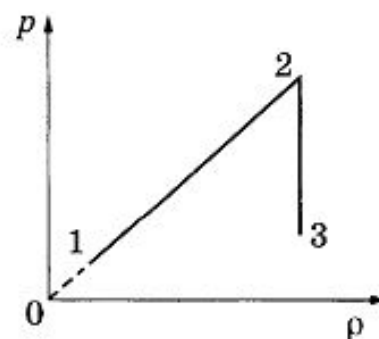


### Возможное решение

1. Плотность газа  $\rho = \frac{m}{V}$ , где  $m$  — масса газа,  $V$  — его объём. В соответствии с уравнением Менделеева — Клапейрона  $p = \frac{m}{\mu V} RT = \frac{\rho}{\mu} RT$ . На участке 12 плотность газа уменьшается, что означает увеличение его объёма. Давление газа при этом не изменяется, следовательно, согласно уравнению Менделеева — Клапейрона температура газа увеличивается.

2. В процессе 23 давление изменяется пропорционально плотности газа:  $p \sim \rho$ . Следовательно, в этом процессе температура газа не изменяется. Поскольку плотность газа на этом участке уменьшается, объём газа увеличивается.

На графике представлена зависимость давления неизменной массы идеального газа от его плотности. Опишите, как изменяются в зависимости от плотности температура и объём газа в процессах 1-2 и 2-3.

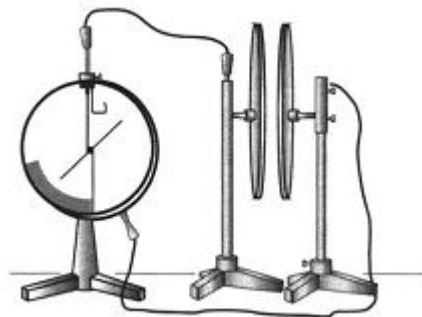


### Возможное решение

1. Плотность газа  $\rho = \frac{m}{V}$ , где  $m$  — масса газа,  $V$  — его объём. В соответствии с уравнением Менделеева — Клапейрона  $p = \frac{m}{\mu V} RT = \frac{\rho}{\mu} RT$ . На участке 1-2 давление изменяется пропорционально плотности газа:  $p \sim \rho$ . Следовательно, в этом процессе температура газа не изменяется. Поскольку плотность газа на этом участке возрастает, объём газа уменьшается.

2. В процессе 23 плотность газа постоянна, следовательно, объём газа не меняется. Давление газа при этом уменьшается, следовательно, согласно уравнению Менделеева — Клапейрона температура газа также уменьшается.

Две плоские металлические 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 внесении между пластинами диэлектрической пластины. Отклонение стрелки электрометра пропорционально разности потенциалов между пластинами.



### Возможное решение

1. Заряд  $Q$ , сообщённый пластине, соединённой со стержнем электрометра, распределяется так, что их потенциалы оказываются одинаковыми. При этом практически весь заряд  $Q$  оказывается на пластине.
2. На заземлённом корпусе электрометра и второй пластине возникают индуцированные заряды противоположного знака, при этом заряд пластины равен  $Q$  по модулю.
3. Разность потенциалов между пластинами  $U = \frac{Q}{C}$ .
4. Внесение пластины из диэлектрика увеличивает ёмкость конденсатора, так как  $C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}$ .
5. Суммарный заряд стержня электрометра и соединённой с ним пластины не изменяется, так как эта система тел электроизолирована. При этом заряд пластины остаётся практически равным  $Q$ . Поэтому разность потенциалов между пластинами после внесения диэлектрика уменьшается:  $U = \frac{Q}{C'}$ , что приведёт к уменьшению угла отклонения стрелки.

**Ответ:** угол отклонения стрелки уменьшится.

Воспользовавшись оборудованием, представленным на рис. 1, учитель собрал модель плоского конденсатора (рис. 2), зарядил нижнюю пластину положительным зарядом, а корпус электрометра заземлил. Соединённая с корпусом электрометра верхняя пластина конденсатора приобрела отрицательный заряд, равный по модулю заряду нижней пластины. После этого учитель сместил одну пластину относительно другой, не изменяя расстояния между ними (рис. 3). Как изменились при этом показания электрометра (увеличились, уменьшились, остались прежними)? Ответ поясните, указав, какие явления и закономерности Вы использовали для объяснения. Показания электрометра в данном опыте прямо пропорциональны разности потенциалов между пластинами конденсатора.

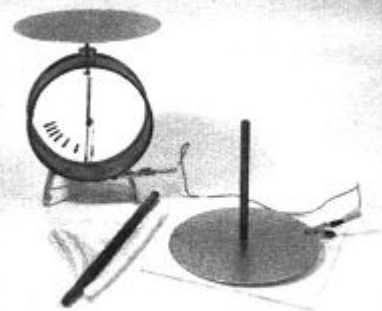


Рис. 1

### Возможное решение

1. Стрелка и стержень электрометра, соединённые с нижней пластиной, но изолированные от корпуса, заряжаются положительно, и стрелка отклоняется на некоторый угол.

В верхней пластине и металлическом корпусе электрометра происходит перераспределение свободных электронов таким образом, что верхняя пластина заряжается отрицательно.

2. Заряды пластин одинаковы по модулю и противоположны по знаку, пластины образуют конденсатор с ёмкостью  $C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}$ , где  $S$  — площадь перекрытия пластин,  $d$  — расстояние между ними,  $\epsilon$  — диэлектрическая проницаемость диэлектрика между пластинами.

Характер изменения угла отклонения стрелки совпадает с изменением разности потенциалов между пластинами: при увеличении разности потенциалов увеличивается угол отклонения, при уменьшении разности потенциалов угол уменьшается.

3. При уменьшении площади перекрытия пластин ёмкость конденсатора уменьшается, заряд конденсатора практически не меняется, так как его ёмкость много больше ёмкости системы «корпус + стрелки электрометра», а нижняя пластина вместе со стрелкой и стержнем электрометра образуют изолированную систему заряженных тел. Поэтому разность потенциалов  $\Delta\phi = q/C$  увеличивается, и угол отклонения стрелки электрометра увеличивается.



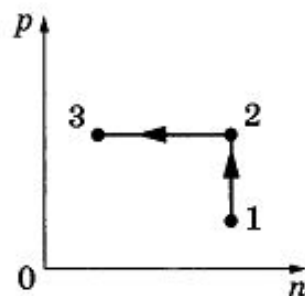
Рис. 2



Рис. 3



Постоянное количество одноатомного идеального газа участвует в процессе, график которого изображён на рисунке в координатах  $p$ - $n$ , где  $p$  — давление газа,  $n$  — его концентрация. Определите, получает газ теплоту или отдаёт в процессах 1-2 и 2-3. Ответ поясните, опираясь на законы молекулярной физики и термодинамики.



### Возможное решение

1. По первому закону термодинамики количество теплоты, которое газ получает, равно сумме изменения его внутренней энергии  $\Delta U$  и работы газа  $A$ :  $Q = \Delta U + A$ .

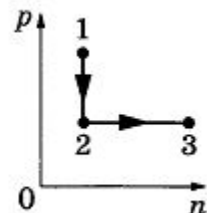
Концентрация газа  $n = \frac{N}{V}$ , где  $N$  — число молекул газа,  $V$  — его объём. Для идеального одноатомного газа внутренняя энергия  $U = \frac{3}{2}\nu RT$  (где  $\nu$  — количество моль газа). По условию задачи  $N = \text{const}$ .

2. Так как на участке 1-2 концентрация газа не изменяется, его объём постоянен (изохорный процесс), значит, работа газа  $A = 0$ . В этом процессе давление газа растёт, согласно закону Шарля температура газа также растёт, т. е. его внутренняя энергия увеличивается:  $\Delta U > 0$ . Значит,  $Q > 0$ , и газ получает тепло.

3. На участке 2-3 концентрация газа уменьшается, значит, его объём увеличивается и работа газа положительна:  $A > 0$ . Давление газа постоянно (изобарный процесс), по закону Гей-Люссака температура газа также увеличивается. Поэтому  $\Delta U > 0$ . По первому закону термодинамики  $Q > 0$ . В этом процессе газ получает тепло.

28

Постоянное количество одноатомного идеального газа участвует в процессе, график которого изображён на рисунке в координатах  $p$ - $n$ , где  $p$  — давление газа,  $n$  — его концентрация. Определите, получает газ теплоту или отдаёт в процессах 1-2 и 2-3. Ответ поясните, опираясь на законы молекулярной физики и термодинамики.



### Возможное решение

1. По первому закону термодинамики количество теплоты, которое газ получает, равно сумме изменения его внутренней энергии  $\Delta U$  и работы газа  $A$ :  $Q = \Delta U + A$ .

Концентрация газа  $n = \frac{N}{V}$ , где  $N$  — число молекул газа,  $V$  — его объём.

Для идеального одноатомного газа внутренняя энергия  $U = \frac{3}{2}\nu RT$  (где  $\nu$  — количество моль газа). По условию задачи  $N = \text{const}$ .

2. Так как на участке 1-2 концентрация газа не изменяется, его объём постоянен (изохорный процесс), значит, работа газа  $A = 0$ . В этом процессе давление газа уменьшается, согласно закону Шарля температура газа также уменьшается, т.е. его внутренняя энергия уменьшается:  $\Delta U < 0$ . Значит,  $Q < 0$ , и газ отдаёт тепло.

3. На участке 2-3 концентрация газа увеличивается, значит, его объём уменьшается и работа газа отрицательна:  $A < 0$ . Давление газа постоянно (изобарный процесс), по закону Гей-Люссака температура газа также уменьшается. Поэтому  $\Delta U < 0$ . По первому закону термодинамики  $Q < 0$ . В этом процессе газ отдаёт тепло.

При изучении давления света проведены два опыта с одним и тем же лазером. В первом опыте свет лазера направляется на пластинку, покрытую сажей, а во втором — на зеркальную пластинку такой же площади. В обоих опытах пластинки находятся на одинаковом расстоянии от лазера и свет падает перпендикулярно поверхности пластинок.

Как изменится сила давления света на пластинку во втором опыте по сравнению с первым? Ответ поясните, указав, какие физические закономерности Вы использовали для объяснения.

### Возможное решение

1. Сила давления света во втором опыте больше, чем в первом.

2. В обоих опытах происходит поглощение световой волны. Этот процесс можно рассматривать как поглощение за время  $t$  большого числа  $N \gg 1$  квантов света — фотонов. Каждый фотон при поглощении передаёт пластинке импульс  $p_{\phi} = \frac{h\nu}{c}$ , поэтому пластинка получает импульс, равный сумме импульсов поглощённых фотонов:  $p_{\Sigma} = Np_{\phi} = N \frac{h\nu}{c}$ .

3. В результате поглощения света пластинкой, покрытой сажей, она приобретает за время  $t$  импульс  $p_{\Sigma}$  в направлении распространения света от лазера. В соответствии с законом изменения импульса тела в инерциальной системе отсчёта скорость изменения импульса тела равна силе, действующей на него со стороны других тел или полей:  $F_1 = \frac{p_{\Sigma}}{t} = \frac{N}{t} \cdot \frac{h\nu}{c}$ .

4. В результате отражения света от зеркальной пластины отражённый квант имеет импульс, противоположный импульсу кванта падающей волны:  $\vec{p}'_{\phi} = -\vec{p}_{\phi}$ , поэтому отражённая волна имеет импульс  $p'_{\Sigma} = -N'p_{\phi} = -N' \frac{h\nu}{c}$ . В итоге за время  $t$  импульс волны под действием зеркальной пластинки изменился. Это изменение:  $\Delta p_{\Sigma} = p'_{\Sigma} - p_{\Sigma} = -(N + N')p_{\phi}$ .

Импульс системы световая волна + зеркальная пластинка сохраняется:  $\Delta(p_{\Sigma} + p_{пл}) = 0$ , поэтому  $\Delta p_{пл} = -\Delta p_{\Sigma}$ . Но изменение импульса тела в инерциальной системе отсчёта происходит только под действием других тел или полей и характеризуется силой  $F_2 = \frac{p_{пл}}{t} = \frac{N + N'}{t} \cdot \frac{h\nu}{c}$ . Для хорошего зеркала  $N \approx N'$ , поэтому  $F_2 = 2F_1$ .

5. Сравнивая выражения для силы  $F_1$ , действующей на пластинку, покрытую сажей, и силы  $F_2$ , действующей на зеркало, приходим к выводу, что  $F_1 < F_2$ .

На площадку падает зелёный свет от лазера. Лазер заменяют на другой, который генерирует красный свет. Мощность излучения, падающего на площадку, в обоих случаях одна и та же. Как меняется в результате такой замены число фотонов, падающих на площадку в единицу времени? Укажите закономерности, которые Вы использовали при обосновании своего ответа.

### Возможное решение

1. Увеличивается.

2. Свет, падающий на предмет, можно представить как поток фотонов с энергией

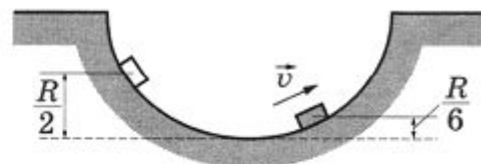
$E_{\text{ф}} = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ . Известно, что длина волны зелёного света меньше длины волны красного света; следовательно, частота зелёного света больше, чем красного.

Так как энергия фотона  $E = h\nu$ , то энергия фотонов зелёного света больше, чем красного.

3. Мощность светового излучения, падающего на площадку,  $P = E_{\text{ф}} \cdot \frac{\Delta N}{\Delta t}$ , где  $\Delta t$  — интервал времени измерения (например,  $\Delta t = 1$  с);  $\Delta N$  — число фотонов, упавших на площадку за это время. В данном случае  $P_1 = P_2$ ,  $E_{\text{ф}1} > E_{\text{ф}2}$ ,

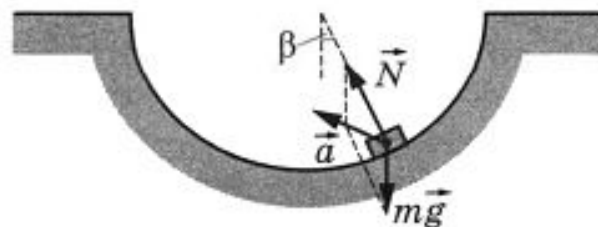
откуда  $\frac{\Delta N_2}{\Delta N_1} = \frac{E_{\text{фот.зел.}}}{E_{\text{фот.кр.}}} > 1$ . Следовательно, число фотонов увеличится.

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.



### Возможное решение

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).

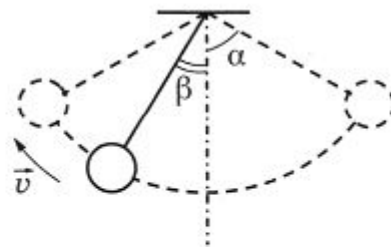


2. В промежуточной точке скорость шайбы  $\vec{v} \neq 0$ , поэтому у шайбы есть центростремительное ускорение  $\vec{a}_c \neq 0$ , направленное к центру окружности, по которой движется шайба.

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

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

Маленький шарик, подвешенный к потолку на лёгкой нерастяжимой нити, совершает колебания в вертикальной плоскости. Максимальное отклонение нити от вертикали составляет угол  $\alpha = 60^\circ$ . Сделайте рисунок с указанием сил, приложенных к шарiku в тот момент, когда шарик движется влево вверх, а нить образует угол  $\beta = 30^\circ$  с вертикалью (см. рисунок). Покажите на этом рисунке, куда направлено в этот момент ускорение шарика (по нити, перпендикулярно нити, внутрь траектории, наружу от траектории). Ответ обоснуйте. Сопротивление воздуха не учитывать.



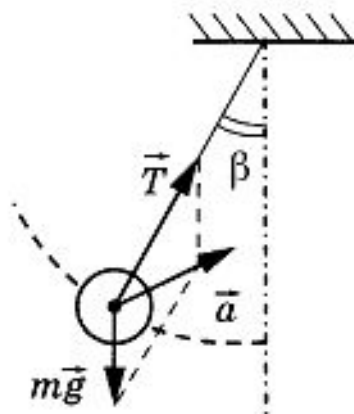
### Возможное решение

1. К шарiku приложены сила тяжести  $m\vec{g}$ , направленная вертикально вниз, и сила натяжения нити  $\vec{T}$ , направленная по нити вверх. Ускорение шарика  $\vec{a}$  направлено внутрь траектории правее направления силы  $\vec{T}$  (см. рисунок).

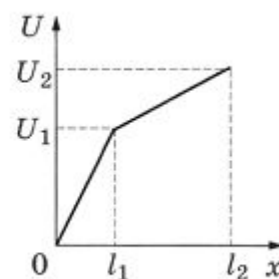
2. В промежуточной точке скорость шарика  $\vec{v} \neq 0$ , поэтому у шарика есть центростремительное ускорение  $\vec{a}_ц \neq 0$ , направленное к центру окружности, по которой движется шарик.

3. Проекция ускорения шарика на касательную к окружности равна по модулю  $g \sin \beta$ . Поэтому у шарика есть касательная составляющая ускорения  $\vec{a}_т \neq 0$ , направленная в сторону положения равновесия.

4. Ускорение шарика  $\vec{a} = \vec{a}_ц + \vec{a}_т$  направлено внутрь траектории правее направления силы  $\vec{T}$ .



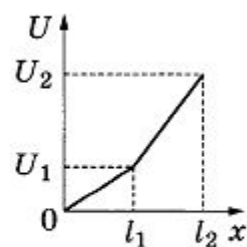
Нихромовый проводник длиной  $l = l_2$  включён в цепь постоянного тока. К нему подключают вольтметр таким образом, что одна из клемм вольтметра всё время подключена к началу проводника, а вторая может перемещаться вдоль проводника. На рисунке приведена зависимость показаний вольтметра  $U$  от расстояния  $x$  между клеммами. Как зависит от  $x$  площадь поперечного сечения проводника? Ответ поясните, указав, какие физические закономерности Вы использовали.



### Возможное решение

- По проводнику течёт постоянный ток, поэтому по закону Ома для участка цепи  $U = IR$ . Сопротивление любой части проводника  $R$  определяется соотношением  $R = \rho \frac{x}{S}$ , где  $x$  — длина той части проводника, на которой определяется напряжение;  $\rho$  — удельное сопротивление проводника;  $S$  — площадь поперечного сечения этой части проводника.
- При  $0 < x < l_1$  напряжение пропорционально длине участка; значит, площадь поперечного сечения проводника постоянна.
- При  $l_1 < x < l_2$  напряжение также линейно зависит от длины участка; значит, площадь поперечного сечения проводника на этом участке тоже постоянна. Однако показания вольтметра на этом участке проводника увеличиваются медленнее, чем на первом, поэтому площадь поперечного сечения проводника на втором участке больше, чем на первом.

Цилиндрический проводник длиной  $l = l_2$  включён в цепь постоянного тока. К нему подключают вольтметр таким образом, что одна из клемм вольтметра всё время подключена к началу проводника, а вторая может перемещаться вдоль проводника. На рисунке приведена зависимость показаний вольтметра  $U$  от расстояния  $x$  между клеммами. Как зависит от  $x$  удельное сопротивление проводника? Ответ поясните, указав, какие физические закономерности Вы использовали.



### Возможное решение

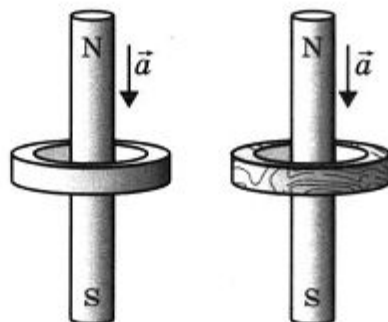
1. По проводнику течёт постоянный ток, поэтому по закону Ома для участка цепи  $U = IR$ . Сопротивление любой части проводника  $R$  определяется соотношением  $R = \rho \frac{x}{S}$ , где  $x$  — длина той части проводника, на которой определяется напряжение;  $\rho$  — удельное сопротивление проводника;  $S$  — площадь поперечного сечения этой части проводника.

2. При  $0 < x < l_1$  напряжение пропорционально длине участка; значит, удельное сопротивление проводника постоянно.

3. При  $l_1 < x < l_2$  напряжение также линейно зависит от длины участка; значит, удельное сопротивление проводника на этом участке тоже постоянно. Однако показания вольтметра на этом участке проводника увеличиваются быстрее, чем на первом, поэтому удельное сопротивление проводника на втором участке больше, чем на первом.



Сквозь металлическое и деревянное кольца, не касаясь их, падают одинаковые намагниченные стержни, как показано на рисунке. По-разному ли влияют кольца на ускорение  $\vec{a}$  стержней, и если да, то в чём состоит это различие?



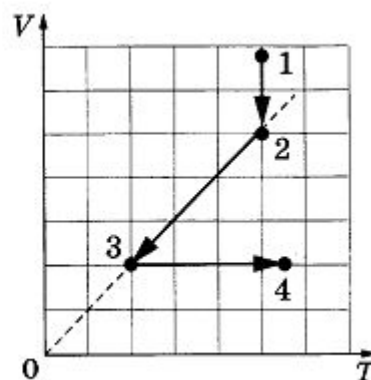
Рассмотрите две стадии падения стержня: стержень сближается с кольцом; стержень удаляется от кольца. Ответ поясните, указав, какие физические закономерности вы использовали для объяснения.

### Возможное решение

1. На обеих стадиях падения стержня сквозь металлическое кольцо его ускорение меньше  $g$ . Деревянное же кольцо не влияет на ускорение пролетающего сквозь него стержня.
2. При приближении намагниченного стержня к кольцам магнитный поток сквозь каждое кольцо возрастает, а при удалении от них после пролёта сквозь кольца уменьшается, и согласно закону электромагнитной индукции в них создаётся ЭДС индукции. При этом в металлическом кольце возникает индукционный ток.
3. Согласно правилу Ленца направление этого тока таково, что своим магнитным полем он препятствует изменению магнитного потока сквозь металлическое кольцо, то есть препятствует приближению стержня к кольцу на первом этапе и его удалению от кольца на втором этапе движения. То есть на обоих этапах сила действия индукционного тока направлена против силы тяжести, и в результате ускорение стержня должно быть меньше  $g$ .
4. В деревянном же кольце индукционного тока не возникает, не возникает и торможения стержня. В результате стержень будет свободно падать сквозь деревянное кольцо с ускорением  $g$ .

28

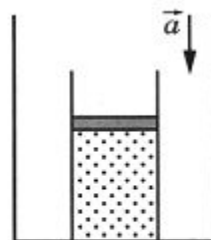
На  $V$  $T$ -диаграмме показано, как изменялись объём и температура некоторого постоянного количества разреженного газа при его переходе из начального состояния 1 в состояние 4. Как изменялось давление газа  $p$  на каждом из трёх участков 1–2, 2–3, 3–4: увеличивалось, уменьшалось или же оставалось неизменным? Ответ поясните, указав, какие физические явления и закономерности Вы использовали для объяснения.



### Возможное решение

1. Давление газа на участке 1–2 увеличивалось, на участке 2–3 не изменялось, на участке 3–4 увеличивалось.
2. На участке 1–2 процесс изотермический. По закону Бойля — Мариотта ( $pV = \text{const}$ ) при уменьшении объёма давление увеличивается. На участке 2–3 процесс изобарный; значит, давление остаётся неизменным. На участке 3–4 процесс изохорный. По закону Шарля  $\frac{p}{T} = \text{const}$  при увеличении температуры давление увеличивается.

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.



### Возможное решение

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  $\bar{a}$ , 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 ( $\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T$ ).

Тонкая линза Л даёт чёткое действительное изображение предмета АВ на экране Э (см. рис. 1). Что произойдёт с изображением предмета на экране, если верхнюю половину линзы закрыть куском чёрного картона К (см. рис. 2)? Постройте изображение предмета в обоих случаях. Ответ поясните, указав, какие физические закономерности Вы использовали для объяснения.

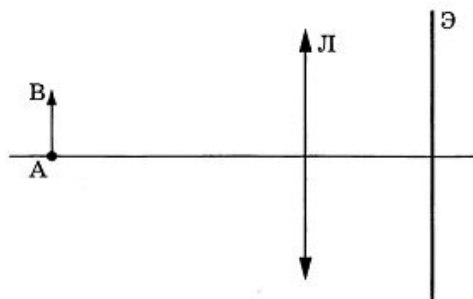


Рис. 1

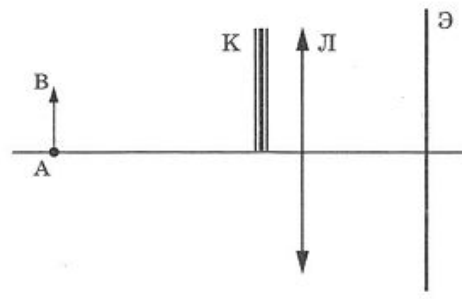


Рис. 2

### Возможное решение

1. Изображением точки в тонкой линзе служит точка. В данной задаче это значит, что все лучи от любой точки предмета, давая действительное изображение, пересекаются за линзой в одной точке.

2. Пока картон не мешает, построим изображение в линзе предмета АВ, используя лучи, исходящие из точки В (см. рисунок 1). Проведя луч 1 через центр линзы, находим точку В' — изображение точки В. Проводим луч 2, попутно находя задний фокус линзы. Затем проводим лучи 3 и 4.

3. Кусок картона К перехватывает лучи 1 и 2, но никак не влияет на ход лучей 3 и 4 (см. рисунок 2). Благодаря этим и аналогичным им лучам изображение предмета продолжает существовать на прежнем месте, не меняя формы, но становится темнее, т.к. часть лучей (например, лучи 1 и 2) больше не участвуют в построении изображения.

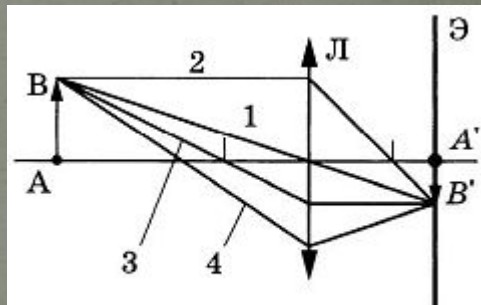


Рис. 1

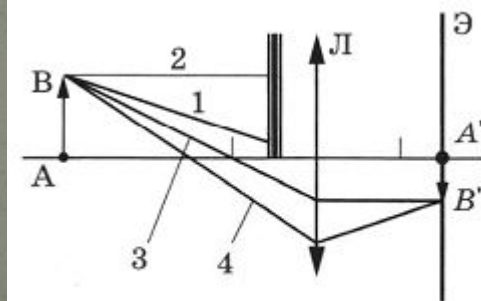
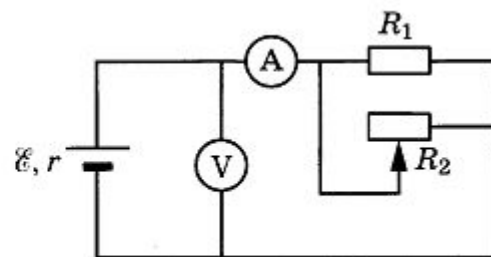


Рис. 2

28

На рисунке показана принципиальная схема электрической цепи, состоящей из источника тока с отличным от нуля внутренним сопротивлением, резистора, реостата и измерительных приборов — идеального амперметра и идеального вольтметра. Используя законы постоянного тока, проанализируйте эту схему и выясните, как будут изменяться показания приборов при перемещении движка реостата *вправо*.



### Возможное решение

По условию задачи сопротивлением амперметра можно пренебречь, а сопротивление вольтметра бесконечно велико. При перемещении движка реостата вправо его сопротивление  $R_2$  уменьшается, что ведёт к уменьшению сопротивления всей внешней

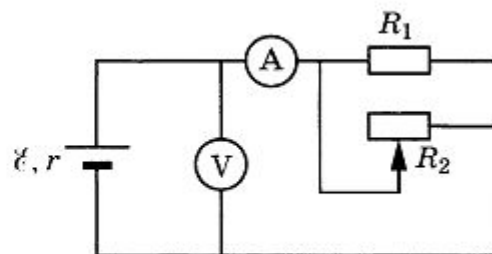
цепи  $R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ . В соответствии с законом Ома для полной цепи сила тока через

амперметр  $I = \frac{\xi}{r + R}$  увеличивается (знаменатель дроби уменьшается, а числитель остаётся неизменным), напряжение на батарее, измеряемое вольтметром, уменьшается:  $U = \xi - Ir$ .

**Ответ:** напряжение, измеренное вольтметром, уменьшается, а ток через амперметр растёт.

28

На рисунке показана принципиальная схема электрической цепи, состоящей из источника тока с отличным от нуля внутренним сопротивлением, резистора, реостата и измерительных приборов — идеального амперметра и идеального вольтметра. Используя законы постоянного тока, проанализируйте эту схему и выясните, как будут изменяться показания приборов при перемещении движка реостата *влево*.



### Возможное решение

По условию задачи сопротивлением амперметра можно пренебречь, а сопротивление вольтметра бесконечно велико. При перемещении движка реостата влево его сопротивление  $R_2$  увеличивается, что ведёт к увеличению сопротивления всей

внешней цепи  $R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ . В соответствии с законом Ома для полной цепи сила

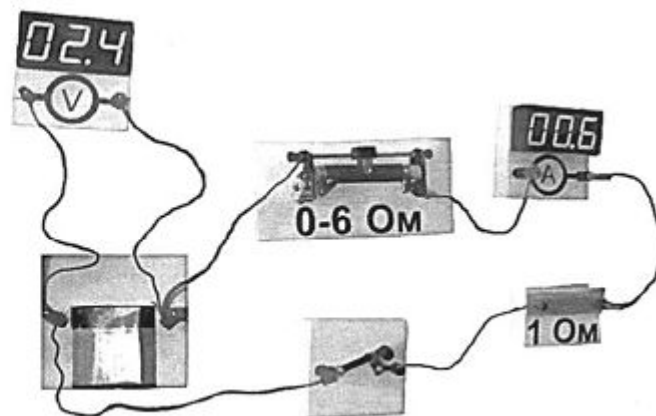
тока через амперметр  $I = \frac{\mathcal{E}}{r + R}$  уменьшается, напряжение на батарее, измеряемое вольтметром, увеличивается:  $U = \mathcal{E} - I r$ .

**Ответ:** напряжение, измеренное вольтметром, увеличивается, а ток через амперметр уменьшается.

28

На фотографии изображена электрическая цепь, состоящая из резистора, реостата, ключа, цифрового вольтметра, подключённого к батарее, и цифрового амперметра.

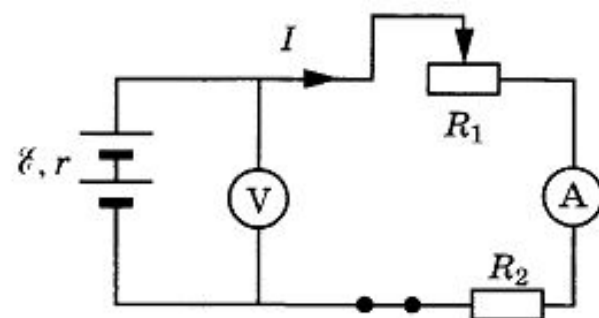
Составьте принципиальную электрическую схему этой цепи и, используя законы постоянного тока, объясните, как изменятся (увеличится или уменьшится) сила тока в цепи и напряжение на батарее при перемещении движка реостата в крайнее правое положение.



### Возможное решение

1. Эквивалентная электрическая схема цепи, учитывающая внутреннее сопротивление батареи, изображена на рисунке, где  $I$  — сила тока в цепи.

Ток через вольтметр практически не течёт, а сопротивление амперметра пренебрежимо мало.



2. Сила тока в цепи определяется законом Ома для замкнутой (полной) цепи:

$$I = \frac{\varepsilon}{R_1 + R_2 + r}.$$

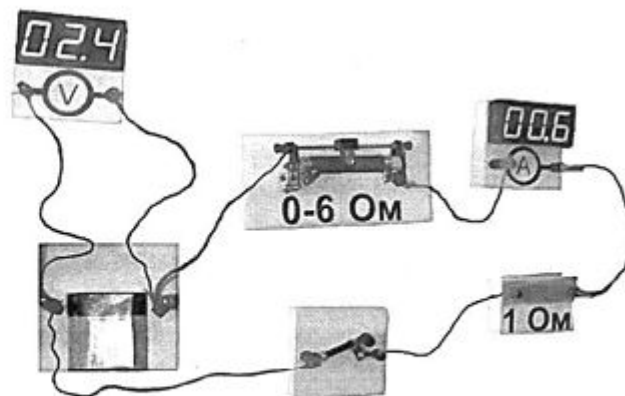
В соответствии с законом Ома для участка цепи напряжение, измеряемое вольтметром:  $U = I(R_1 + R_2) = \varepsilon - Ir$ .

3. При перемещении движка реостата вправо его сопротивление уменьшается, что приводит к уменьшению полного сопротивления цепи. Сила тока в цепи при этом растёт, а напряжение на батарее уменьшается.

28

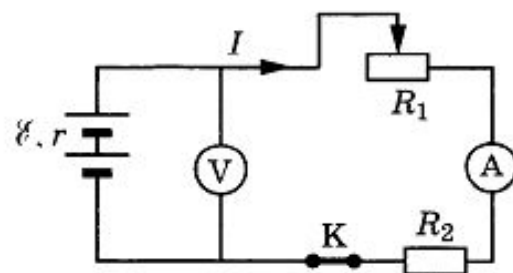
На фотографии изображена электрическая цепь, состоящая из резистора, реостата, ключа, цифрового вольтметра, подключённого к батарее, и цифрового амперметра.

Составьте принципиальную электрическую схему этой цепи и, используя законы постоянного тока, объясните, как изменятся (увеличится или уменьшится) сила тока в цепи и напряжение на батарее при перемещении движка реостата в крайнее левое положение.



### Возможное решение

1. Эквивалентная электрическая схема цепи, учитывающая внутреннее сопротивление батареи, изображена на рисунке, где  $I$  — сила тока в цепи. Ток через вольтметр практически не течёт, а сопротивление амперметра пренебрежимо мало.



2. Сила тока в цепи определяется законом Ома для замкнутой (полной) цепи:

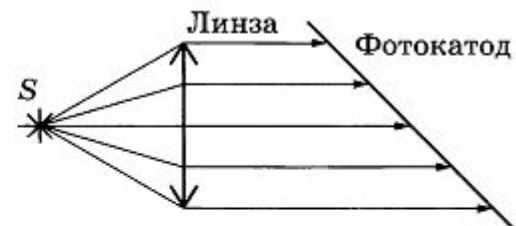
$$I = \frac{\mathcal{E}}{R_1 + R_2 + r}.$$

В соответствии с законом Ома для участка цепи напряжение, измеряемое вольтметром:  $U = I(R_1 + R_2) = \mathcal{E} - Ir$ .

3. При перемещении движка реостата влево его сопротивление увеличивается, что приводит к увеличению полного сопротивления цепи. Сила тока в цепи при этом уменьшается, а напряжение на батарее растёт.



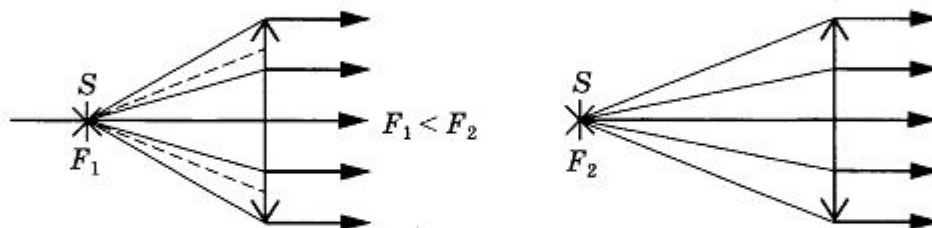
В установке по наблюдению фотоэффекта свет от точечного источника  $S$ , пройдя через собирающую линзу, падает на фотокатод параллельным пучком. В схему внесли изменение: на место первоначальной линзы поставили другую того же диаметра, но с бóльшим фокусным расстоянием. Источник света переместили вдоль 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.



Источники 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.

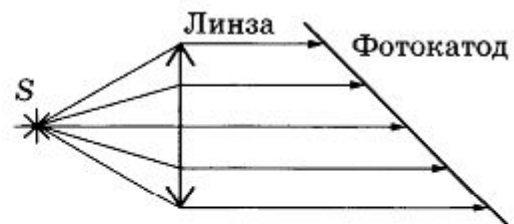
### Возможное решение

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 бóльшим фокусным расстоянием источник света находится на большем расстоянии от линзы (см. рисунок).



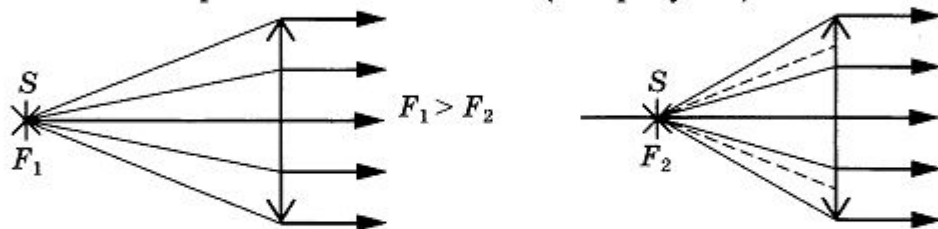
4. В результате фотоны, попадающие на первую линзу близко к её краю (на левом рисунке это область от пунктира до края линзы), уже не попадают на вторую линзу. Поэтому число фотонов, падающих на вторую линзу в единицу времени, меньше, чем падающих на первую.
5. Фототок насыщения пропорционален числу фотонов,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

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 меньшим 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.



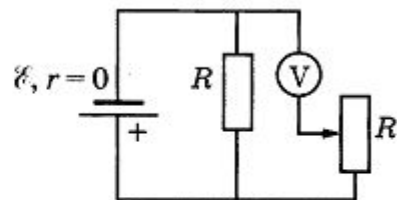
### Возможное решение

1. Фототок насыщения увеличится.
2. Поскольку за линзой свет идёт параллельным пучком, точечный источник света находится в переднем фокусе линзы.
3. Поэтому в случае линзы с меньшим фокусным расстоянием источник света находится на меньшем расстоянии от линзы (см. рисунок).



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

В схеме на рисунке сопротивление резистора и полное сопротивление реостата равны  $R$ , ЭДС батарейки равна  $\mathcal{E}$ , её внутреннее сопротивление ничтожно ( $r = 0$ ). Как ведут себя (увеличиваются, уменьшаются, остаются постоянными) показания идеального вольтметра при перемещении движка реостата из крайнего верхнего в крайнее нижнее положение? Ответ поясните, указав, какие физические закономерности Вы использовали для объяснения.



### Возможное решение

1. Показания идеального вольтметра при перемещении движка реостата остаются неизменными.

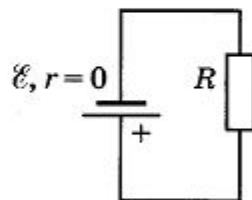
2. Сопротивление идеального вольтметра считается бесконечно большим. (Иными словами, идеальный вольтметр рассматривается как разрыв электрической цепи.) Поэтому ток через реостат при любом положении его движка равен нулю и, следовательно, напряжение на выводах реостата  $U_{\text{реостата}} = I_{\text{реостата}} R_{\text{реостата}} = 0$ . Таким образом, показания вольтметра при любом положении движка реостата равны напряжению на резисторе  $R$ .

3. Эквивалентная схема для расчёта напряжения на резисторе  $R$  представлена справа. Здесь учтено, что идеальный вольтметр рассматривается как разрыв электрической цепи.

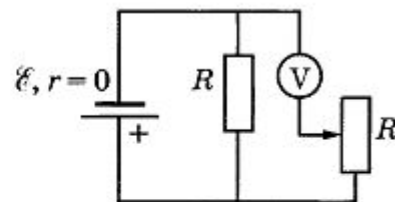
Ток через резистор  $R$  определяется законом Ома для полной цепи:  $I = \frac{\mathcal{E}}{r + R}$ , а напряжение на резисторе — законом Ома для участка цепи:  $U_R = IR$ .

Учитывая, что  $r = 0$ , получаем  $I = \frac{\mathcal{E}}{R}$ ,  $U_R = \mathcal{E}$ .

4. Таким образом, при любом положении движка реостата показания вольтметра равны ЭДС источника  $\mathcal{E}$ .



В схеме на рисунке сопротивление резистора и полное сопротивление реостата равны  $R$ , ЭДС батарейки равна  $\mathcal{E}$ , её внутреннее сопротивление ничтожно ( $r = 0$ ). Как ведут себя (увеличиваются, уменьшаются, остаются постоянными) показания идеального вольтметра при перемещении движка реостата из крайнего нижнего в крайнее верхнее положение? Ответ поясните, указав, какие физические закономерности Вы использовали для объяснения.



### Возможное решение

1. Показания идеального вольтметра при перемещении движка реостата остаются неизменными.

2. Сопротивление идеального вольтметра считается бесконечно большим. (Иными словами, идеальный вольтметр рассматривается как разрыв электрической цепи.) Поэтому ток через реостат при любом положении его движка равен нулю и, следовательно, напряжение на выводах реостата  $U_{\text{реостата}} = I_{\text{реостата}} R_{\text{реостата}} = 0$ . Таким образом, показания вольтметра при любом положении движка реостата равны напряжению на резисторе  $R$ .

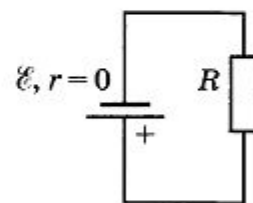
3. Эквивалентная схема для расчёта напряжения на резисторе  $R$  представлена справа. Здесь учтено, что идеальный вольтметр рассматривается как разрыв электрической цепи.

Ток через резистор  $R$  определяется законом Ома для полной цепи:  $I = \frac{\mathcal{E}}{r + R}$ , а напряжение на резисторе — законом Ома

для участка цепи:  $U_R = IR$ . Учитывая, что  $r = 0$ , получаем

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R}, \quad U_R = \mathcal{E}.$$

4. Таким образом, при любом положении движка реостата показания вольтметра равны ЭДС источника  $\mathcal{E}$ .



28

Около небольшой металлической пластины, укрепленной на изолирующей подставке, подвесили на шелковой нити лёгкую металлическую незаряженную гильзу. Когда пластину подсоединили к клемме высоковольтного выпрямителя, подав на неё положительный заряд, гильза пришла в движение. Опишите движение гильзы и объясните его.



### Возможное решение

Под действием электрического поля пластины изменится распределение электронов в гильзе и произойдёт её электризация: та её сторона, которая ближе к пластине, будет иметь отрицательный заряд, а противоположная сторона — положительный. Поскольку сила взаимодействия заряженных тел конечных размеров уменьшается с ростом расстояния между ними, притяжение к пластине левой стороны гильзы будет больше отталкивания правой стороны гильзы, и гильза будет двигаться к пластине, пока не коснётся её. В момент касания часть электронов перейдёт с гильзы на положительно заряженную пластину, гильза приобретёт положительный заряд и оттолкнётся от одноименно заряженной пластины. Гильза отклонится вправо и зависнет в положении, в котором равнодействующая всех сил равна нулю.

Около небольшой металлической пластины, укрепленной на изолирующей подставке, подвесили на шелковой нити лёгкую металлическую незаряженную гильзу. Когда пластину подсоединили к клемме высоковольтного выпрямителя, подав на неё отрицательный заряд, гильза пришла в движение. Опишите движение гильзы и объясните его.



### Возможное решение

Под действием электрического поля пластины изменится распределение электронов в гильзе и произойдёт её электризация: та её сторона, которая ближе к пластине, будет иметь положительный заряд, а противоположная сторона — отрицательный. Поскольку сила взаимодействия заряженных тел конечных размеров уменьшается с ростом расстояния между ними, притяжение к пластине левой стороны гильзы будет больше отталкивания правой стороны гильзы, и гильза будет двигаться к пластине, пока не коснётся её.

В момент касания часть электронов перейдёт с пластины на гильзу, гильза приобретёт отрицательный заряд и оттолкнётся от одноименно заряженной пластины. Гильза отклонится вправо и зависнет в положении, в котором равнодействующая всех сил равна нулю.