



**Решение  
качественных  
задач 28  
ЕГЭ по физике**


$$E = m \cdot c^2$$

# Извлечение из обобщенного плана варианта КИМ ЕГЭ 2016 года по физике для задания 28

<b>Проверяемые элементы содержания</b>	<b>Механика – Квантовая физика</b> <i>(качественная задача)</i>
<b>Коды элементы содержания по кодификатору элементов содержания</b>	<b>1.1. – 5.3</b> <i>(Кинематика – Квантовая физика)</i>
<b>Коды проверяемых умений</b>	<b>2.6, 3</b> <i>(применять полученные знания для решения физических задач, использовать приобретенные знания и умения в практической деятельности и повседневной жизни)</i>
<b>Уровень сложности задания</b>	<b>Повышенный</b>
<b>Максимальный балл за выполнение задания</b>	<b>3</b>

# Задание 28

– качественный вопрос, требующий подробного объяснения или обоснования. При выполнении этого задания нужно помнить о необходимости подробного и обоснованного ответа. В критериях оценки требования к полному и правильному решению включают обязательное указание на физическое явление, о котором идет речь в задании (его нужно узнать и назвать), и логически выстроенную цепочку рассуждений, приводящих к верному ответу.

# Типовые критерии оценки выполнения заданий 28

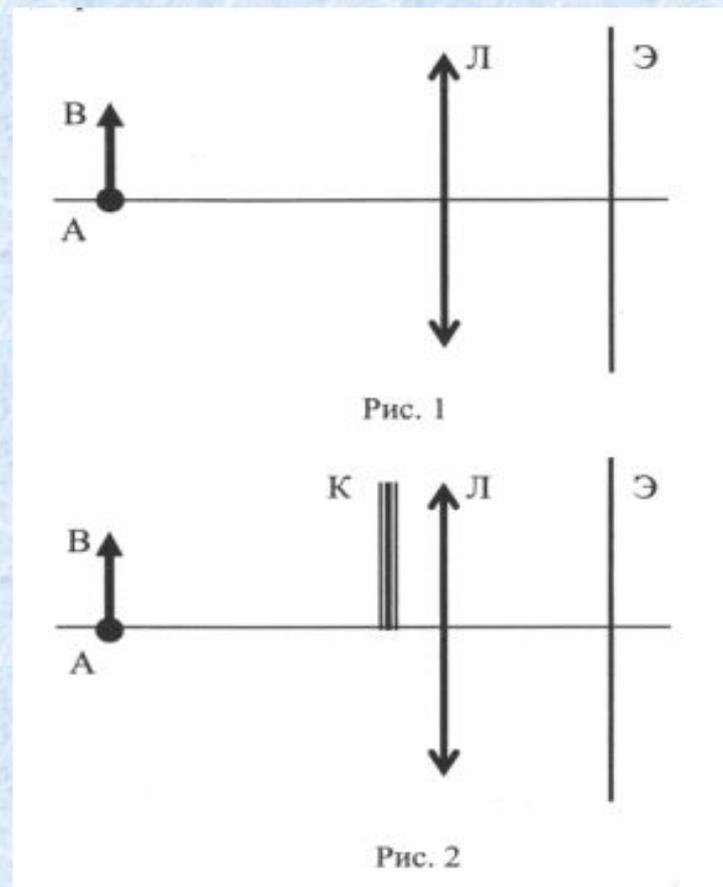
Критерии оценки выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное правильное решение, включающее правильный ответ (в данном случае – ...), и полное верное объяснение (в данном случае – ...) с указанием наблюдаемых явлений (в данном случае – ...).</p>	3
<p>Приведено решение и дан верный ответ, но имеется <u>один</u> из следующих недостатков:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>– В объяснении содержатся лишь общие рассуждения без привязки к конкретной ситуации задачи, хотя указаны все необходимые физические явления и законы.</li></ul> <p>ИЛИ</p> <ul style="list-style-type: none"><li>– Рассуждения, приводящие к ответу, представлены не в полном объеме или в них содержатся логические недочеты.</li></ul> <p>ИЛИ</p> <ul style="list-style-type: none"><li>– Указаны не все физические явления и законы, необходимые для полного правильного решения.</li></ul>	2

# Типовые критерии оценки выполнения заданий 28

Критерии оценки выполнения задания	Баллы
<p>Представлены записи, соответствующие одному из следующих случаев:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>– Приведены рассуждения с указанием на физические явления и законы, но дан неверный или неполный ответ.</li></ul> <p>ИЛИ</p> <ul style="list-style-type: none"><li>– Приведены рассуждения с указанием на физические явления и законы, но ответ не дан.</li></ul> <p>ИЛИ</p> <ul style="list-style-type: none"><li>– Представлен только правильный ответ без обоснований</li></ul>	<b>1</b>
<p>Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла.</p>	<b>0</b>

# Задача из раздела «Оптика»

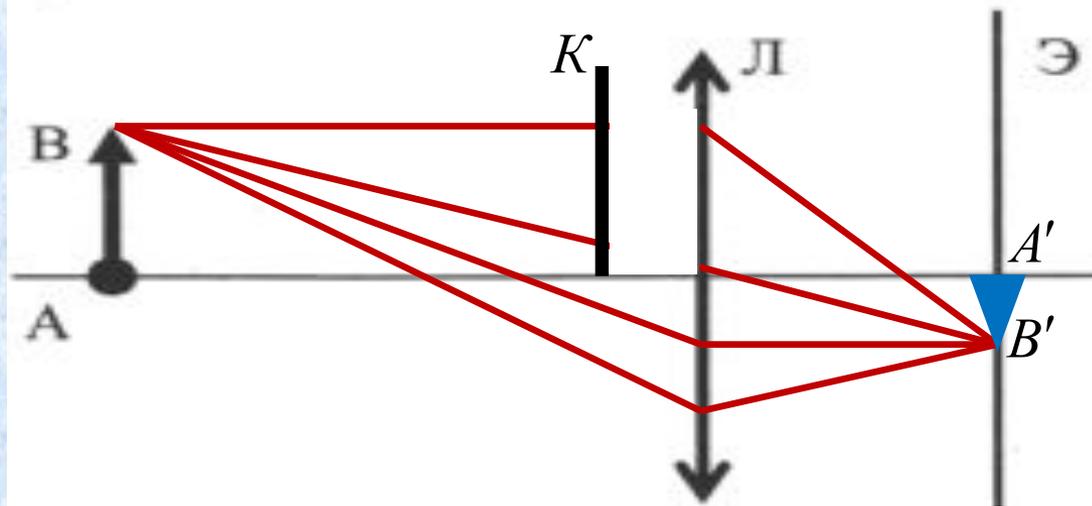
Тонкая линза  $L$  дает четкое действительное изображение предмета  $AB$  на экране  $\mathcal{E}$  (см. рис. 1). Что произойдет с изображением предмета на экране, если верхнюю половину линзы закрыть куском черного картона  $K$  (см. рис. 2)? Постройте изображение предмета в обоих случаях.



Ответ поясните, указав, какие физические явления и закономерности вы использовали для объяснения.

# Решение задачи из раздела «Оптика»

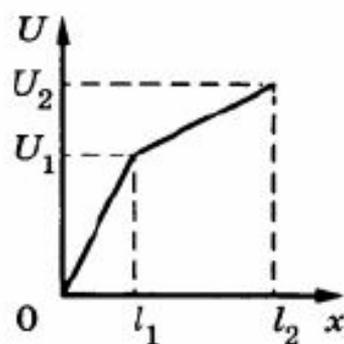
1. Изображением точки в тонкой линзе служит точка. В данной задаче это означает, что все лучи от любой точки предмета пересекаются за линзой в одной точке, давая действительное изображение.



2. Пока картон не мешает, построим изображение в линзе предмета АВ, используя лучи, исходящие из точки В. Проведя первый луч через центр линзы, находим точку В' – изображение точки В. Проводим следующие два луча, находим фокусы линзы. Затем проводим еще один луч, пользуясь правилом, что изображением точки является точка.

3. Кусок картона К перекрывает первые лучи, но никак не влияет на ход остальных. Благодаря этим и аналогичным им лучам изображение предмета продолжает существовать на прежнем месте, не меняя формы, но становится темнее, т.к. часть лучей больше не участвуют в построении изображения.

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



Решение

1. Падение напряжения на проводнике, обладающем активным сопротивлением:

$$U_R = IR;$$

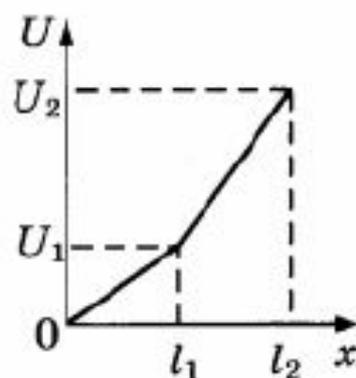
2. Электрическое сопротивление цилиндрического проводника с удельным сопротивлением  $\rho$ , длиной  $x$  и площадью поперечного сечения  $S$

$$R = \frac{\rho x}{S}; \Rightarrow S \sim \frac{1}{R}; \quad U_R = \frac{I \rho x}{S}; \quad \frac{U_1}{l_1} = \xi_1 = \frac{I \rho}{S}; \quad I \rho = \text{const}; \Rightarrow \xi_1 > \xi_2,$$

следовательно:

$$S_1 < S_2;$$

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



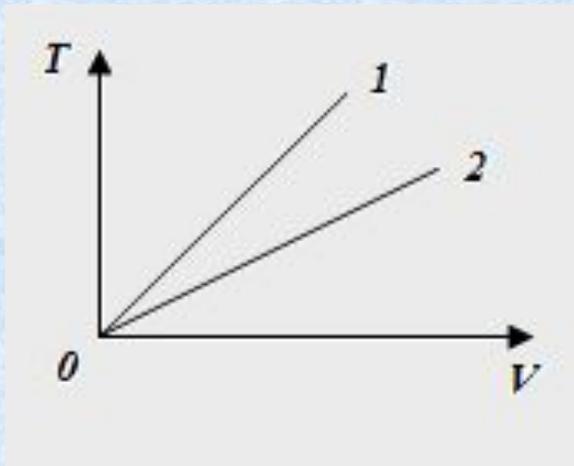
### Решение

1. Зависимость падения напряжения от длины проводника:

$$U = IR = I\rho \frac{x}{S}; \Rightarrow \rho = \frac{(U_2 - U_1)S}{Ix}; \quad l_1 = l_2; \quad S = \text{const}; \Rightarrow \rho \sim \Delta U;$$

$$\rho_{0-1} < \rho_{1-2};$$

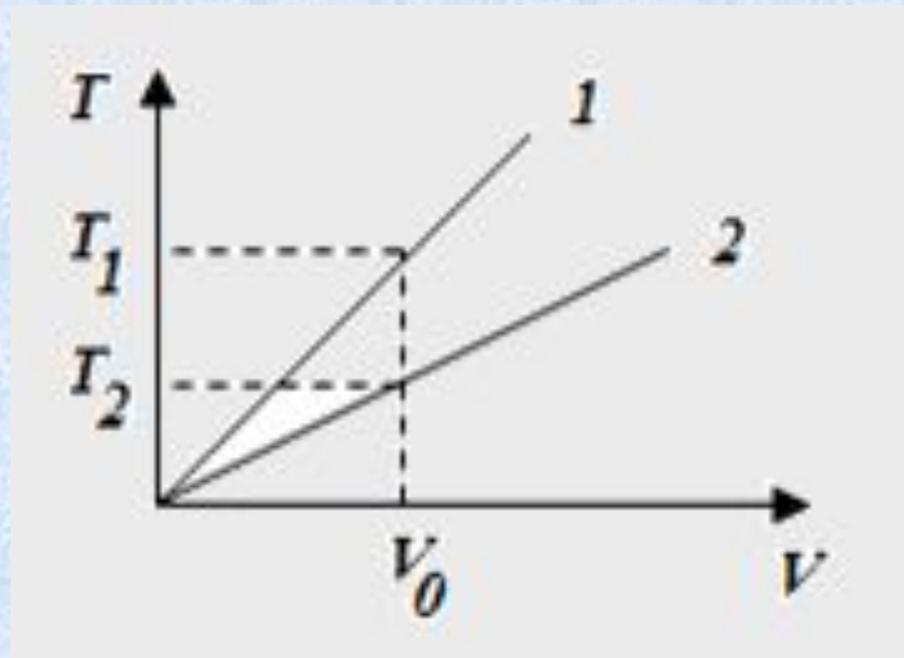
# Задача из раздела «Молекулярная физика»



- На рисунке изображены графики изобарного расширения (нагревания) двух порций одного и того же идеального газа при одном и том же давлении. Почему изобара 1 лежит выше изобары 2? Ответ обоснуйте. Какие физические закономерности вы использовали для обоснования ответа?

# Решение задачи из раздела «Молекулярная физика»

- Состояние газа описывается уравнением Менделеева-Клапейрона  $pV = \nu RT$ , где  $\nu$  – количество вещества.  
По условию давление двух порций газа одинаково, поэтому различие температур при одном и том же объеме (см. рис.) объясняется различием количеств вещества.  
Поскольку при этом  $T_1 > T_2$ , то из равенства для обеих порций газа произведения  $pV_0$  вытекает, что  $\nu_1 < \nu_2$



# Задача из раздела «Молекулярная физика»

В цилиндрическом сосуде под поршнем длительное время находятся вода и ее пар. Поршень начинают выдвигать из сосуда. При этом температура воды и пара остается неизменной. Как будет меняться при этом масса жидкости в сосуде? Ответ поясните, указав, какие физические закономерности вы использовали для объяснения.

- 1. Ответ: масса жидкости в сосуде будет уменьшаться.*
- 2. Вода и водяной пар находятся в закрытом сосуде длительное время, поэтому водяной пар является насыщенным.*
- 3. При выдвигании поршня происходит изотермическое расширение пара, давление и плотность насыщенного пара в этом процессе не меняются. Следовательно, будет происходить испарение жидкости. Значит масса жидкости в сосуде будет уменьшаться.*

4

В цилиндрическом сосуде под поршнем длительное время находятся вода и ее пар. Поршень начинают выдвигать из сосуда. При этом температура воды и пара остается неизменной. Как будет меняться при этом масса жидкости в сосуде? Ответ поясните, указав, какие физические закономерности вы использовали для объяснения.

**Ответ:**

Образец возможного решения

- 1) Ответ: масса жидкости в сосуде будет уменьшаться.
- 2) Вода и водяной пар находятся в закрытом сосуде длительное время, поэтому водяной пар является насыщенным.
- 3) При выдвигании поршня происходит изотермическое расширение пара, давление и плотность насыщенного пара в этом процессе не меняются. Следовательно, будет происходить испарение жидкости. Значит, масса жидкости в сосуде будет уменьшаться.

Критерии оценки выполнения задания	Баллы
Приведено полное правильное решение, включающее правильный ответ (в данном случае – <i>изменение массы жидкости, п.1</i> ), и полное верное объяснение (в данном случае – <i>п.2–3</i> ) с указанием наблюдаемых явлений и законов (в данном случае – <i>водяной пар становится насыщенным, независимость плотности (давления) насыщенного пара от объема при данной температуре</i> ).	3
Приведено решение и дан верный ответ, но имеется <u>один</u> из следующих недостатков: — В объяснении содержатся лишь общие рассуждения без привязки к конкретной ситуации задачи, хотя указаны все необходимые физические явления и законы.  ИЛИ — Рассуждения, приводящие к ответу, представлены не в полном объеме или в них содержатся логические недочеты.	2

## Задача из раздела «Термодинамика»

ИЛИ	
— Указаны не все физические явления и законы, необходимые для полного правильного решения.	
Представлены записи, соответствующие <u>одному</u> из следующих случаев: — Приведены рассуждения с указанием на физические явления и законы, но дан неверный или неполный ответ.	1
ИЛИ	
— Приведены рассуждения с указанием на физические явления и законы, но ответ не дан.	
ИЛИ	
— Представлен только правильный ответ без обоснований.	
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла.	0

# Задача из раздела «Квантовая физика»

- Если кольцо диаметром 3—4 см, согнутое из тонкой проволоки, окунуть в раствор мыла или стирального порошка, то, вынув его из раствора, можно обнаружить радужную пленку, затягивающую отверстие кольца.

Если держать кольцо так, чтобы его плоскость была вертикальна, и рассматривать пленку в отраженном свете на темном фоне, то в верхней части пленки через некоторое время будет видно растущее темное пятно, окольцованное разноцветными полосами.

Как чередуется цвет полос в направлении от темного пятна к нижней части кольца?

Ответ поясните, используя физические закономерности.

# Решение задачи из раздела «Квантовая физика»

- 1. Окраска пленки обусловлена интерференцией света, отраженного от передней и задней поверхностей пленки.
- 2. Темное пятно на пленке появляется, когда из-за стекания мыльного раствора вниз толщина пленки становится слишком малой и не наблюдается интерференционный максимум ни для одной из длин волн в видимом диапазоне.
- 3. По направлению от темного пятна к нижней части кольца толщина пленки постепенно увеличивается, поэтому условие наблюдения первого интерференционного максимума при переходе от темного пятна к нижней части кольца выполняется сначала для света с наименьшей длиной волны (фиолетового), а затем по очереди для света всех цветов радуги, заканчивая светом с наибольшей длиной волны (красным).  
Затем наблюдаются максимумы следующих порядков.  
В результате под темным пятном пленка окрашена в фиолетовый цвет, затем в синий и т.д. до красного. Затем чередование цветов повторяется, но цвета начинают смешиваться, т.к. возможно наложение друг на друга максимумов разных порядков для разных

В схеме на рисунке сопротивление резистора и полное сопротивление реостата равны  $R$ , ЭДС бакак показано на рисунках а и б. Конденсаторы имеют одинаковую площадь пластин, но различаются расстоянием между пластинами. В некоторый момент времени ключи  $K$  в обеих схемах переводят из положения 1 в положение 2. Опираясь на законы электродинамики, объясните, в каком из приведённых опытов при переключении ключа лампа вспыхнет ярче. Сопротивлением соединяющих проводов пренебречь.

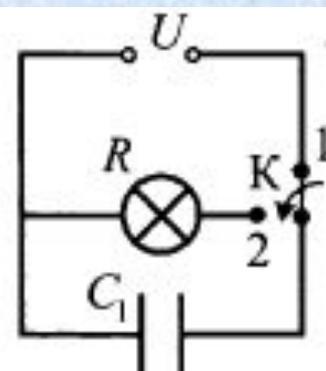


Рис. а

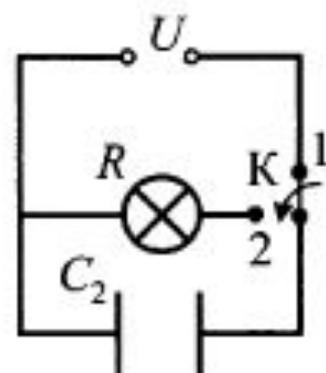


Рис. б

Конденсатор, подключённый к источнику постоянного напряжения, будет заряжаться. В результа-

те этого он накапливает энергию  $W = \frac{CU^2}{2}$ . Электроёмкость плоского воздушного конденсатора оп-

ределяется формулой  $C = \frac{\epsilon_0 S}{d}$ . У конденсатора на рис. б расстояние между пластинами  $d$  больше, чем

у конденсатора на рис. а, следовательно, его электроёмкость меньше:  $C_2 < C_1$ , а значит, и энергия, накопленная в нём, будет меньше:  $W_2 < W_1$ . При переводе ключей из положения 1 в положение 2 конденсаторы отключают от источников и соединяют с лампами, в результате чего через лампы кратковременно будет протекать электрический ток. Энергия электрического поля, накопленная конденсатором, выделится в лампе в виде световой энергии, что приведёт к кратковременной вспышке лампы. Энергия, накопленная конденсатором  $C_1$ , больше, следовательно, при переключении ключа лампа в схеме на рис. а вспыхнет ярче.

Лампа в схеме на рис. а вспыхнет ярче

# Задача из раздела «Термодинамика»

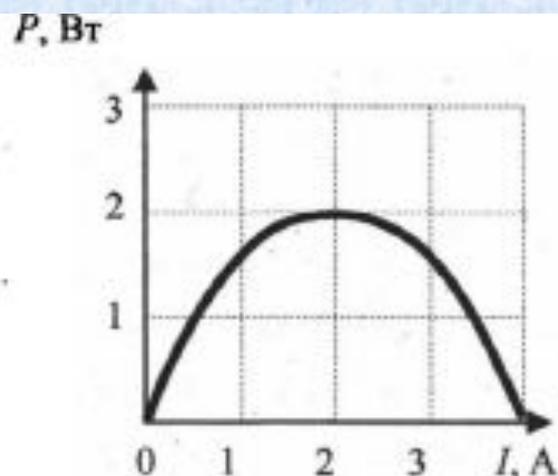
- В эксперименте установлено, что при температуре воздуха в комнате 29 С на стенке стакана с холодной водой начинается конденсация паров воды из воздуха, если снизить температуру стакана до 25 С. По результатам этих экспериментов определите относительную влажность воздуха. Для решения задачи воспользуйтесь таблицей. Изменится ли относительная влажность при повышении температуры воздуха в комнате, если конденсация паров воды из воздуха будет начинается при той же температуре стакана 25 С? Давление и плотность насыщенного водяного пара при различной температуре показано в таблице:*

t (С)	7	9	11	12	13	14	15	16	19	21	23	25	27	29	40	60
p (гПа)	10	11	13	14	15	16	17	18	22	25	28	32	36	40	74	200
p (г/м <sup>3</sup> )	7,7	8,8	10,0	10,7	11,4	12,1	12,8	13,6	16,3	18,4	20,6	23,0	25,8	28,7	51,2	130,5

# Решение задача из раздела «Термодинамика»

№ этапа	Содержание этапа решения	Оценка этапа в баллах
1	Водяной пар в воздухе становится насыщенным при температуре $25^{\circ}\text{C}$ . Следовательно, давление $p$ водяного пара в воздухе равно давлению насыщенного пара при температуре $25^{\circ}\text{C}$ , из таблицы 32 гПа. Давление $p_{\text{о}}^{\text{насыщенного}}$ водяного пара при температуре $29^{\circ}\text{C}$ равно 40 гПа.	1
2	Относительной влажностью воздуха $\varphi$ называется отношение: $\varphi = \frac{32 \text{ гПа}}{40 \text{ гПа}} = 0,8 = 80\%$	1
3	Относительная влажность при повышении температуры воздуха в комнате уменьшится, так как давление $p$ водяного пара в воздухе остается неизменным, а давление $p_{\text{о}}^{\text{насыщенного}}$ водяного пара при повышении температуры воздуха увеличивается.	1
	<i>Максимальный балл</i>	3

Электрическая цепь состоит из батареи с ЭДС  $\varepsilon$  и внутренним сопротивлением  $r = 0,5$  Ом и подключённого к ней резистора нагрузки с сопротивлением  $R$ . При изменении сопротивления нагрузки изменяется сила тока в цепи и мощность в нагрузке. На рисунке представлен график изменения мощности, выделяющейся на нагрузке, в зависимости от силы тока в цепи. Используя известные физические законы, объясните, почему данный график зависимости мощности от силы тока является параболой. Чему равно ЭДС батареи?



Тепловая мощность, выделяющаяся на резисторе, имеющем сопротивление  $R$ , определяется законом Джоуля–Ленца

$$P = UI,$$

где  $I$  – сила тока в цепи, а  $U$  – напряжение на резисторе.

Сила тока определяется законом Ома для полной цепи  $I = \frac{\varepsilon}{R+r}$ , а напряжение на резисторе – законом Ома для участка цепи  $U = IR$ .

На графике мощность в нагрузке зависит от силы тока  $I$ , поэтому сопротивление нагрузки  $R = R(I) = \frac{\varepsilon}{I} - r$  и напряжение на резисторе  $U(I) = IR = \varepsilon - Ir$  необходимо рассматривать как величины, зависящие от силы тока  $I$  и параметров батареи  $\varepsilon$  и  $r$ , которые не меняются. Мощность в нагрузке

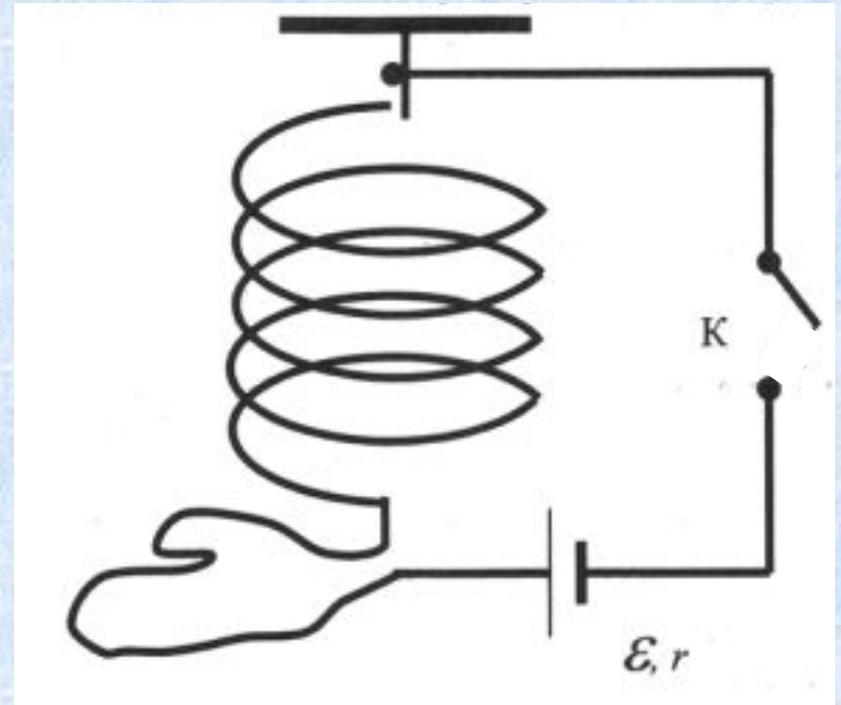
$$P(I) = U(I)I = I(\varepsilon - Ir) \quad (1)$$

– квадратичная функция силы тока.

График этой функции – парабола, проходящая через точки  $I_1 = 0$ ,  $I_2 = I_{\max} = \varepsilon / r$ . Следовательно,  $\varepsilon = 2 \text{ В}$ .

# Задача из разделов «Динамика» и «Магнитное поле»

Мягкая пружина из нескольких крупных витков провода подвешена к потолку. Верхний конец пружины подключается к источнику тока через ключ  $K$ , а нижний — с помощью достаточно длинного мягкого провода. Как изменится длина пружины через достаточно большое время после замыкания ключа  $K$ ? Ответ поясните, указав, какие физические явления и закономерности вы использовали для объяснения.



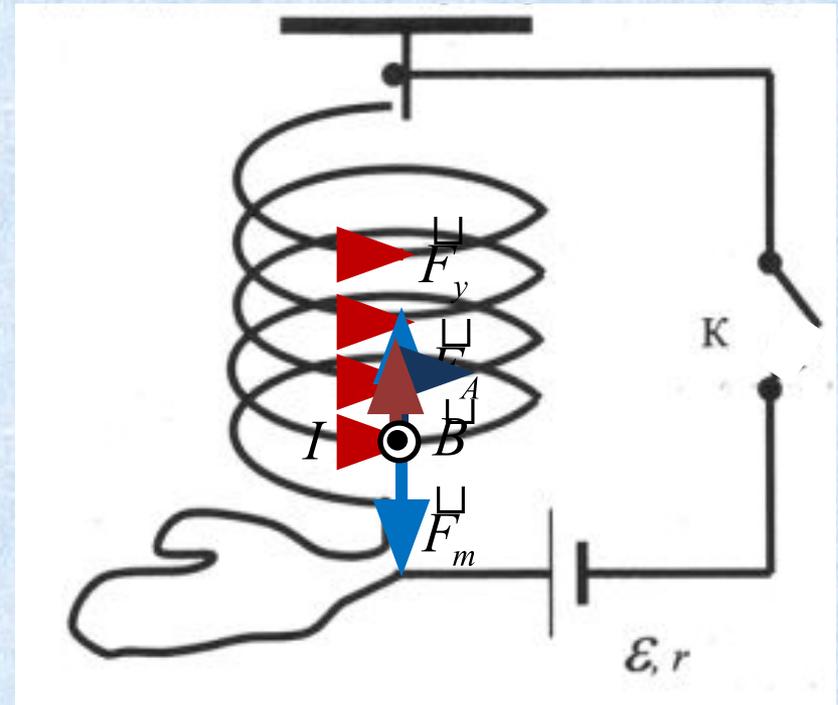
# Решение задачи из разделов «Динамика» и «Магнитное поле»

1) Пружина сожмется, ее длина уменьшится.

2) До замыкания ключа пружина находится в состоянии, в котором упругие силы, действующие на каждый виток пружины со стороны соседних витков, уравновешивают силу тяжести, действующую на виток.

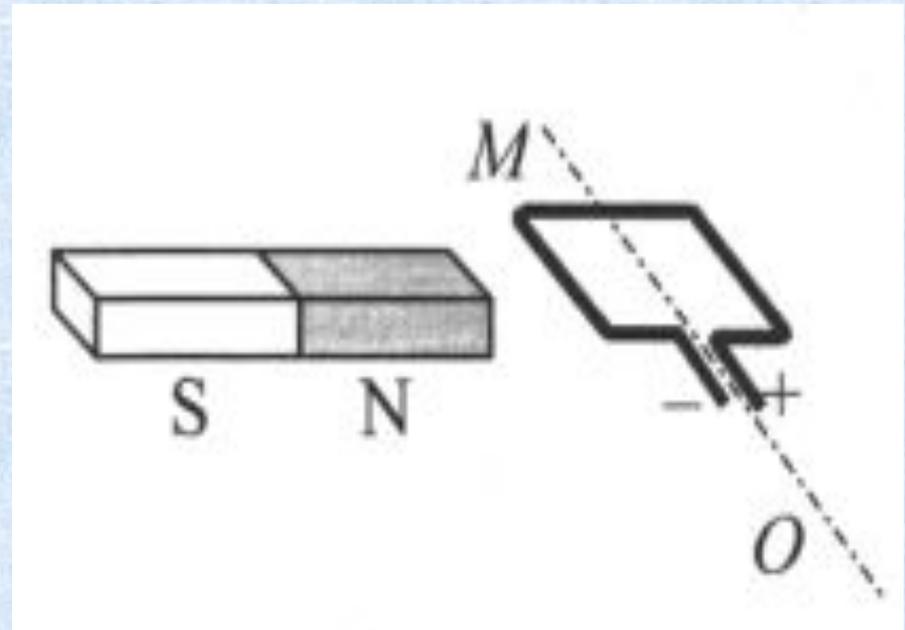
3) При замыкании ключа  $K$  по цепи пойдет ток.

В соседних витках пружины токи потекут сонаправлено. Проводники с сонаправленными токами притягиваются друг к другу. В результате будет достигнуто новое состояние равновесия (пружина станет короче), в котором упругие силы, действующие на каждый виток пружины со стороны соседних витков, будут уравновешивать силу тяжести и силу Ампера, действующие на виток.



# Задача из раздела «Магнитное поле»

Рамку с постоянным током удерживают неподвижно в поле полосового магнита. Полярность подключения источника тока к выводам рамки показана на рисунке. Как будет двигаться рамка на неподвижной оси  $MO$ , если рамку не удерживать?



Ответ поясните, указав, какие физические явления и закономерности вы использовали для объяснения. Считать, что рамка испытывает небольшое сопротивление движению со стороны воздуха.

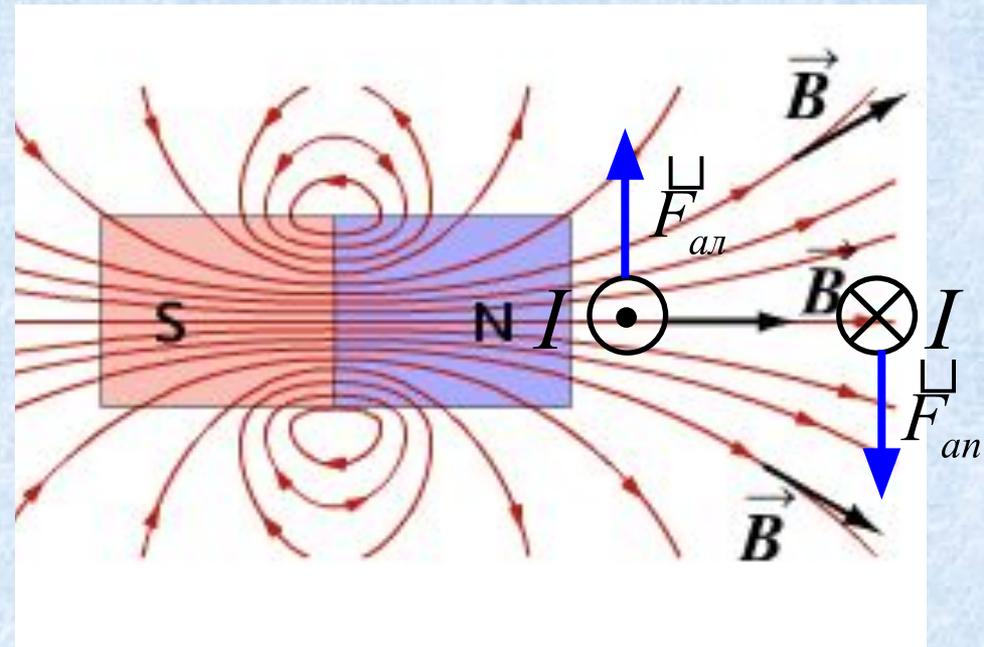
# Решение задачи из раздела «Магнитное поле»

1) Ответ: Рамка повернется по часовой стрелке и встанет перпендикулярно оси магнита так, что контакт (+) окажется внизу.

2) В исходном положении в левом звене рамки ток направлен к нам, а в правом — от нас.

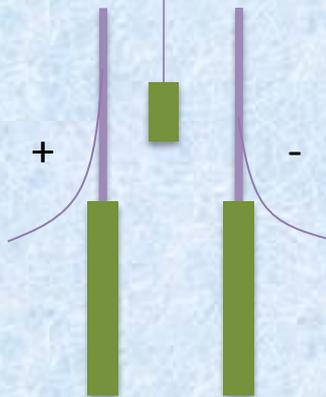
3) На левое звено рамки действует сила Ампера, направленная вверх, а на правое звено — вниз.

4) Эти силы разворачивают рамку на неподвижной оси МО по часовой стрелке, возникают колебания рамки вокруг положения равновесия. Сопротивление воздуха способствует затуханию этих колебаний.



# Задача 28 из раздела «Электродинамика»

- *Между двумя металлическими близко расположенными пластинами, укреплёнными на изолирующих подставках, подвесили на шёлковой нити лёгкую металлическую незаряженную гильзу. Когда пластины подсоединили к клеммам высоковольтного выпрямителя, подав на них заряды разных знаков, гильза пришла в движение. Опишите движение гильзы и объясните его.*

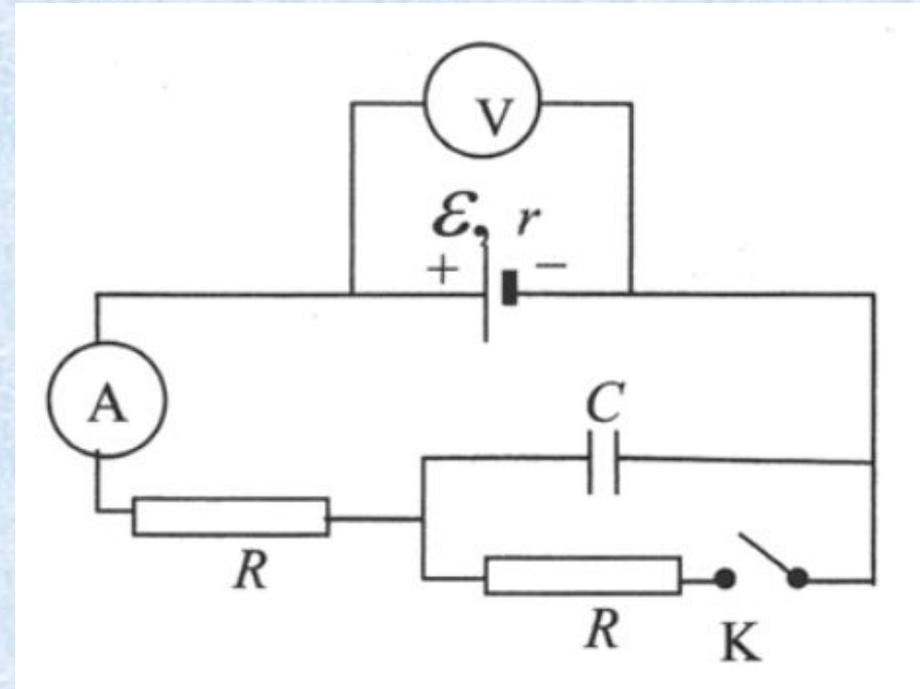


- Под действием эл. поля пластин изменится распределение электронов в гильзе и произойдёт её электризация: левая сторона будет иметь отрицательный заряд, а правая сторона – положительный.
- Сила взаимодействия заряженных тел уменьшается с ростом расстояния между ними. Поэтому притяжение к пластинам ближних к ним сторон гильзы будет больше отталкивания противоположных сторон гильзы, и гильза будет двигаться к ближайшей пластине, пока не коснётся её.
- В момент касания пластины гильза приобретёт заряд того же знака, какой имеется у пластины, оттолкнётся от неё и будет двигаться к противоположной пластине. Коснувшись её, гильза поменяет знак заряда, вернётся к первой пластине, и такое движение будет периодически повторяться.



# Задача из раздела «Законы постоянного тока»

На рисунке показана электрическая цепь, содержащая источник тока (с внутреннем сопротивлением), два резистора, конденсатор, ключ, амперметр и идеальный вольтметр. Как изменятся показания амперметра и вольтметра в



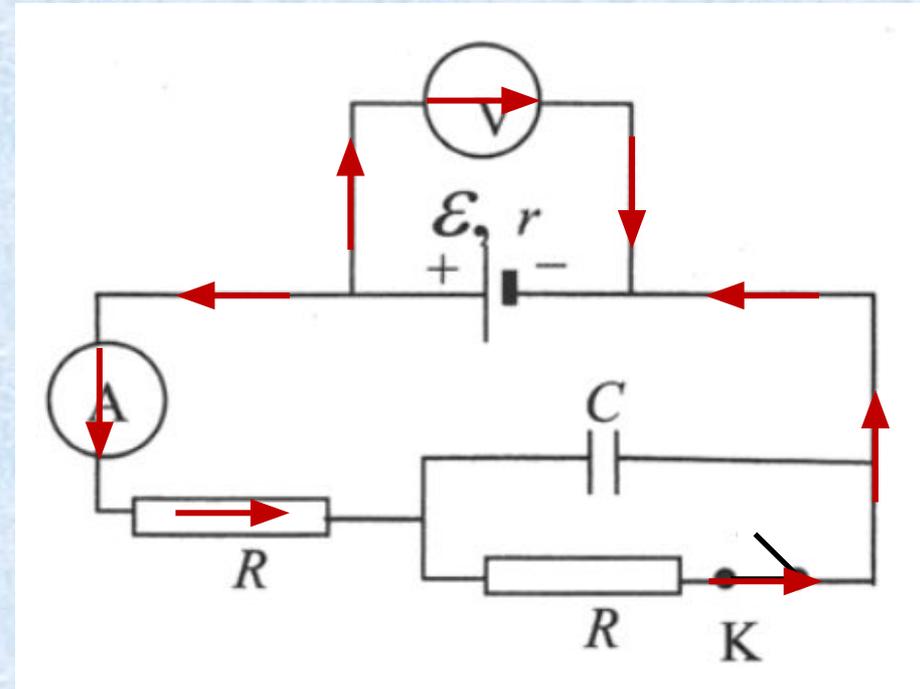
результате замыкания ключа? Ответ поясните, указав, какие физические явления и закономерности вы использовали для объяснения.

# Решение задачи из раздела «Законы постоянного тока»

1) Показания амперметра станут отличными от нуля, а показания вольтметра уменьшатся.

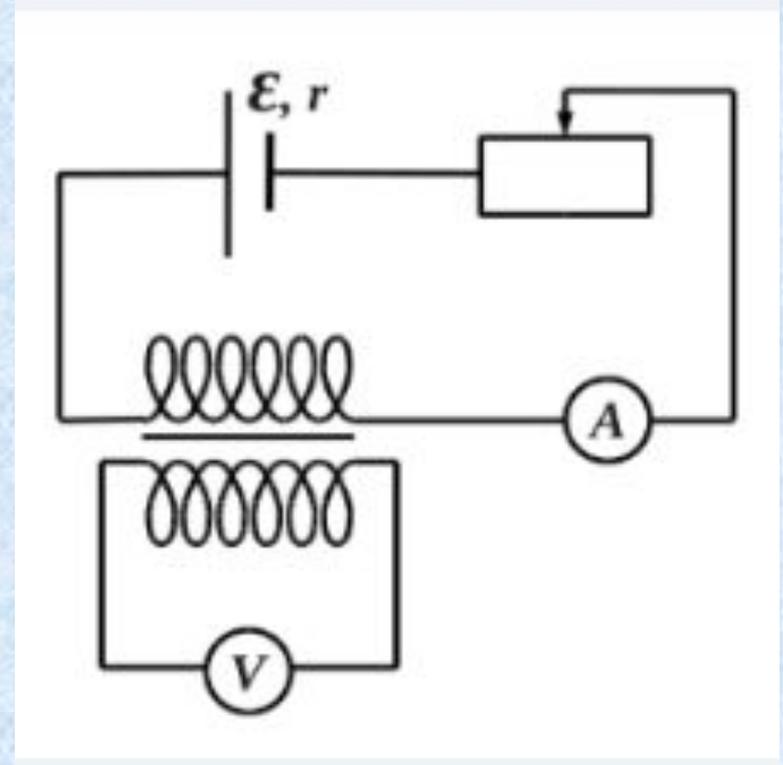
2) До замыкания ключа амперметр показывает нулевой ток, вольтметр – ЭДС источника тока.

3) Замыкание ключа вызовет появление тока в цепи, поэтому показания вольтметра уменьшатся на величину падения напряжения на внутреннем сопротивлении источника тока (по закону Ома для полной цепи  $U = \varepsilon - Ir$ )



# Задача из раздела «Электромагнитная индукция»

На рисунке показана электрическая цепь, состоящая из гальванического элемента, реостата, трансформатора, амперметра и вольтметра. В начальный момент времени ползунок установлен посередине и неподвижен.



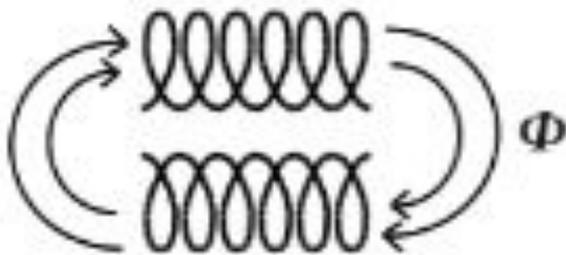
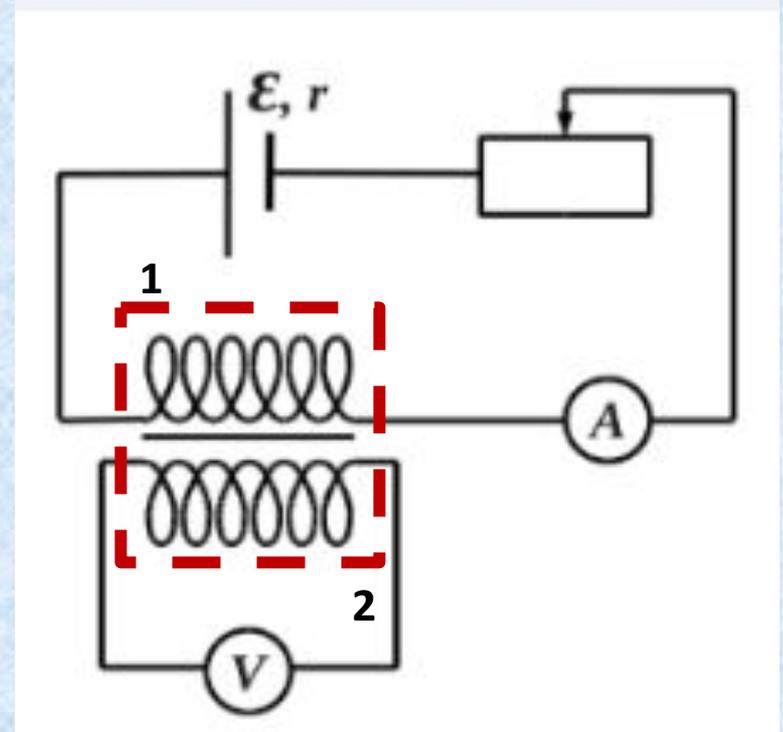
Опираясь на законы электродинамики, объясните, как будут изменяться показания приборов в процессе перемещения ползунка реостата вправо. ЭДС самоиндукции пренебречь по сравнению с  $\mathcal{E}$ .

# Решение задачи из раздела «Электромагнитная индукция»

Обозначим катушку трансформатора, подключенную к источнику тока 1, а подключенную к вольтметру 2.

Пока ползунок неподвижен, по цепи, включающей первичную обмотку трансформатора (1), течет постоянный ток. По закону Ома для полной цепи  $I = \frac{\varepsilon}{R+r}$ , где  $R$  – внешнее сопротивление цепи. Этот ток показывает амперметр.

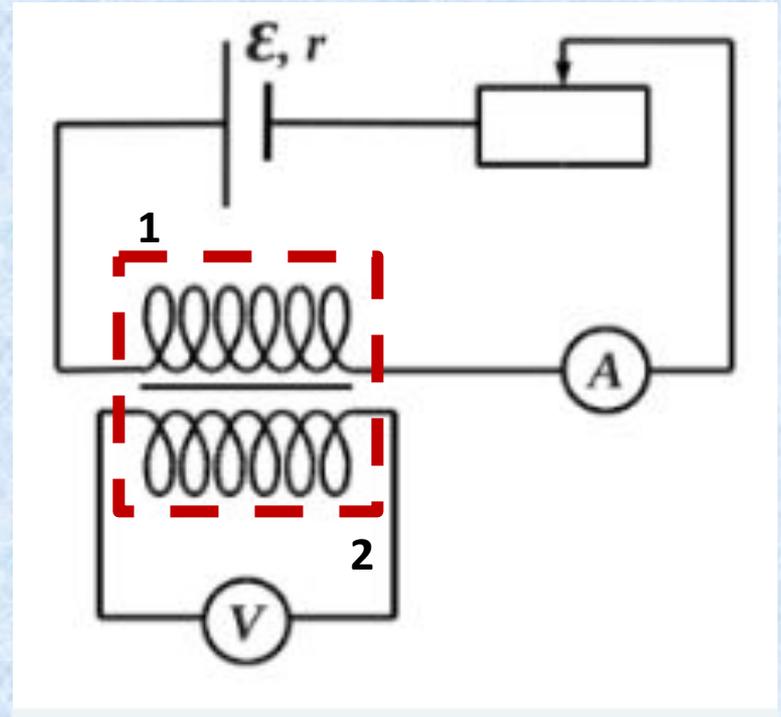
В трансформаторе первичная и вторичная обмотки связаны индуктивно.



Когда по первичной обмотке идет ток, он создает в ней магнитный поток  $\Phi$ . Этот поток поля почти весь пронизывает и вторичную катушку. Если ток в катушке 1 постоянен, значит  $\Delta\Phi = 0$  Вб, то во вторичной обмотке трансформатора ЭДС не возникает, значит и напряжения на вольтметре нет, он показывает ноль.

# Решение задачи из раздела «Электромагнитная индукция»

При движении ползунка реостата вправо, его сопротивление начнет увеличиваться, следовательно сила тока в цепи, согласно закону Ома, будет уменьшаться, так как все остальные величины постоянны (по условию ЭДС самоиндукции пренебречь, поэтому сопротивление катушки неизменно). Таким образом, показания амперметра будут уменьшаться. Изменяющийся в первичной катушке ток вызовет изменение магнитного потока через первичную и вторичную катушки.

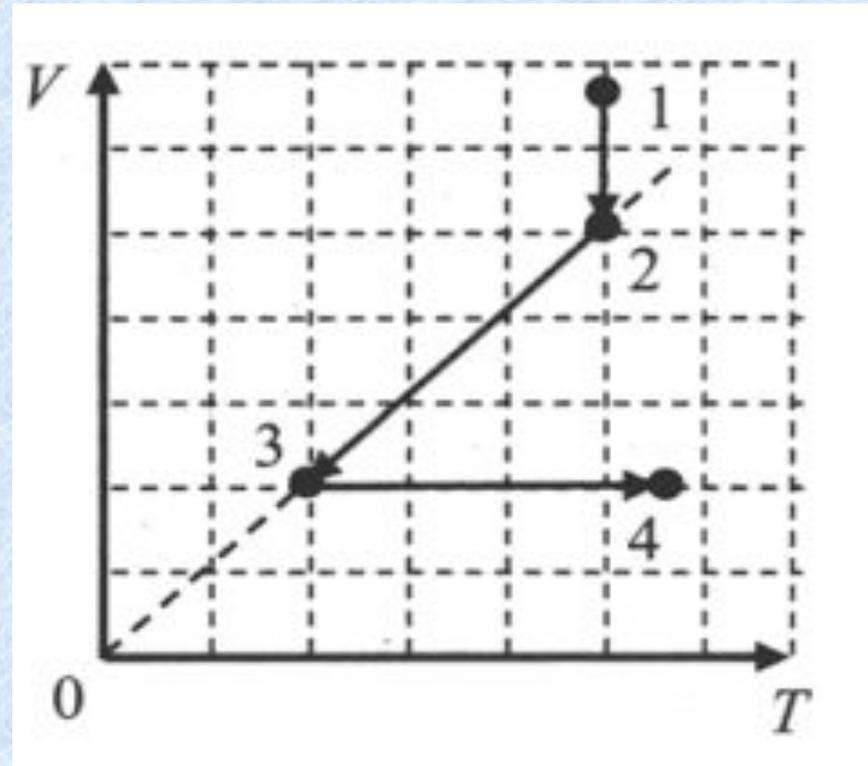


Следовательно, во вторичной обмотке по закону электромагнитной индукции возникает ЭДС:  $\varepsilon_{\text{инд}} = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ . Вольтметр покажет эту ЭДС.

Таким образом, показания амперметра уменьшатся, а вольтметр покажет величину, отличную от нуля.

# Задача из раздела «Молекулярная физика»

На  $V$ - $T$ -диаграмме показано, как изменялись объем и температура некоторого постоянного количества разряженного газа при его переходе из начального состояния 1 в состояние 4. Как изменялось давление газа  $p$  на каждом из трех 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.



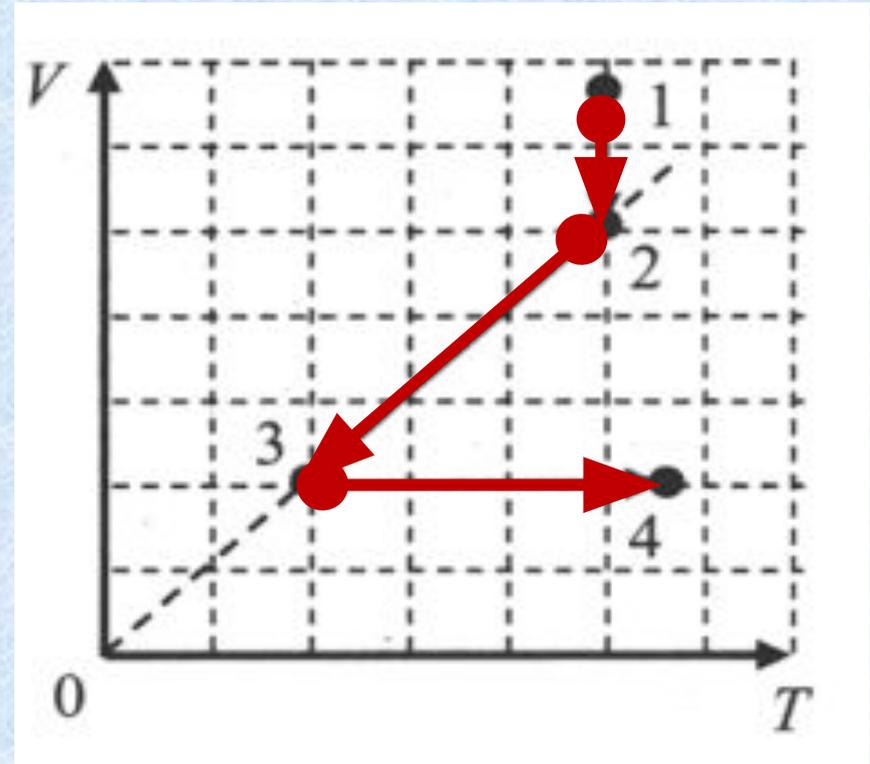
Ответ поясните, указав, какие физические явления и закономерности вы использовали для объяснения.

# Решение задачи из раздела «Молекулярная физика»

1) Давление газа на участке 1–2 увеличивалось, на участке 2–3 не изменялось, на участке 3–4 увеличивалось.

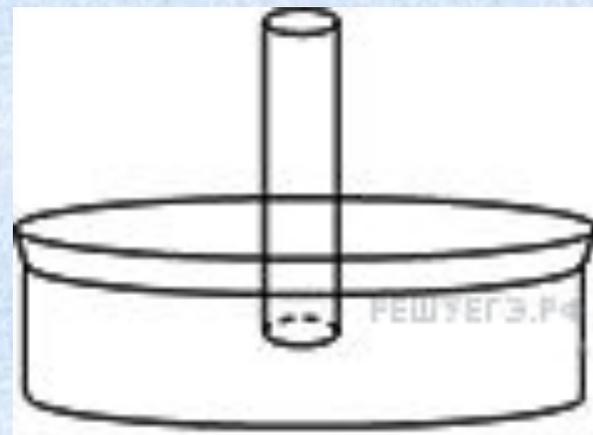
2) На участке 1–2 процесс изотермический. По закону Бойля-Мариотта ( $pV = const$ ), при уменьшении объема давление увеличивается.

На участке 2–3 процесс изобарный; значит, давление остается неизменным. На участке 3–4 процесс изохорный. По закону Шарля ( $P/T = const$ ) температура увеличивается, следовательно, давление увеличивается



# Задача из раздела «Термодинамика»

- Широкую стеклянную трубку длиной около полуметра, запаянную с одного конца, целиком заполнили водой и установили вертикально открытым концом вниз, погрузив низ трубки на несколько сантиметров в тазик с водой (см. рисунок). При комнатной температуре трубка остается целиком заполненной водой. Воду в тазике медленно нагревают. Где установится уровень воды в трубке, когда вода в тазике начнет закипать? Ответ поясните, используя физические закономерности.



# Решение задачи из раздела «Термодинамика»

- 1. При комнатной температуре вода занимает весь объем трубки и не выливается из нее, потому что давление насыщенного водяного пара при комнатной температуре очень невелико (менее от нормального атмосферного давления) и над водой возникнет «торричеллиева пустота», заполненная насыщенным водяным паром, только если высота водяного столба будет примерно 10 метров.
- 2. С ростом температуры воды давление ее насыщенного пара растет, пока при температуре кипения не сравняется с внешним атмосферным давлением. Поэтому, когда температура воды в трубке приблизится к температуре кипения, над водой в трубке появится «торричеллиева пустота», заполненная насыщенным водяным паром. С дальнейшим повышением температуры уровень воды в трубке будет понижаться. При температуре кипения достигается равенство давления насыщенного водяного пара в трубке и атмосферного давления, поэтому уровень воды в трубке и в тазике одинаков.

# Задача из раздела «Квантовая физика»

- 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.

# Решение задачи из раздела «Квантовая физика»

## 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 сажой, 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:

$$F_1 = \frac{p_{\Sigma}}{t} = \frac{N}{t} \frac{h\nu}{c}.$$

4. В результате отражения света от зеркальной пластины отражённый квант имеет импульс, противоположный по знаку импульсу кванта падающей волны:  $p'_{\phi} = -p_{\phi}$ , 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

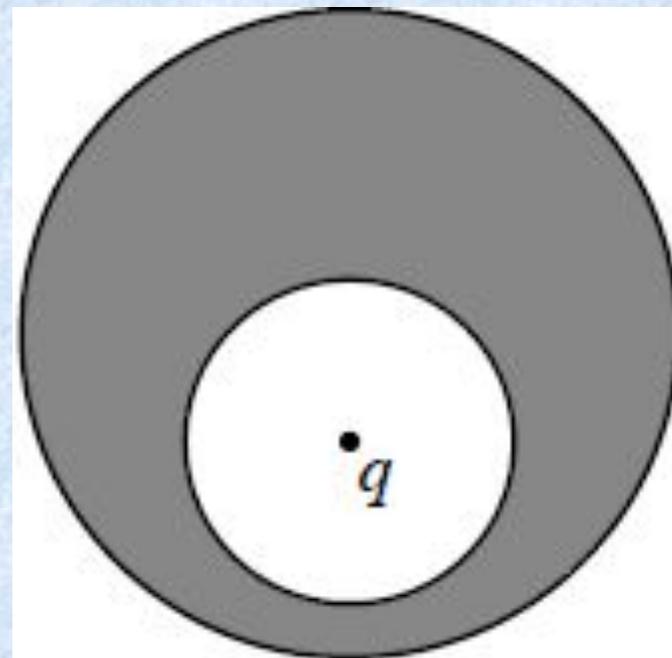
$$\Delta p_{\Sigma} = (-p'_{\Sigma}) - p_{\Sigma} = -(N + N')p_{\phi}.$$

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

$$F_2 = \frac{p_{пл}}{t} = \frac{N + N'}{t} \cdot \frac{h\nu}{c}.$$

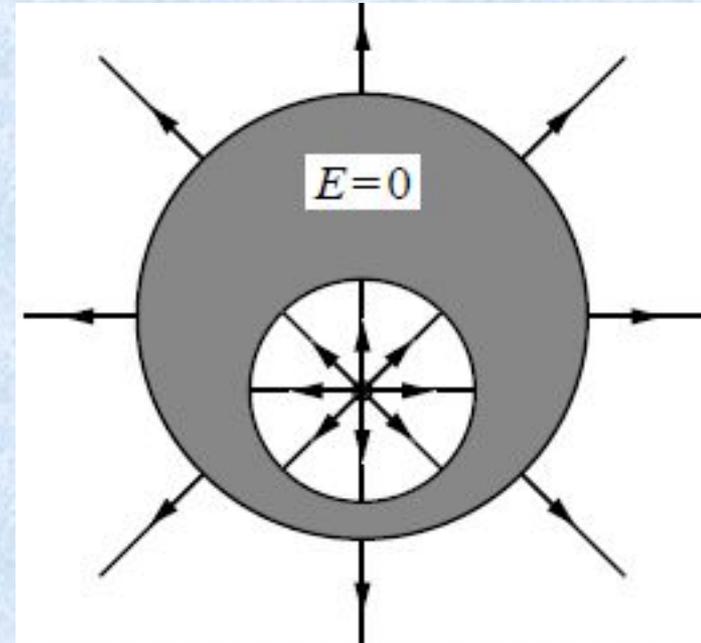
# Задача из раздела «Электричество»

В нижней половине незаряженного металлического шара находится крупная шарообразная полость, заполненная воздухом. Шар находится в воздухе вдали от других предметов. В центр полости помещен положительный точечный заряд  $q > 0$  (см. рис.). Нарисуйте картину силовых линий электростатического поля внутри полости и снаружи шара. Если поле равно нулю, напишите в данной области  $E = 0$ . Если поле отлично от нуля, нарисуйте картину поля в данной области, используя восемь силовых линий.



# Решение задачи из раздела «Электричество»

1. Приведен схематический рисунок картины силовых линий: внутри полости — семейство прямых лучей, исходящих из заряда и приходящих на поверхность полости по нормали; снаружи шара — семейство прямых лучей, исходящих с поверхности шара по нормали к ней и уходящих на бесконечность
2. Внутри проводника — электростатическое поле  $E=0$ . Поэтому поле в полости обладает центральной симметрией и выглядит как поле точечного заряда  $q>0$ , находящегося в центре полости. Силовые линии этого поля подходят по нормали к поверхности полости, где равномерно распределен отрицательный индуцированный заряд  $-q<0$ .
3. На внешней поверхности шара находится (т.к. шар в целом нейтрален) положительный заряд  $q>0$ . Из-за того, что внутри проводника  $E=0$ , а снаружи окружающие предметы расположены далеко от шара, этот заряд распределен по поверхности шара равномерно. Его поле вне шара выглядит как поле точечного заряда  $q>0$ , расположенного в центре шара. Силовые линии отходят от шара по нормали к его поверхности.



# Задача из раздела «Электричество»

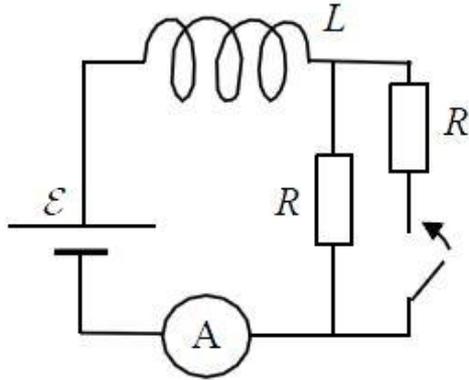


Рис. 1

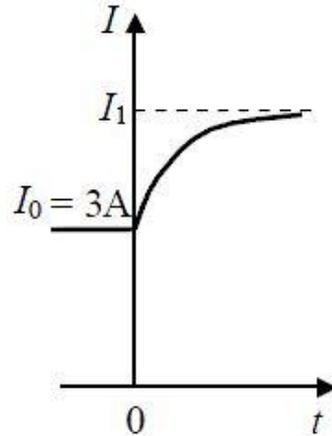


Рис. 2

Катушка, обладающая индуктивностью  $L$ , соединена с источником питания с ЭДС  $E$  и двумя одинаковыми резисторами  $R$ . Электрическая схема соединения показана на рис. 1. В начальный момент ключ в цепи разомкнут. В момент времени  $t = 0$  ключ замыкают, что приводит к изменениям силы тока, регистрируемым амперметром, как показано на рис. Основываясь на известных физических законах, объясните, почему при замыкании ключа сила тока плавно увеличивается до некоторого нового значения –  $I_1$ . Определите значение силы тока  $I_1$ . Внутренним сопротивлением источника тока пренебречь.

# Решение задачи из раздела «Электричество»

1. Сила тока определяется законом Ома для полной цепи:  $IR_{\text{общ}} = \mathcal{E} + \mathcal{E}_{\text{инд}}$ ,

где  $I$  – сила тока в цепи,  $R_{\text{общ}}$  – сопротивление цепи, а  $\mathcal{E}_{\text{инд}} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$  – ЭДС

самоиндукции, возникающая только при изменении силы тока, и препятствующая его изменению согласно правилу Ленца.

2. До замыкания ключа  $R_{\text{общ}} = R$ ; сила тока через амперметр определяется

законом Ома для замкнутой цепи:  $I_0 = \frac{\mathcal{E}}{R}$ .

3. При замыкании ключа сопротивление цепи скачком уменьшается в 2 раза, но ЭДС самоиндукции препятствует изменению силы тока через катушку. Поэтому сила тока через катушку при замыкании ключа не претерпевает скачка.

4. Постепенно ЭДС самоиндукции уменьшается до нуля, а сила тока через катушку плавно возрастает до стационарного значения:  $I_1 = 2 \frac{\mathcal{E}}{R} = 2I_0 = 6 \text{ А}$

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведён правильный ответ (в данном случае – значение силы тока – п. 4), и представлено полное верное объяснение (в данном случае – п. 1–3) с указанием наблюдаемых явлений и законов (в данном случае: закон Ома для полной цепи, явление самоиндукции)</p>	3
<p>Дан правильный ответ, и приведено объяснение, но в решении имеются следующие недостатки.</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.)</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>Объяснения представлены не в полном объёме, или в них содержится один логический недочёт</p>	2
<p>Представлено решение, соответствующее <u>одному</u> из следующих случаев.</p> <p>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, приводящие к ответу, 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

Деревянный брусок плавает на поверхности воды в миске. Миска покоится на поверхности земли. Что произойдет с глубиной погружения бруска в воду, если миска будет стоять на полу лифта, который движется с ускорением, направленным вертикально вверх? Ответ поясните, используя физические закономерности.

1. Сила Архимеда, которая поддерживает брусок на поверхности воды, равна по модулю весу вытесненной бруском воды.

2. Когда брусок, вода и миска покоятся относительно Земли, одна и та же сила Архимеда уравнивает силу тяжести как в случае плавающего бруска, так и в случае вытесненной им воды. Поэтому масса бруска и масса вытесненной им воды одинаковы.

3. Когда брусок, вода и миска покоятся относительно друг друга, но движутся с ускорением относительно Земли, одна и та же сила Архимеда вместе с силой тяжести сообщает одно и то же ускорение как плавающему бруску, так и воде в объеме, вытесненном бруском, что приводит к соотношению:

$$\vec{F}_A = m(\vec{a} - \vec{g}) = m_{\text{вытесн. воды}}(\vec{a} - \vec{g}),$$

откуда следует, что и при движении относительно Земли с ускорением  $\vec{a} \neq \vec{g}$  масса бруска и масса вытесненной им воды одинаковы.

4. Поскольку масса бруска одна и та же, масса вытесненной им воды в обоих случаях одинакова. Вода практически несжимаема, поэтому плотность воды в обоих случаях одинакова. Значит, объем вытесненной воды не изменяется, глубина погружения бруска в лифте остается прежней.

# Задача из раздела «Электростатика»

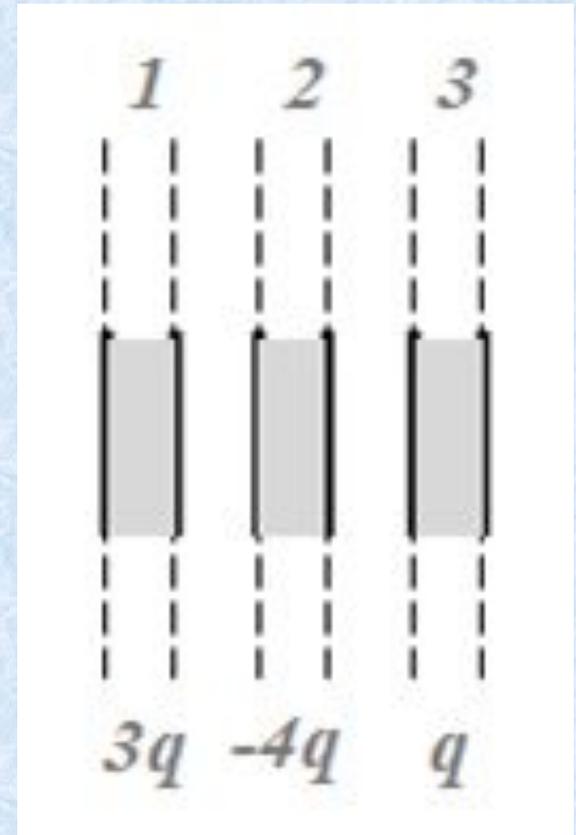
На рисунке изображены три  
металлические пластины  
большой площади.

Пластины

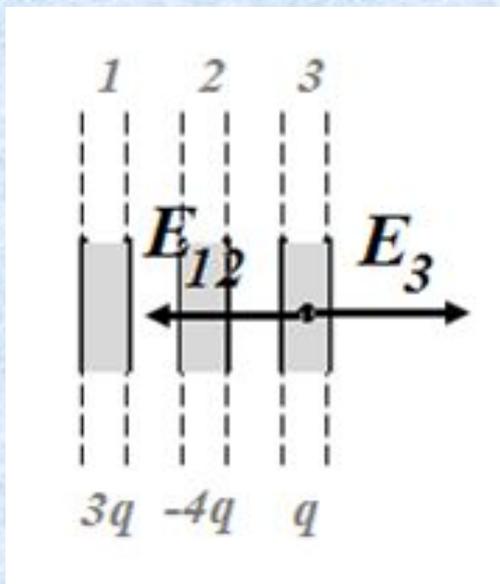
расположены параллельно  
друг другу, расстояние  
между пластинами много  
меньше

их размеров. Внизу указаны  
заряды пластин.

Какой заряд находится на  
правой плоскости  
третьей пластины? Ответ  
обоснуйте.



# Решение задачи из раздела «Электростатика»

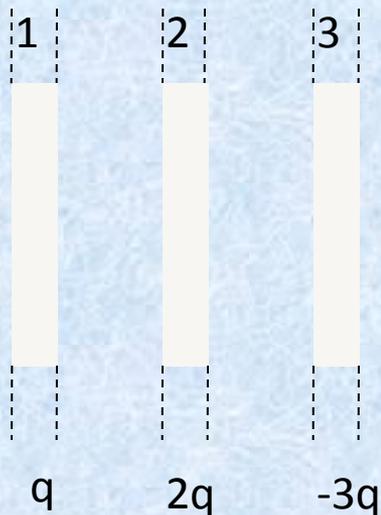


Электрического поля внутри проводника нет. Весь электростатический заряд металлической пластины сосредоточен на его поверхности. Поле зарядов, которые находятся левее третьей металлической пластины, должно быть компенсированным полем зарядов, расположенных справа от нее.

Общий заряд трех пластин должен быть распределен так, чтобы общий «левый заряд» равнялся общему правому заряду. Общий заряд всех трех пластин равен нулю ( $3q - 4q + q = 0$ ). Значит, справа и слева от третьей пластины должен находиться заряд, равный нулю. Это достигается в том случае, если на правой поверхности третьей пластины находится заряд, равный нулю.

## Задача из раздела «Электростатика»

На трёх параллельных металлических пластинах большой площади располагаются заряды, указанные на рисунке. Какой заряд находится на правой плоскости третьей пластины?



## Решение задачи

Суммарное электрическое поле внутри пластины должно быть равно нулю, иначе в ней будет течь ток. Значит, поле зарядов, расположенных левее этого массива, должно компенсироваться полем зарядов, расположенных справа от него.

Поэтому, **во-первых**, суммарный заряд всех трех пластин должен быть распределён так, что суммарный «левый» заряд равен (по величине и по знаку) суммарному «правому» заряду.

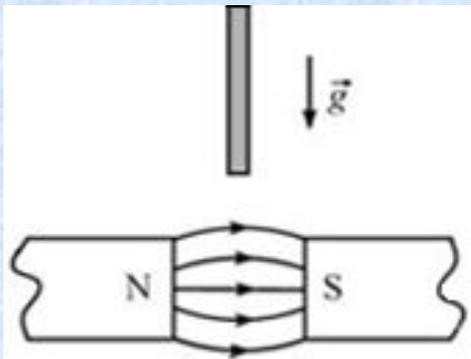
**Во-вторых**, суммарный заряд всех трёх пластин равен нулю:

$$q + 2q - 3q = 0.$$

Значит, слева от проводящего массива третьей пластины (как и справа от него) должен располагаться суммарный нулевой заряд. Это достигается в том случае, когда на правой поверхности третьей пластины находится 0.



## Задача из раздела «Электромагнитная индукция»



В зазоре между полюсами электромагнита создано сильное магнитное поле, линии индукции которого практически горизонтальны. Над зазором на некоторой высоте удерживают длинную плоскую медную пластинку, параллельную вертикальным поверхностям полюсов (см. рис.). Затем пластинку отпускают без начальной скорости, и она падает, проходя через зазор между полюсами, не касаясь их. Опишите, опираясь на физические законы, как и почему будет изменяться скорость пластинки во время ее падения.

## **Решение задачи из раздела «Электромагнитная индукция»**

- 1. В начальный момент времени пластинка падает под действием силы тяжести с ускорением свободного падения  $g$ , при этом ее скорость увеличивается. (как бы очевидно, но обязательно к упоминанию!)*
- 2. Когда нижний край пластинки входит в область между полюсами магнита, где присутствует сильное магнитное поле, магнитный поток, пронизывающий пластинку, возрастает, в ней по закону электромагнитной индукции Фарадея появляется индукционный ток. Этот ток взаимодействует согласно закону Ампера с магнитным полем магнита, и, в соответствии с правилом Ленца, появляется сила, которая тормозит падение пластинки. Поэтому скорость пластинки уменьшается.*
- 3. Когда тормозящая сила сравнивается с силой тяжести, то ускорение пластинки становится равным нулю, и пластинка далее падает в зазоре электромагнита с постоянной скоростью.*
- 4. В тот момент, когда верхний край пластинки дойдет до верхнего края зазора электромагнита, магнитный поток через пластинку будет уменьшаться, а тормозящая сила падать. При этом в соответствии со вторым законом Ньютона скорость пластинки увеличится, и после ее выхода из магнитного поля продолжается падение с ускорением свободного падения  $g$ .*

## Задача из раздела «Электромагнитная индукция»

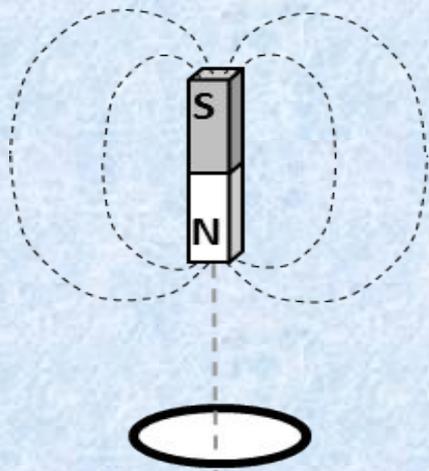


Рис. 1

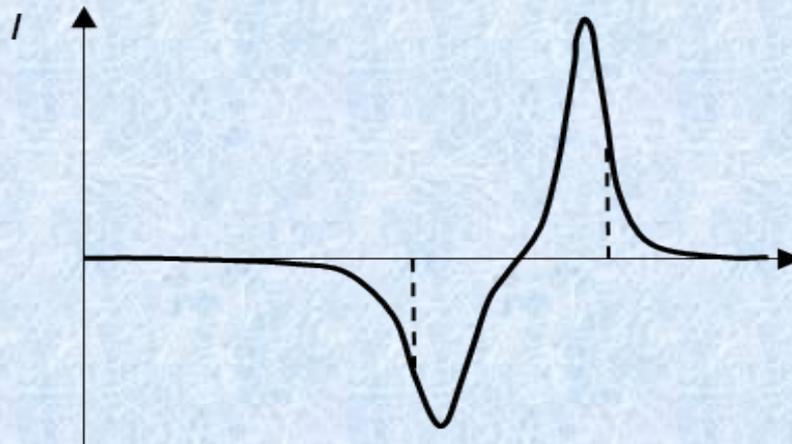


Рис. 2

Намагниченный стальной стержень начинает свободное падение с нулевой начальной скоростью из положения, изображённого на рис. 1. Пролетая сквозь закреплённое проволочное кольцо, стержень создаёт в нём электрический ток, сила которого изменяется со временем так, как показано на рис. 2. Почему в моменты времени  $t_1$  и  $t_2$  ток в кольце имеет различные направления? Ответ поясните, указав, какие физические явления и закономерности Вы использовали для объяснения. Влиянием тока в кольце на движение магнита пренебречь.

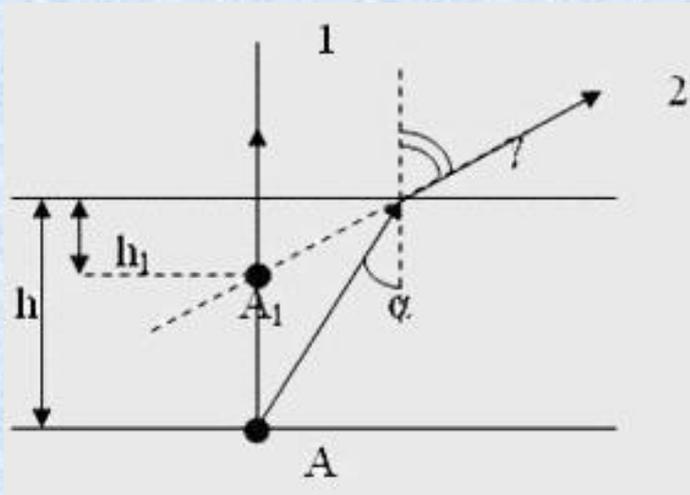
## Решение задачи из раздела «Электромагнитная индукция»

Индукционный ток в кольце вызван ЭДС индукции, возникающей при пересечении проводником линий магнитного поля. По закону индукции Фарадея ЭДС пропорциональна скорости изменения магнитного потока  $\Phi$ , т.е. количеству линий, пересекаемых кольцом в секунду. Она тем выше, чем больше скорость движения магнита. Сила тока  $I$ , в соответствии с законом Ома для замкнутой цепи, пропорциональна ЭДС индукции  $\varepsilon$ .

В момент времени  $t_1$  к кольцу приближается магнит, и магнитный поток увеличивается. В момент  $t_2$  магнит удаляется, и магнитный поток уменьшается.

Следовательно, ток имеет различные направления.

Дно водоёма всегда кажется расположенным ближе к поверхности воды для наблюдателя, находящегося в лодке. Объясните это явление.



Рассмотрим ход лучей 1 и 2, отражённых от некоторой точки A, лежащей на дне водоёма.

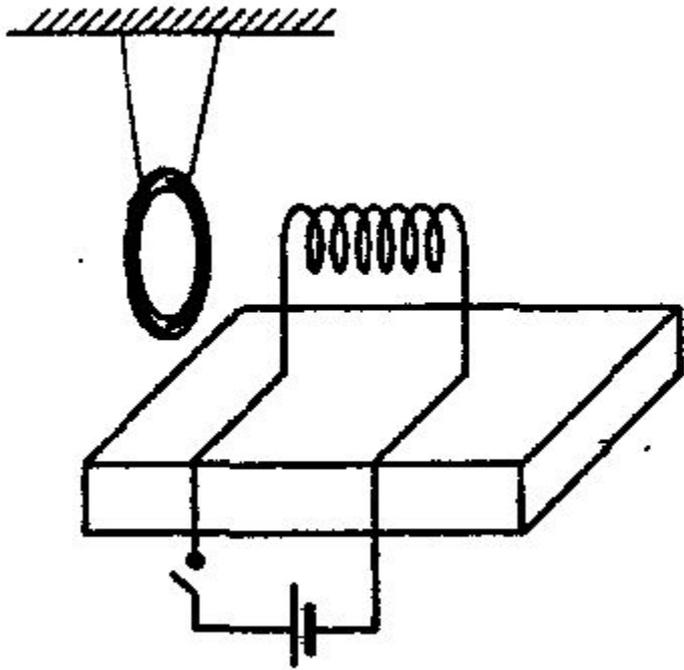
Луч 1 (взятый для удобства построения) падает перпендикулярно на границу раздела сред (вода-воздух) и не преломляется.

Произвольный луч 2 падает на границу раздела под некоторым углом  $\alpha$  и преломляется под углом  $\beta$  ( $\alpha < \beta$ , т.к. луч переходит из оптически более плотной среды в оптически менее плотную среду).

Находим пересечение луча 1 и продолжения луча 2 – точку  $A_1$ .

Из построения следует, что кажущаяся глубина  $h_1$  меньше глубины водоёма.

Замкнутое медное кольцо подвешено на длинных нитях вблизи катушки индуктивности, закрепленной на столе и подключенной к источнику постоянного тока (см. рисунок). Первоначально электрическая цепь катушки разомкнута. Как будет двигаться кольцо при замыкании цепи? Ответ поясните, используя физические закономерности.



1. При замыкании цепи катушки начинает изменяться поток вектора магнитной индукции через кольцо. По закону электромагнитной индукции в кольце возникает ЭДС индукции, появляется индукционный ток. В соответствии с правилом Ленца взаимодействие токов в кольце и в катушке приводит к тому, что кольцо отталкивается от катушки.

2. Затем кольцо возвращается в исходное положение, т.к. индукционный ток препятствует возможным колебаниям кольца на нитях.

3. Индукционный ток в неподвижном кольце вблизи катушки с постоянным током равен нулю, магнитные свойства меди выражены слабо, поэтому, вернувшись в исходное положение равновесия, кольцо остается неподвижным.

## Задача из раздела «Термодинамика»

В эксперименте установлено, что при температуре воздуха в комнате  $23^{\circ}\text{C}$  на стенке стакана с холодной водой начинается конденсация паров воды из воздуха, если снизить температуру стакана до  $12^{\circ}\text{C}$ . По результатам этих экспериментов определите абсолютную и относительную влажность воздуха. Для решения задачи воспользуйтесь таблицей. Поясните, почему конденсация паров воды в воздухе может начинаться при различных значениях температуры. Давление и плотность насыщенного водяного пара при различной температуре показано в таблице:

$t, ^{\circ}\text{C}$	7	9	11	12	13	14	15	16	19	21	23	25	27	29	40	60
$p, \text{гПа}$	10	11	13	14	15	16	17	18	22	25	28	32	36	40	74	200
$\rho, \text{г/см}^3$	7,7	8,8	10,0	10,7	11,4	12,11	12,8	13,6	16,3	18,4	20,6	23,0	25,8	28,7	51,2	130,5

- **Ответ:** относительная влажность воздуха в комнате 50 %.
- **Решение.**
- Начало конденсации означает, что водяной пар стал насыщенным, и относительная влажность воздуха стала равной 100 %. При этом давление пара равно 14 гПа, а его плотность  $10,7 \text{ г/см}^3$  – это и есть абсолютная влажность воздуха. Поскольку при температуре  $23^{\circ}\text{C}$  давление насыщенного пара равно 28 гПа, то относительная влажность воздуха в комнате  $\varphi = 14/28 = 0,5 = 50 \%$ .
- Конденсация паров воды начинается тогда, когда парциальное давление водяного пара станет равным давлению насыщенного пара. Поскольку давление газа  $p = nkT$  определяется его концентрацией, а следовательно, плотностью, и температурой, а давление насыщенного пара зависит от температуры, то конденсация может начинаться при разных температурах в зависимости от абсолютной влажности (плотности) пара.

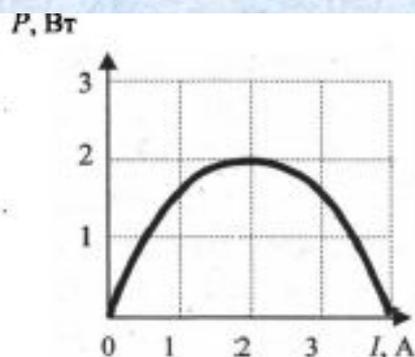
Три одинаковых сосуда, содержащих разреженный газ, соединены друг с другом трубками малого диаметра: первый сосуд – со вторым, второй – с третьим. Первоначально давление газа в сосудах было равно соответственно  $p$ ,  $3p$  и  $p$ . В ходе опыта сначала открыли и закрыли кран, соединяющий второй и третий сосуды, а затем открыли и закрыли кран, соединяющий первый сосуд со вторым. Как изменилось в итоге (уменьшилось, увеличилось или осталось неизменным) количество газа в первом сосуде? (Температура газа оставалась в течение всего опыта неизменной.)

В соответствии с законами Дальтона и Бойля–Мариотта (применёнными к парциальным давлениям газов во втором и третьем сосудах), суммарное давление этих газов после закрывания второго крана равно  $3p/2 + p/2 = 2p$ .

Аналогично этому давление в первом и втором сосудах после закрывания первого крана равно  $p/2 + 2p/2 = 1,5p$ . Это означает, согласно уравнению Клапейрона-Менделеева, что количество газа в первом сосуде в итоге увеличилось.

В итоге количество газа в первом сосуде увеличилось.

Электрическая цепь состоит из батареи с ЭДС  $\varepsilon$  и внутренним сопротивлением  $r = 0,5$  Ом и подключённого к ней резистора нагрузки с сопротивлением  $R$ . При изменении сопротивления нагрузки изменяется сила тока в цепи и мощность в нагрузке. На рисунке представлен график изменения мощности, выделяющейся на нагрузке, в зависимости от силы тока в цепи. Используя известные физические законы, объясните, почему данный график зависимости мощности от силы тока является параболой. Чему равно ЭДС батареи?



Тепловая мощность, выделяющаяся на резисторе, имеющем сопротивление  $R$ , определяется законом Джоуля–Ленца

$$P = UI,$$

где  $I$  – сила тока в цепи, а  $U$  – напряжение на резисторе.

Сила тока определяется законом Ома для полной цепи  $I = \frac{\varepsilon}{R+r}$ , а напряжение на резисторе – законом Ома для участка цепи  $U = IR$ .

На графике мощность в нагрузке зависит от силы тока  $I$ , поэтому сопротивление нагрузки

$R = R(I) = \frac{\varepsilon}{I} - r$  и напряжение на резисторе  $U(I) = IR = \varepsilon - Ir$  необходимо рассматривать как величины, зависящие от силы тока  $I$  и параметров батареи  $\varepsilon$  и  $r$ , которые не меняются. Мощность в нагрузке

$$P(I) = U(I)I = I(\varepsilon - Ir) \quad (1)$$

– квадратичная функция силы тока.

График этой функции – парабола, проходящая через точки  $I_1 = 0$ ,  $I_2 = I_{\max} = \varepsilon / r$ . Следовательно,  $\varepsilon = 2$  В.

Намагниченный стальной стержень начинает свободное падение с нулевой начальной скоростью из положения, изображённого на рис. 1. Пролетая сквозь закреплённое проводочное кольцо, стержень создаёт в нём электрический ток, сила которого изменяется со временем так, как показано на рис. 2.

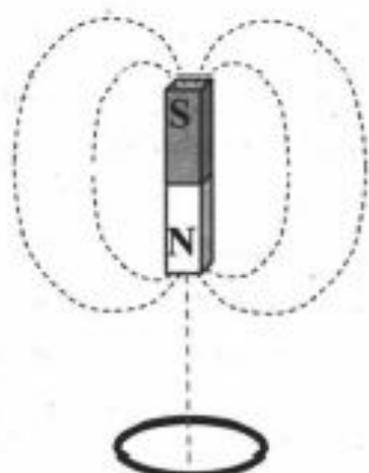


Рис. 1

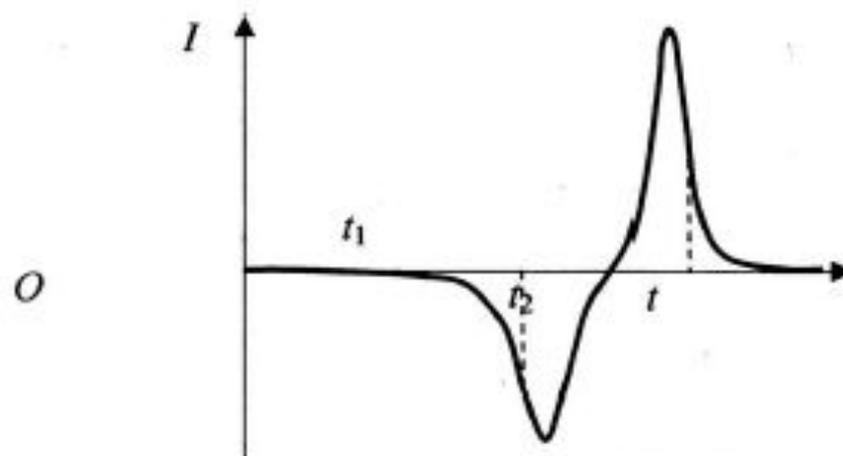


Рис. 2

Почему в моменты времени  $t_1$  и  $t_2$  ток в кольце имеет различные направления? Ответ поясните, указав, какие физические явления и закономерности вы использовали для объяснения. Влиянием тока в кольце на движение магнита пренебречь.

Индукционный ток в кольце вызван ЭДС индукции, возникающей при пересечении проводником линий магнитного поля.

В момент времени  $t_1$  к кольцу приближается магнит, и магнитный поток увеличивается. В начальный момент магнит находится далеко от кольца, поэтому линии поля  $\vec{B}$  практически не пересекают проводник. По мере приближения к кольцу поле растет, и его линии начинают пересекать проводник, вызывая ЭДС индукции. Скорость магнита также растет с течением времени, поэтому ЭДС быстро возрастает по мере приближения северного полюса магнита к плоскости кольца, поскольку густота линий увеличивается, т.е. растет магнитный поток  $\Phi$ , что приводит к росту модуля ЭДС (согласно закона индукции Фарадея  $\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ ) и модуля силы тока (согласно закону Ома для замкнутой цепи

$I = \frac{\varepsilon}{R}$ ) ЭДС пропорциональна скорости изменения магнитного потока  $\Phi$  и тем выше, чем больше скорость движения магнита.

В тот момент, когда через плоскость кольца проходит середина магнита, линии поля перпендикулярны плоскости. Проводник в этот момент «скользит» по линиям поля, не пересекая их. Поток вектора магнитной индукции в этот момент достигает максимального значения, но не изменяется, при этом сила тока обращается в нуль, несмотря на возрастание скорости магнита.

В момент  $t_2$ , когда полюс магнита, пройдя через плоскость кольца, начинает удаляться от проводника, то количество пересекаемых линий уменьшается. Следовательно, ток имеет противоположное направление, поскольку количество линий, оказавшихся внутри контура, уменьшается, а значит, поток поля теперь не увеличивается, а уменьшается. Соответственно, возникает индукционный ток, направленный в противоположную сторону, увеличивающийся по мере приближения южного полюса к плоскости кольца. Поскольку скорость магнита теперь гораздо больше, чем при прохождении северного полюса, ЭДС значительно больше, а значит, и максимальный модуль силы тока оказывается больше, чем при приближении к кольцу северного полюса магнита. Пройдя максимум, поле магнита начинает уменьшаться по мере удаления южного полюса от плоскости кольца, что приводит к уменьшению силы тока до нуля тогда, когда магнит оказывается на большом расстоянии от кольца.

К колебательному контуру подсоединили источник тока, на клеммах которого напряжение гармонически меняется с частотой  $\nu$ .

Индуктивность  $L$  катушки колебательного контура можно плавно менять от максимального значения  $L_{\max}$  до минимального  $L_{\min}$ , а ёмкость его конденсатора постоянна.

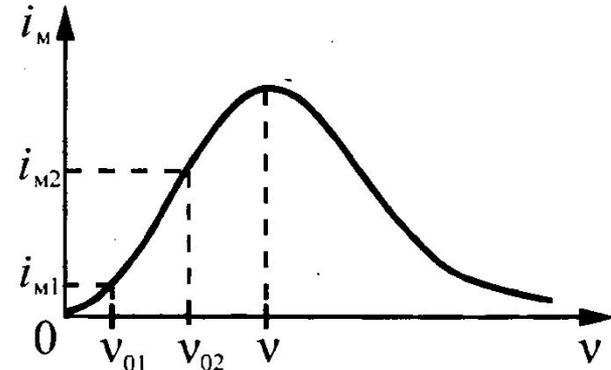
Ученик постепенно уменьшал индуктивность катушки от максимального значения до минимального и обнаружил, что амплитуда силы тока в контуре всё время возрастала. Опираясь на свои знания по электродинамике, объясните наблюдения ученика.

В описанном опыте колебания в контуре являются вынужденными, они совершаются с частотой  $\nu$ , задаваемой источником тока. Но колебательный контур имеет собственную частоту колебаний  $\nu_0$ , и амплитуда колебаний тока в нём зависит от разности значений этих частот: по мере уменьшения  $|\nu - \nu_0|$  она увеличивается (резонансная кривая), достигая максимального значения при  $|\nu - \nu_0| = 0$  (явление резонанса). Соб-

ственная частота колебаний контура зависит от индуктивности катушки и согласно формуле Томсона

$$\nu_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

Таким образом, ученик, уменьшая индуктивность катушки от  $L_{\max}$  до  $L_{\min}$ , увеличивал собственную частоту колебаний контура от  $\nu_{01}$  до  $\nu_{02}$ , что привело к возрастанию амплитуды тока от  $i_{m1}$  до  $i_{m2}$  в соответствии с резонансной кривой.



# Задача

- Во время оттепели, когда влажность воздуха высока, из-под слоя снега на крыше дома капает вода, замерзающая на карнизе крыши в виде быстро растущих сосулек. Когда оттепель кончается, сосульки перестают расти и в мороз медленно меняют свою форму: они становятся всё тоньше, а их концы заостряются. Объясните, основываясь на известных физических законах и закономерностях, процессы, происходящие с сосульками на протяжении их «жизни».

# Решение

- 1. Из дома через крышу идёт поток теплоты. Поэтому в оттепель температура крыши под снегом поднимается выше  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  и начинается таяние снега.
- 2. Из-за высокой влажности воздуха скорость испарения воды мала. Поэтому вытекающие на карниз капли воды охлаждаются и, не успевая испариться, постепенно замерзают, превращаясь обратно в лёд и образуя сосульки. Таким образом, сосульки могут вырастать до больших размеров.
- 3. Когда оттепель кончается и ударяет мороз, снег на крыше перестаёт таять, поскольку температура крыши под слоем снега падает ниже  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , и сосульки перестают расти.
- 4. В дальнейшем на морозе при низкой влажности воздуха происходит медленное испарение сосулек, то есть фазовый переход льда сразу в пар, минуя жидкое состояние. При этом сосульки уменьшаются в объёме, становясь всё тоньше и приобретая острые концы.

# Задача из раздела

## «Законы сохранения в механике»

Автомобиль приводится в движение двигателем, который соединяется с ведущими колесами при помощи трансмиссии, обычно состоящей из сцепления, коробки передач и системы различных валов и шарниров. Сцепление позволяет отсоединять двигатель от коробки передач, что облегчает ее переключение. Диск сцепления, соединенный с первичным валом коробки передач, прижимается к маховику двигателя мощными пружинами, что позволяет передавать крутящий момент в последующие элементы трансмиссии. По мере износа диска сцепления сила его прижатия к маховику уменьшается, и сцепление может начать «пробуксовывать». На каких передачах – «пониженных» или «повышенных» - следует двигаться в этом случае, чтобы добраться до ближайшей станции техобслуживания?

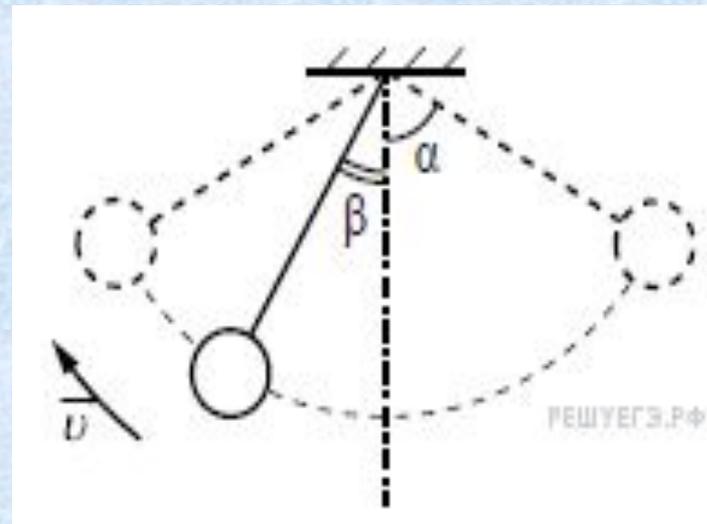
*Справка: при движении автомобиля с определенной скоростью на «пониженных» передачах (1, 2, 3 ...) двигатель работает на больших оборотах, а на «повышенных» (4, 5, ...) – на меньших оборотах при той же скорости движения.*

# Решение задачи из раздела «Законы сохранения в механике»

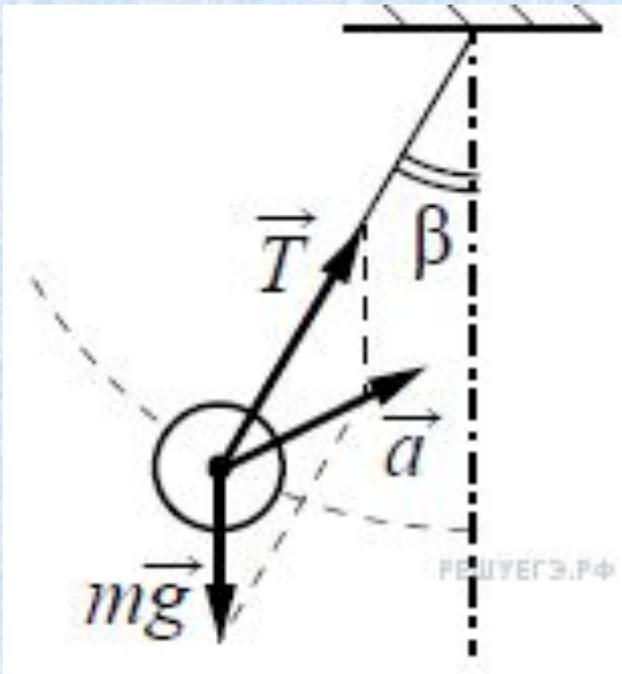
1. При износе диска сцепления и уменьшении его прижатия к маховику уменьшается максимальная сила трения и ее момент, вращающий первичный вал коробки передач, что приводит к пробуксовке сцепления на режимах движения с использованием максимальной мощности двигателя.
2. Мощность силы равна произведению модуля этой силы на модуль скорости перемещения точки ее приложения, поэтому при уменьшении максимальной силы трения для сохранения ее мощности, передаваемой по трансмиссии, необходимо увеличить скорость вращения диска сцепления, т.е. обороты двигателя.
3. Таким образом, при заданных условиях движения и, соответственно, мощности, передаваемой на колеса, следует при возникновении пробуксировки сцепления переходить с повышенных передач на пониженные, когда двигатель при той же скорости движения автомобиля работает на более высоких оборотах.

# Задача из раздела «Механика»

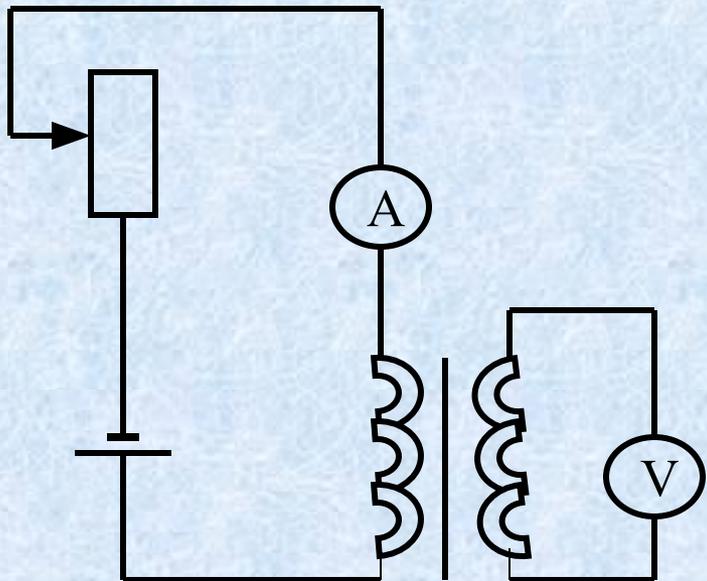
- Маленький шарик, подвешенный к потолку на лёгкой нерастяжимой нити, совершает колебания в вертикальной плоскости. Максимальное отклонение нити от вертикали составляет угол  $\alpha = 60^\circ$ . Сделайте рисунок с указанием сил, приложенных к шарiku в тот момент, когда шарик движется влево-вверх, а 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.



# Решение задачи из раздела «Механика»



1. К шарiku приложены сила тяжести  $mg$ , направленная вертикально вниз, и сила натяжения нити  $T$ , направленная по нити вверх. Ускорение шарика  $a$  направлено внутрь траектории правее направления силы  $T$  (см. рисунок).
2. В промежуточной точке скорость шарика  $v \neq 0$ , поэтому у шарика есть центростремительное ускорение  $a_0 \neq 0$ , направленное к центру окружности, по которой движется шарик.
3. Проекция ускорения шарика на касательную к окружности равна по модулю  $g \cdot \sin\beta$ . Поэтому у шарика есть касательная составляющая ускорения  $a_T \neq 0$ , направленная в сторону положения равновесия.
4. Ускорение шарика  $a = a_0 + a_T$  направлено внутрь траектории правее направления силы  $T$ .



На рисунке приведена электрическая цепь, состоящая из источника тока, реостата, трансформатора, амперметра и вольтметра. В начальный момент времени ползунок реостата установлен посередине и неподвижен. Опираясь на законы электродинамики, объясните как будут изменяться показания приборов при перемещении ползунка реостата вниз? Э.Д.С самоиндукции пренебречь по сравнению с  $\mathbf{E}$

# Возможный вариант ответа

1. При движении ползунка реостата вниз сопротивление реостата уменьшается, следовательно сила тока в цепи увеличивается т.к

$$I = \frac{E}{R + r}$$

2. Изменение силы тока вызывает изменение индукции магнитного поля, следовательно меняется и магнитный поток, пронизывающий витки вторичной обмотки.

3. В соответствии с законом Фарадея, возникает Э.Д.С

индукции

$$E = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

во вторичной обмотке, а, следовательно, и напряжение  $U$  на её концах. Это напряжение и будет фиксировать вольтметр.

Ответ: при движении ползунка реостата вниз, показания амперметра увеличиваются, а вольтметр будет показывать напряжение на концах вторичной обмотки.

# Демо версия 2016

28

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.

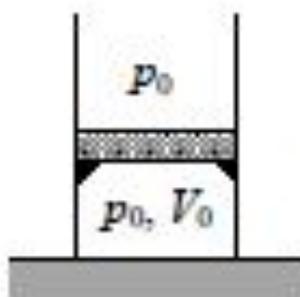


Рис. 1

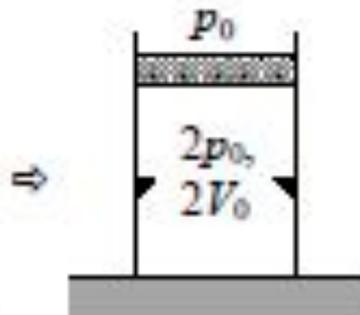
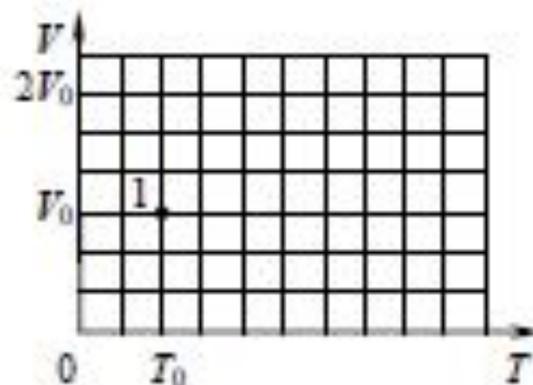


Рис. 2



### Возможное решение

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

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

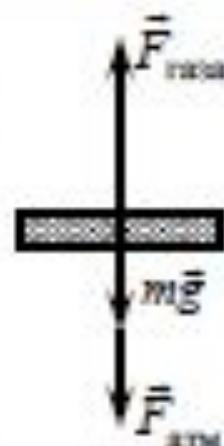
откуда  $T_2 = 4T_0$ .

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  $\vec{F}_{\text{газ}}$  тоже постоянна. Значит, её модуль  $F_{\text{газ}} = pS = \text{const}$  ( $S$  – 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  $T_H = 2T_0$ .



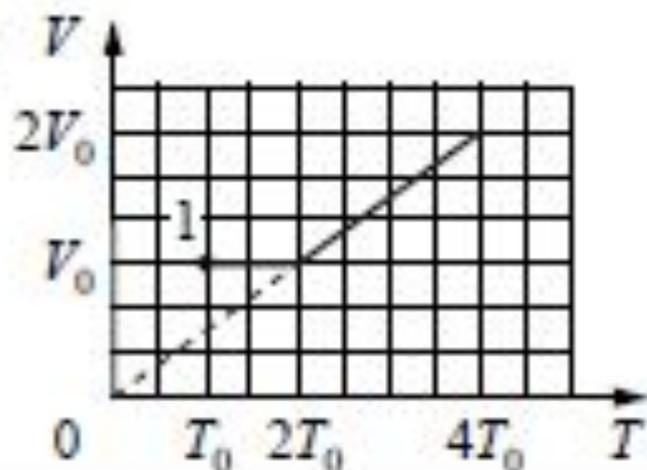
3. На отрезке температур  $T_0 \leq T \leq 2T_0$  процесс нагревания газа изохорный ( $V = V_0$ ), давление газа с ростом его температуры при нагревании увеличивается от  $p_0$  до  $2p_0$ .

4. 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



Критерии оценивания выполнения задания

Баллы

Приведено полное правильное решение, включающее правильный ответ (в данном случае п. 4) и исчерпывающие верные рассуждения с прямым указанием наблюдаемых явлений и законов (в данном случае: условие равновесия поршня, изохорное и изобарное нагревание)

3

Дан правильный ответ, и приведено объяснение, но в решении имеются один или несколько из следующих недостатков.

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)

Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но в них содержится один логический недочёт.

И (ИЛИ)

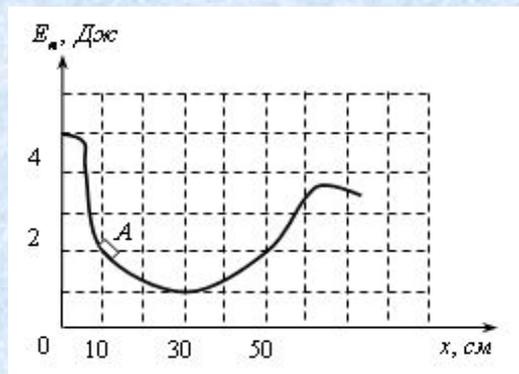
В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т.п.).

И (ИЛИ)

В решении имеется неточность в указании на одно из физических явлений, свойств, определений, законов (формул), необходимых для полного верного объяснения

Представлено решение, соответствующее <u>одному</u> из следующих случаев.	1
<p>Дан правильный ответ на вопрос задания, и приведено объяснение, но в нём не указаны два явления или физические 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>	
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла	0
<i>Максимальный балл</i>	3

После толчка льдинка закатилась в яму с гладкими стенками, в которой она может двигаться практически без трения. На рисунке приведен график зависимости энергии взаимодействия льдинки с Землей от её координаты в яме. В некоторый момент времени льдинка находилась в точке А с координатой 10 см и двигалась влево, имея кинетическую энергию, равную 2 Дж. Сможет ли льдинка выскользнуть из ямы? Ответ поясните, указав, какие физические закономерности вы использовали для объяснения.



**Ответ:** Сможет

**Решение (вариант):**

Для того, чтобы выскользнуть из ямки через левый край, льдинка должна иметь механическую энергию не менее 5 Дж, а через правый край – менее 4 Дж. В указанный момент механическая энергия льдинки равна  $E_{\text{к}} + E_{\text{п}} = 4$  Дж. Поскольку трение отсутствует, эта энергия сохраняется, значит, льдинка сможет выскользнуть из ямы через ее правый край.

Деревянный брусок плавает на поверхности воды в миске. Миска покоится на поверхности Земли. Что произойдет с глубиной погружения бруска в воду, если миска будет стоять на полу лифта, который движется с ускорением, направленным вертикально вверх? Ответ поясните, используя физические закономерности.

**Ответ:** глубина погружения не изменится.

### Решение (вариант 1)

По второму закону Ньютона,  $ma = F_A - mg$  (1), где  $m$  – масса бруска,  $F_A$  – Архимедова сила, равная весу вытесненной бруском воды:  $F_A = m_{\text{ж}}(g + a) = \rho V_{\text{ж}}(g + a)$  (2). Жидкости практически несжимаемы, поэтому плотность воды не зависит от ускорения и остается постоянной при любом движении описанной системы.

В покоящемся лифте  $\rho g V = mg$  (3), а в движущемся, с учетом (1),  $\rho V_1(g + a) = m(g + a)$  (4). Из выражения (4), получаем, что  $\rho V_1 = m$ , и, сравнивая его с (3), заключаем, что  $V_1 = V$ , т.е. глубина погружения бруска не изменится.

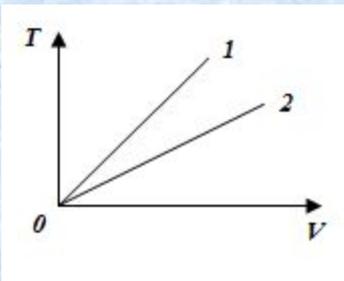
### Решение (вариант 2) (Д.Д.Гущин)

Сила Архимеда, которая поддерживает брусок на поверхности воды, равна по модулю весу вытесненной бруском воды.

Когда брусок, вода и миска покоятся относительно Земли, одна и та же сила Архимеда уравнивает силу тяжести, как в случае плавающего бруска, так и в случае вытесненной им воды. Поэтому масса бруска и масса вытесненной им воды одинаковы.

Когда брусок, вода и миска покоятся относительно друг друга, но  $\vec{F}_A = m(\vec{a} - \vec{g}) = m_{\text{вытесн.воды}}(\vec{a} - \vec{g})$  Земли, одна и та же сила Архимеда вместе с силой тяжести сообщает  $\vec{a} \neq \vec{g}$  то и то же ускорение как плавающему бруску, так и воде в объеме, вытесненном бруском, что приводит к соотношению:

, откуда следует, что и при движении относительно Земли с ускорением масса бруска и масса вытесненной им воды одинаковы. Поскольку масса бруска одна и та же, масса вытесненной им воды в обоих случаях одинакова. Вода практически несжимаема, поэтому плотность воды в обоих случаях одинакова. Значит, объем вытесненной воды не изменяется, глубина погружения бруска в лифте остается прежней.

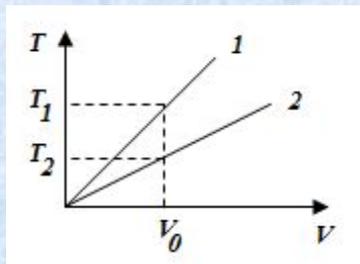


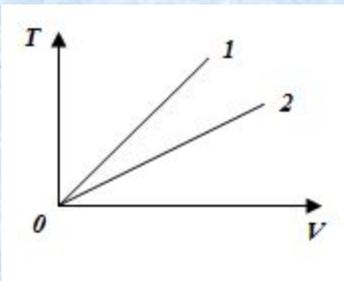
На рисунке изображены графики изобарного расширения (нагрева) двух порций одного и того же идеального газа при одном и том же давлении. Почему изобара 1 лежит выше изобары 2? Ответ обоснуйте. Какие физические закономерности вы использовали для обоснования ответа?

**Ответ:** Количество вещества в первой порции меньше, чем во второй.

**Решение (вариант):**

Состояние газа описывается уравнением Менделеева-Клапейрона  $pV = \nu RT$ , где  $\nu$  – количество вещества. По условию давление двух порций газа одинаково, поэтому различие температур при одном и том же объеме (см. рис.) объясняется различием количеств вещества. Поскольку при этом  $T_1 > T_2$ , то из равенства для обеих порций газа произведения  $pV_0$  вытекает, что  $\nu_1 < \nu_2$



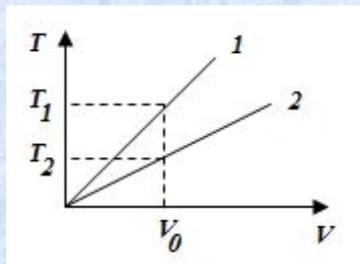


На рисунке изображены графики изобарного расширения (нагрева) двух порций одного и того же идеального газа при одном и том же давлении. Почему изобара 1 лежит выше изобары 2? Ответ обоснуйте. Какие физические закономерности вы использовали для обоснования ответа?

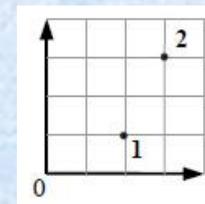
**Ответ:** Количество вещества в первой порции меньше, чем во второй.

**Решение (вариант):**

Состояние газа описывается уравнением Менделеева-Клапейрона  $pV = \nu RT$ , где  $\nu$  – количество вещества. По условию давление двух порций газа одинаково, поэтому различие температур при одном и том же объеме (см. рис.) объясняется различием количеств вещества. Поскольку при этом  $T_1 > T_2$ , то из равенства для обеих порций газа произведения  $pV_0$  вытекает, что  $\nu_1 < \nu_2$



В кабинете физики проводились опыты с разреженным газом постоянной массы. По невнимательности ученик, отметив на графике начальное и конечное состояния газа (см. рисунок), не указал, какие две величины из трех (давление  $p$ , объем  $V$ , температура  $T$ ) отложены по осям. В журнале осталась запись, согласно которой названные величины изменялись следующим образом:  $p_1 < p_2$ ,  $V_1 > V_2$ ,  $T_1 < T_2$ . Пользуясь этими данными, определите, какие величины были отложены на горизонтальной и вертикальной осях. Ответ поясните, указав, какие физические закономерности вы использовали



**Ответ:** по горизонтальной оси отложена температура, по вертикальной – давление.

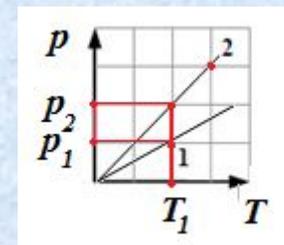
**Решение:**

Если обозначить величины, отложенные по осям абсцисс и ординат,  $x$  и  $y$  соответственно, то, как видно по графику,  $x_1 < x_2$ ,  $y_1 < y_2$ . Таким неравенствам удовлетворяют соотношения давлений и температур газа, но не удовлетворяет соотношение объемов. Следовательно, на графике представлены значения  $p$ ,  $T$ .

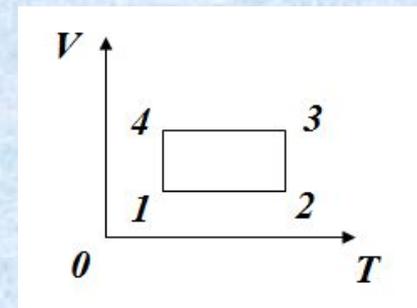
Выясним теперь, на каких именно осях они отложены. Проведем изохоры через точки 1 и 2. Согласно уравнению Менделеева-Клапейрона,  $pV = \nu RT$ , поэтому при постоянной массе газа  $p = \nu RT/V$ . Тогда при одной и той же температуре газ, занимающий меньший объем, производит большее давление.

Предположим, что по оси абсцисс отложена температура. При  $T = T_1$   $p_1 < p_2$ , значит,  $V_1 > V_2$ , что соответствует условию. Если же предположить, что по оси абсцисс отложено давление, то, рассуждая аналогично, получим  $V_1 < V_2$ , что противоречит условию.

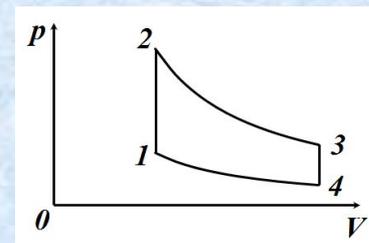
Таким образом, по оси абсцисс отложена температура, а по оси ординат – давление.



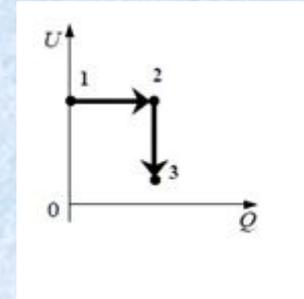
На рисунке изображен цикл тепловой машины, у которой рабочим телом является идеальный одноатомный газ. На каком из участков цикла совершается наибольшая работа? Ответ обоснуйте.



- **Ответ:** 2-3.
- **Решение:**
- Построим график процесса в осях  $p, V$ . Имея в виду, что в этом случае работа газа численно равна площади фигуры по графиком процесса, заключаем, что максимальная работа совершается на участке 2-3.



В цилиндре, закрытом подвижным поршнем, находится идеальный газ. На рисунке показана диаграмма, иллюстрирующая изменение внутренней энергии  $U$  газа и передаваемое ему количество теплоты  $Q$ . Опишите изменение объема газа при его переходе из состояния 1 в состояние 2, а затем в состояние 3. Свой ответ обоснуйте, указав, какие физические закономерности вы использовали для объяснения.



- **Ответ:** в процессах 1-2 и 2-3 объем газа увеличивался
- **Решение:**
- Воспользуемся первым законом термодинамики:  $Q = \Delta U + A$ , где  $A$  – работа системы над внешними телами. Именно по знаку  $A$  можно судить об изменении объема газа. Очевидно,  $A = Q - \Delta U$ .
- В процессе 1-2  $Q > 0$ ,  $\Delta U = 0$ , следовательно,  $A > 0$ , значит, объем газа увеличивался.
- В процессе 2-3  $Q = 0$ ,  $\Delta U < 0$ , следовательно,  $A > 0$ , и объем газа увеличивался.
- Т.о, в процессах 1-2 и 2-3 объем газа увеличивался.

В цилиндрическом сосуде под поршнем длительное время находятся вода и ее пар. Поршень начинают выдвигать из сосуда. При этом температура воды и пара остается неизменной. Как будет меняться при этом масса жидкости в сосуде? Ответ поясните, указав, какие физические закономерности вы использовали для объяснения.

- **Ответ:** Масса жидкости в сосуде будет уменьшаться.
- **Решение:**
- Вода и водяной пар находятся в закрытом сосуде длительное время, поэтому водяной пар является насыщенным. При выдвигании поршня происходит изотермическое расширение пара, давление и плотность насыщенного пара в этом процессе не меняются. Следовательно, будет происходить испарение жидкости. Значит, масса жидкости в сосуде будет уменьшаться.

Человек в очках вошел с улицы в теплую комнату и обнаружил, что его очки запотели. Какой должна быть температура на улице, чтобы наблюдалось это явление? В комнате температура воздуха  $22^{\circ}\text{C}$ , а относительная влажность воздуха 50%. Поясните, как вы получили ответ. (При ответе на этот вопрос воспользуйтесь таблицей для давления насыщенных паров воды.)

$t, ^{\circ}\text{C}$	8	9	10	11	12	13	14	15
$p, \text{кПа}$	1,07	1,15	1,23	1,31	1,40	1,50	1,60	1,70

$t, ^{\circ}\text{C}$	16	17	18	19	20	21	22	23
$p, \text{кПа}$	1,82	1,94	2,06	2,20	2,34	2,49	2,64	2,81

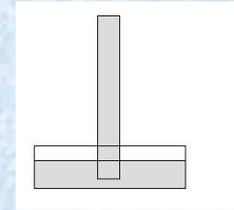
- **Ответ:** температура на улице не выше  $11^{\circ}\text{C}$ .
- **Решение:**
- Когда человек входит в дом, температура стекол его очков практически равна температуре на улице. Очки запотевают, если в тонком слое холодного воздуха, прилегающего к стеклам, водяной пар становится насыщенным: в этом случае на них образуется роса.
- Если относительная влажность воздуха в комнате 50%, то парциальное давление водяных паров составляет половину давления насыщенного пара при комнатной температуре, т.е. 1,32 кПа. По таблице находим, что такой пар становится насыщенным при температуре  $11^{\circ}\text{C}$ . Таким образом, температура на улице не выше  $11^{\circ}\text{C}$ .

В эксперименте установлено, что при температуре воздуха в комнате 23°C на стенке стакана с холодной водой начинается конденсация паров воды из воздуха, если снизить температуру стакана до 12°C. По результатам этих экспериментов определите абсолютную и относительную влажность воздуха. Для решения задачи воспользуйтесь таблицей. Поясните, почему конденсация паров воды в воздухе может начинаться при различных значениях температуры. Давление и плотность насыщенного водяного пара при различной температуре показано в таблице:

$t, ^\circ\text{C}$	7	9	11	12	13	14	15	16	19	21	23	25	27	29	40	60
$p, \text{гПа}$	10	11	13	14	15	16	17	18	22	25	28	32	36	40	74	200
$\rho, \text{г/см}^3$	7,7	8,8	10,0	10,7	11,4	12,11	12,8	13,6	16,3	18,4	20,6	23,0	25,8	28,7	51,2	130,5

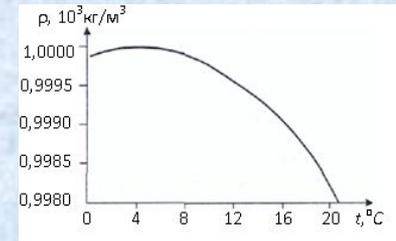
- **Ответ:** относительная влажность воздуха в комнате 50 %.
- **Решение.**
- Начало конденсации означает, что водяной пар стал насыщенным, и относительная влажность воздуха стала равной 100 %. При этом давление пара равно 14 гПа, а его плотность 10,7 г/см<sup>3</sup> – это и есть абсолютная влажность воздуха. Поскольку при температуре 23°C давление насыщенного пара равно 28 гПа, то относительная влажность воздуха в комнате  $\varphi = 14/28 = 0,5 = 50\%$ .
- Конденсация паров воды начинается тогда, когда парциальное давление водяного пара станет равным давлению насыщенного пара. Поскольку давление газа  $p = nkT$  определяется его концентрацией, а следовательно, плотностью, и температурой, а давление насыщенного пара зависит от температуры, то конденсация может начинаться при разных температурах в зависимости от абсолютной влажности (плотности) пара.

Широкую стеклянную трубку длиной около полуметра, запаянную с одного конца, целиком заполнили водой и установили вертикально открытым концом вниз, погрузив низ трубки на несколько сантиметров в тазик с водой. При комнатной температуре трубка остается целиком заполненной водой. Воду в тазике медленно нагревают. Где установится уровень воды в трубке, когда вода в тазике начнет закипать? Ответ поясните, указав, какие физические явления закономерности вы использовали для объяснения.



- **Ответ:** при кипении вода в трубке установится на уровне воды в тазике.
- **Решение (вариант 1) (Д.Д.Гущин)**
- 1. При комнатной температуре вода занимает весь объем трубки и не выливается из нее, потому что давление насыщенного водяного пара при комнатной температуре очень невелико (менее 3% от нормального атмосферного давления), и «торричеллиева пустота», заполненная насыщенным водяным паром, над водой возникнет только если высота водяного столба будет примерно 10 метров.
- 2. С ростом температуры воды давление ее насыщенного пара растет, пока при температуре кипения не сравняется с внешним атмосферным давлением.
- 3. Поэтому, когда температура воды в трубке приблизится к температуре кипения, над водой в трубке появится торричеллиева пустота», заполненная насыщенным водяным паром. С дальнейшим повышением температуры уровень воды в трубке будет понижаться. При температуре кипения достигается равенство давления насыщенного водяного пара в трубке и атмосферного давления, поэтому уровень воды в трубке и в тазике одинаков.
- **Решение (вариант 2)**
- 
- Нормальное атмосферное давление, равное 100 кПа, уравнивает давление столба воды высотой 10 м ( $p = \rho gh$ ), а давление насыщенного водяного пара при комнатной температуре пренебрежимо мало по сравнению с атмосферным. Именно поэтому трубку длиной около полуметра вода заполняет полностью.
- Кипение представляет собой интенсивное образование по всему объему жидкости и всплытие пузырьков насыщенного пара и начинается при той температуре, при которой давление насыщенного пара равно внешнему давлению. Т.о, при кипении воды над ней в трубке образуется насыщенный пар, выталкивающий ее из трубки. Поскольку при этом давление пара равно атмосферному давлению, вода будет вытеснена из трубки до уровня воды в тазике.
- Т.о., при кипении уровни воды в трубке и тазике совпадут.

Вася и Петя должны охладить воду одинаковой массы в двух одинаковых высоких мензурках от температуры  $t_1 = 4^\circ\text{C}$  до  $t_2 = 1^\circ\text{C}$ , используя одинаковые кусочки тающего льда. Вася охлаждает верхнюю часть сосуда с водой, поместив кусочек льда в верхней части мензурки, а Петя – удерживая кусочек льда вблизи дна. Кто быстрее справится с заданием? График зависимости плотности воды от температуры приведен на рисунке. Ответ поясните, указав какие физические явления и закономерности вы использовали для обоснования.



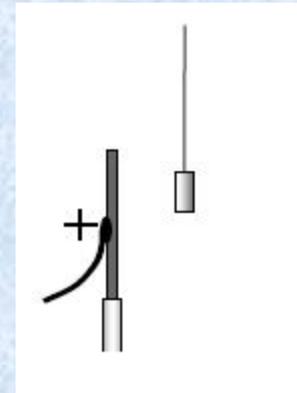
- **Ответ:** Быстрее справится с заданием Петя.
- **Решение:**
- Наиболее эффективная теплопередача в жидкости осуществляется путем **конвекции**. При охлаждении воды она возникает под действием **силы тяжести и силы Архимеда**, вследствие различий в плотности холодной и теплой воды. В соответствии с **законом Архимеда**, более плотная вода перемещается вниз, а менее плотная – вверх. **В указанном интервале температур холодная вода имеет меньшую плотность и движется** от кусочка льда **вверх**. Чтобы правильно использовать механизм конвекции, лёд нужно разместить в воде так, чтобы обеспечить условия для ее свободной циркуляции, т.е. снизу, как это сделал Петя.

Каким образом установка батарей отопления под окном помогает выравниванию температур в комнате в зимнее время? Ответ поясните, используя физические закономерности.

- 
- **Решение.**
- 

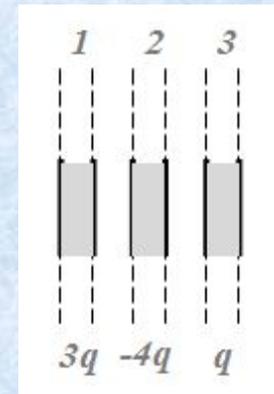
Перемешивание воздуха и выравнивание его температуры в комнате при работающих батареях происходит за счет **конвекции**. В соответствии с **уравнением Менделеева-Клапейрона**,  $pV = mRT/M$ , из чего следует, что **плотность воздуха**  $\rho = pM/RT$  при одном и том же давлении у холодного воздуха выше, чем у теплого. Поэтому теплый воздух, нагретый батареей, в соответствии с **законом Архимеда** поднимается вверх, а воздух, остывший от соприкосновения с холодным стеклом окна, опускается вниз к батарее, где нагревается и поднимается вверх. Это перемешивание выравнивает температуру в комнате.

Около небольшой металлической пластины, укрепленной на изолирующей подставке, подвесили на длинной шелковой нити легкую металлическую незаряженную гильзу. Когда пластину подсоединили к клемме высоковольтного выпрямителя, подав на нее положительный заряд, гильза пришла в движение. Опишите движение гильзы и объясните его, указав, какими физическими явлениями и закономерностями оно вызвано.



- **Ответ:** Гильза притянется к пластине, коснётся её, а потом отскочит и зависнет в отклонённом состоянии.
- 
- **Решение** (вариант)
- Под действием электрического поля пластины изменится распределение электронов в гильзе, и ее поверхность электризуется: сторона, ближайшая к пластине приобретет отрицательный заряд, а противоположная сторона — положительный (**электростатическая индукция**). Поскольку **поле** небольшой пластины **неоднородно**, и ближе к пластине напряженность поля больше, сила притяжения гильзы к пластине, действующая на ее левую сторону, больше силы отталкивания, действующей на правую сторону. **Равнодействующая** этих сил **направлена к пластине**, и гильза будет притягиваться к ней.
- Если нить достаточно длинная, а гильза достаточно легкая, то гильза **коснется** пластины. В момент касания часть электронов перейдет с гильзы на положительно заряженную пластину, гильза **приобретет положительный заряд, оттолкнется** от пластины и **остановится** в положении, в котором **равнодействующая** сил электростатического отталкивания, тяжести и натяжения нити станет **равной нулю**.
- Если длина нити недостаточна для того, чтобы гильза коснулась пластины, или гильза достаточно тяжелая, то она остановится в положении, в котором равнодействующая сил электростатического притяжения, тяжести и натяжения нити равна нулю.

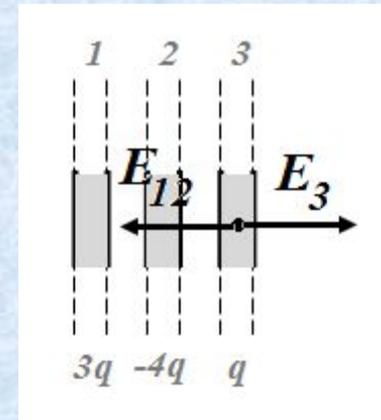
На рисунке изображены три металлические пластины большой площади. Пластины расположены параллельно друг другу, расстояние между пластинами много меньше их размеров. Внизу указаны заряды пластин. Какой заряд находится на правой плоскости третьей пластины? Ответ обоснуйте.



- **Ответ :** 0.

- **Решение (вариант 1)**

- Электрическое поле внутри проводника равно нулю. Весь статический заряд проводника (металлической пластины) сосредоточен на его поверхности. Поле зарядов, расположенных левее третьей пластины, должно компенсироваться полем зарядов, расположенных справа от нее.
- Суммарный заряд трех пластин должен быть распределен так, чтобы суммарный «левый заряд» был равен суммарному правому заряду. Суммарный заряд всех трех пластин равен нулю ( $3q - 4q + q = 0$ ). Значит, справа и слева от третьей пластины должен находиться заряд, равный нулю. Это достигается в том случае, если на правой поверхности третьей пластины находится заряд, равный нулю.

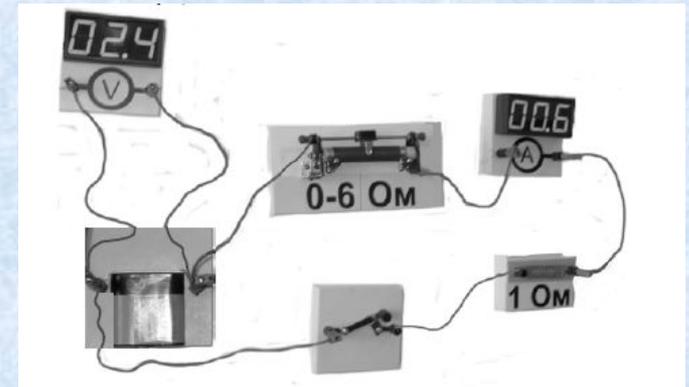


- **Решение (вариант 2)**

- Каждая пластина создает однородное электрическое поле, напряженность которого зависит от ее заряда (пропорциональна ему). Результирующее поле, напряженность которого находится по принципу суперпозиции, приводит к перераспределению зарядов на проводящих пластинах за счет электростатической индукции. При этом заряды сосредоточены на поверхности пластин, а макроскопический заряд и напряженность поля внутри пластин равны нулю. Поле внутри правой пластины создано пластинами с зарядами  $3q$  и  $-4q$ , а также распределенным по ее поверхности зарядом  $q$ . Для того, чтобы компенсировать поле зарядов  $3q$  и  $-4q$ , сумма которых равна  $-q$ , заряд  $q$  должен быть сосредоточен целиком на левой стороне пластины: в противном случае напряженность созданного им поля будет меньше необходимой. В таком случае, заряд правой поверхности пластины равен нулю.

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

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

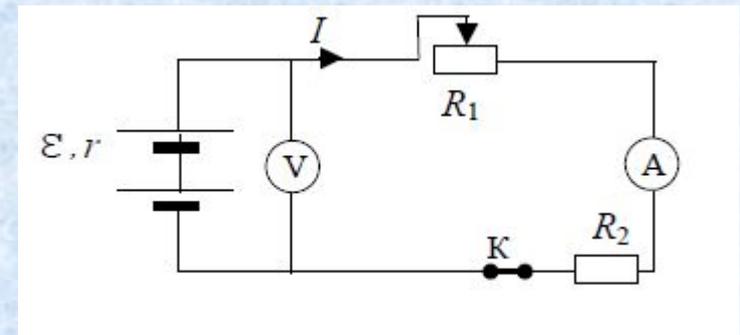


- **Ответ:** Показания амперметра увеличатся, а вольтметра — уменьшатся

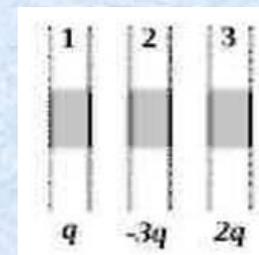
•

### Решение

- Эквивалентная электрическая схема цепи, учитывающая внутреннее сопротивление батареи, изображена на рисунке, где  $I$  — сила тока в цепи. Ток через вольтметр практически не течет, а сопротивление амперметра пренебрежимо мало.
- Сила тока в цепи определяется законом Ома для замкнутой цепи  $I = \varepsilon / (R_1 + R_2 + r)$
- В соответствии с законом Ома для участка цепи напряжение, измеряемое вольтметром  $U = I(R_1 + R_2) = \varepsilon - Ir$
- 
- При перемещении движка реостата вправо его сопротивление  $R_1$  уменьшается, что приводит к уменьшению полного сопротивления цепи. Сила тока в цепи при этом растёт, а напряжение на батарее уменьшается.



На рисунке изображены три металлические пластины большой площади. Пластины расположены параллельно друг другу, расстояние между пластинами много меньше их размеров. Внизу указаны заряды пластин. Какой заряд находится на правой плоскости третьей пластины? Ответ обоснуйте.



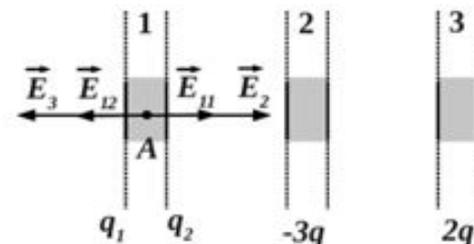
В первую очередь надо отметить, что **металлические** пластины являются **проводниками электричества**. Пусть на левой плоскости первой пластины располагается некий заряд  $q_1$ , а на правой плоскости – заряд  $q_2$ . Тогда, по закону сохранения заряда  $q_1 + q_2 = q$  (\*), так как **внутри проводника заряда быть не может** (естественно, имеется в виду избыточный заряд).

Возьмём внутри пластины **1** некую точку **A**. Поле в этой точке будет создаваться четырьмя зарядами:  $q_1$ ,  $q_2$ ,  $-3q$  и  $2q$ , расположенными на больших пластинах (распределение зарядов на 2-ой и 3-ей пластинах значения не имеет). Каждый заряд создаёт поле, пропорциональное его величине и равное **по модулю**  $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} = \frac{q}{2\epsilon_0 S}$ , где  $S$  – площадь пластин. То есть,

$E_{11} = \frac{q_1}{2\epsilon_0 S}$ ,  $E_{12} = \frac{q_2}{2\epsilon_0 S}$ ,  $E_2 = \frac{3q}{2\epsilon_0 S}$ ,  $E_3 = \frac{2q}{2\epsilon_0 S}$  (здесь  $E_{11}$  – это поле от заряда  $q_1$ ,  $E_{12}$  – от заряда  $q_2$  и т.д. – см. рисунок).

Результирующее поле **по принципу суперпозиции**  $\vec{E}_{\text{рез}} = \vec{E}_{11} + \vec{E}_2 + \vec{E}_{12} + \vec{E}_3$ . В проекции на горизонтальную ось:  $E_{\text{рез}} = E_{11} + E_2 - E_{12} - E_3 = 0$ , так как **электрическое поле внутри проводника равно нулю**.

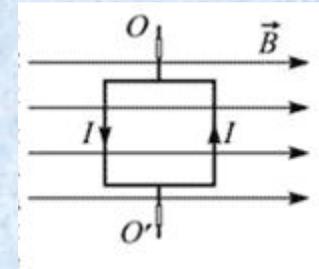
Подставим сюда выражения для напряжённостей и после упрощения получим  $q_1 + 3q - q_2 - 2q = 0$ , то есть  $q_2 - q_1 = q$ . Решение этого уравнения совместно с уравнением (\*) даёт ответы:  $q_2 = q$ ,  $q_1 = 0$ . Следовательно, весь заряд  $q$  будет находиться **на правой** плоскости первой пластины, **на левой** же плоскости **заряда нет**.



Шабалин Евгений Иванович

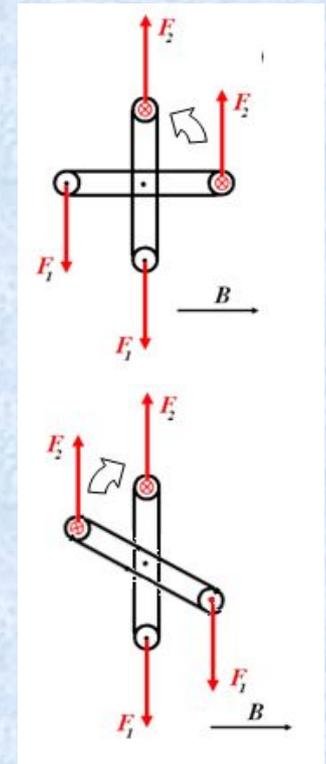
[www.reppofiz.info](http://www.reppofiz.info) – помощь по физике студентам и школьникам

Медная прямоугольная рамка, по которой протекает постоянный электрический ток силой  $I$ , может вращаться вокруг вертикальной оси  $OO'$ , закрепленной в подшипниках. При вращении рамки на нее действуют силы вязкого трения. Опираясь на законы электродинамики и механики, опишите и объясните движение этой рамки после включения однородного магнитного поля с индукцией  $B$  (см. рисунок).



- **Решение (вариант)**

- На проводник с током в магнитном поле действует сила Ампера, величина которой определяется законом Ампера  $F = IBl \sin \alpha$ , а направление - правилом левой руки. Тогда на левую и правую стороны рамки действуют силы  $F_1$  и  $F_2$  соответственно, направленные так, как показано на рисунке (вид сверху). Силы, действующие на верхнюю и нижнюю стороны рамки, параллельные вектору магнитной индукции, равны нулю.
- Силы  $F_1$  и  $F_2$  поворачивают рамку против часовой стрелки (создают вращающий момент) до тех пор, пока она не займет положение, при котором плоскость рамки перпендикулярна вектору магнитной индукции (момент равен нулю). По инерции рамка «проскочит» это положение и будет двигаться дальше. Направления сил  $F_1$  и  $F_2$  при этом сохраняются, однако теперь они будут тормозить вращение рамки до полной остановки, а затем поворачивать ее в обратном направлении. Описанный процесс будет повторяться с амплитудой, уменьшающейся за счет работы сил вязкого трения (возникнут затухающие колебания), до тех пор, пока рамка не остановится в положении, когда ее плоскость перпендикулярна линиям магнитной индукции (момент равен нулю).



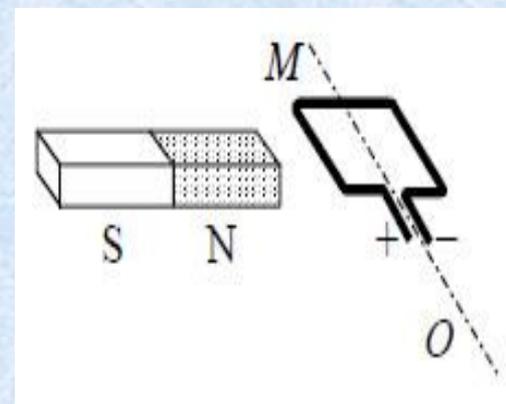
28. В цилиндрическом сосуде под поршнем длительное время находятся вода и ее пар. Поршень начинают выдвигать из сосуда. При этом температура воды и пара остается неизменной. Как будет меняться при этом масса жидкости в сосуде? Ответ поясните, опираясь на законы молекулярной физики.

### Решение

1. Длительное совместное проживание воды и пара вследствие испарения будет характеризоваться состоянием динамического равновесия: количество молекул воды, испаряющихся в единицу времени с единицы поверхности будет равно количеству конденсирующихся молекул за то же время и на той же площади. Водяной пар будет насыщенным.

2. При увеличении объёма при постоянстве температуры приведет к тому, что пар станет ненасыщенным и динамическое равновесие нарушится, количество испаряющихся молекул станет больше, чем конденсирующихся, масса жидкости будет уменьшаться, а масса пара расти, пока при новом значении объёма не наступит состояние динамического равновесия.

Рамку с постоянным током удерживают неподвижно в поле полосового магнита (см. рисунок). Полярность подключения источника тока к выводам рамки показана на рисунке. Как будет двигаться рамка на неподвижной оси  $MO$ , если рамку не удерживать? Ответ поясните, указав, какие физические закономерности вы использовали для объяснения. Считать, что рамка испытывает небольшое сопротивление движению со стороны воздуха.

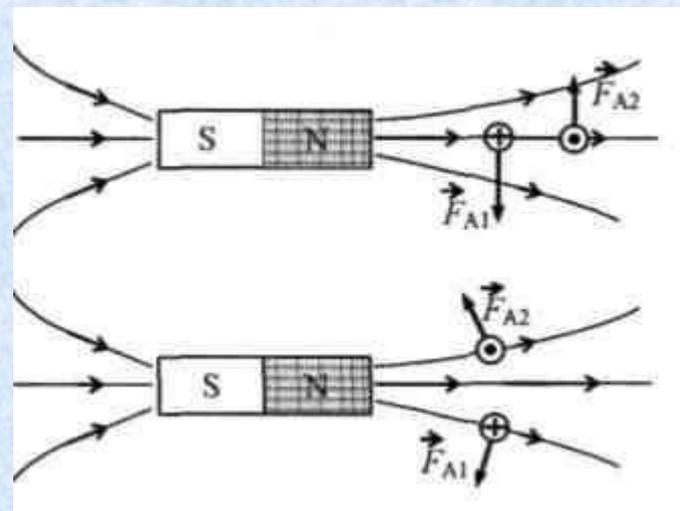


### Решение

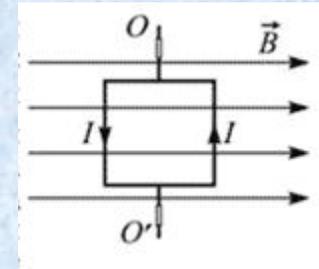
Рамка повернется против часовой стрелки и встанет перпендикулярно оси магнита так, что контакт «+» окажется внизу.

Рассмотрим сечение рамки плоскостью рисунка в условии задачи. В исходном положении в левом звене рамки ток направлен от нас, а в правом - к нам. На левое звено рамки действует сила Ампера  $F_{A1}$ , направленная вниз, а на правое звено - сила Ампера  $F_{A2}$ , направленная вверх. Эти силы разворачивают рамку на неподвижной оси  $MO$  против часовой стрелки (см. рисунок).

Рамка устанавливается перпендикулярно оси магнита так, что контакт «+» оказывается внизу. При этом силы Ампера  $F_{A1}$  и  $F_{A2}$  обеспечивают равновесие рамки на оси  $MO$  (см. рисунок).

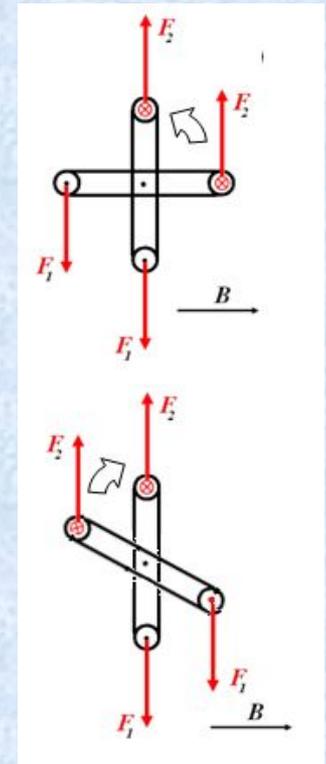


Медная прямоугольная рамка, по которой протекает постоянный электрический ток силой  $I$ , может вращаться вокруг вертикальной оси  $OO'$ , закрепленной в подшипниках. При вращении рамки на нее действуют силы вязкого трения. Опираясь на законы электродинамики и механики, опишите и объясните движение этой рамки после включения однородного магнитного поля с индукцией  $B$  (см. рисунок).

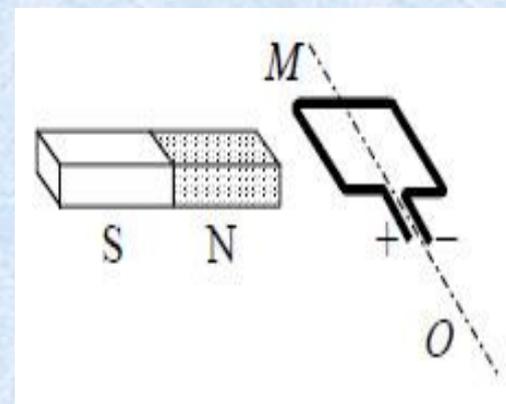


- **Решение (вариант)**

- На проводник с током в магнитном поле действует сила Ампера, величина которой определяется законом Ампера  $F = IB \sin \alpha$ , а направление - правилом левой руки. Тогда на левую и правую стороны рамки действуют силы  $F_1$  и  $F_2$  соответственно, направленные так, как показано на рисунке (вид сверху). Силы, действующие на верхнюю и нижнюю стороны рамки, параллельные вектору магнитной индукции, равны нулю.
- Силы  $F_1$  и  $F_2$  поворачивают рамку против часовой стрелки (создают вращающий момент) до тех пор, пока она не займет положение, при котором плоскость рамки перпендикулярна вектору магнитной индукции (момент равен нулю). По инерции рамка «проскочит» это положение и будет двигаться дальше. Направления сил  $F_1$  и  $F_2$  при этом сохраняются, однако теперь они будут тормозить вращение рамки до полной остановки, а затем поворачивать ее в обратном направлении. Описанный процесс будет повторяться с амплитудой, уменьшающейся за счет работы сил вязкого трения (возникнут затухающие колебания), до тех пор, пока рамка не остановится в положении, когда ее плоскость перпендикулярна линиям магнитной индукции (момент равен нулю).



Рамку с постоянным током удерживают неподвижно в поле полосового магнита (см. рисунок). Полярность подключения источника тока к выводам рамки показана на рисунке. Как будет двигаться рамка на неподвижной оси  $MO$ , если рамку не удерживать? Ответ поясните, указав, какие физические закономерности вы использовали для объяснения. Считать, что рамка испытывает небольшое сопротивление движению со стороны воздуха.

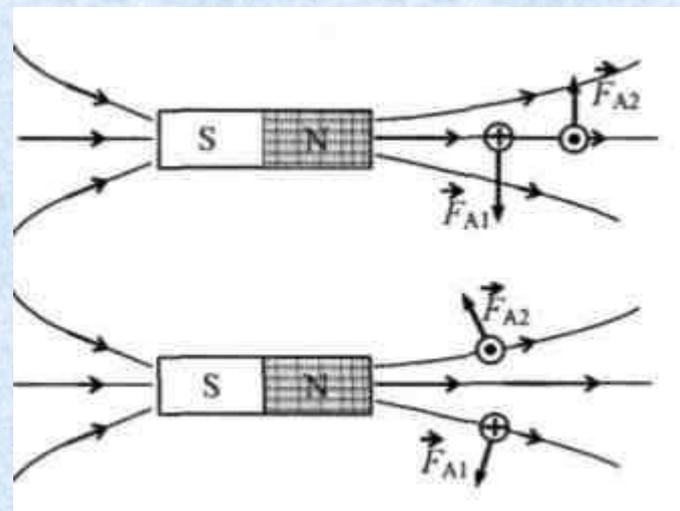


### Решение

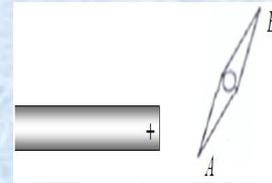
Рамка повернется против часовой стрелки и встанет перпендикулярно оси магнита так, что контакт «+» окажется внизу.

Рассмотрим сечение рамки плоскостью рисунка в условии задачи. В исходном положении в левом звене рамки ток направлен от нас, а в правом - к нам. На левое звено рамки действует сила Ампера  $F_{A1}$ , направленная вниз, а на правое звено - сила Ампера  $F_{A2}$ , направленная вверх. Эти силы разворачивают рамку на неподвижной оси  $MO$  против часовой стрелки (см. рисунок).

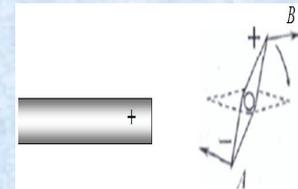
Рамка устанавливается перпендикулярно оси магнита так, что контакт «+» оказывается внизу. При этом силы Ампера  $F_{A1}$  и  $F_{A2}$  обеспечивают равновесие рамки на оси  $MO$  (см. рисунок).



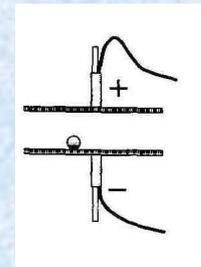
Насаженную на вертикальную ось металлическую стрелку  $AB$  закрепили и сбоку к ней поднесли наэлектризованную стеклянную палочку (см. рисунок – вид сверху). Будет ли поворачиваться стрелка, если её освободить, и если будет, то в какую сторону? Объясните поведение стрелки, указав, какими физическими явлениями и закономерностями оно вызвано.



- **Ответ:** Стрелка повернется по часовой стрелке, конец стрелки  $A$  будет указывать на стеклянную палочку.
- **Решение:**
- Электрическое поле палочки приведет к перераспределению свободных зарядов (электронов) внутри проводящей стрелки (электростатическая индукция): ближний к положительно заряженной палочке конец  $A$  стрелки зарядится отрицательно, а дальний  $B$  – положительно. Так как заряды противоположных знаков притягиваются, а одноименных знаков – отталкиваются, то конец  $A$  стрелки будет притягиваться к палочке, а  $B$  – отталкиваться. Это притяжение и отталкивание разных концов стрелки приведёт к повороту самой стрелки: конец  $A$  будет указывать на стеклянную палочку. Поворот произойдёт по часовой стрелке.

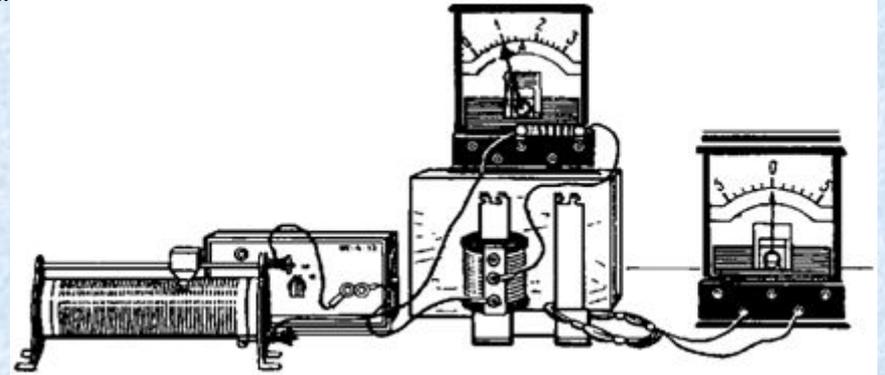


Между двумя близко расположенными металлическими пластинами, укрепленными на изолирующих подставках, положили металлический шарик. Когда пластины подсоединили к клеммам высоковольтного выпрямителя, подав на них заряды разных знаков, шарик пришёл в движение. Опишите и объясните движение шарика



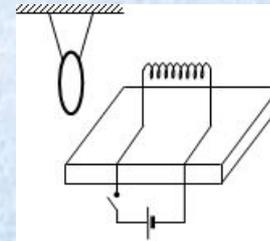
- **Решение:**
- Под действием электрического поля пластин изменится распределение электронов в шарике и произойдет его электризация: шарик приобретёт тот же заряд, что и пластина, на которой он лежит, - отрицательный.
- Отрицательно заряженный шарик будет отталкиваться от нижней и притягиваться к верхней пластине. Если масса шарика достаточно мала, он поднимется к положительно заряженной пластине и, коснувшись ее, поменяет знак заряда. В результате он начнёт отталкиваться от верхней пластины и притягиваться к нижней - шарик вернется к первой пластине и вновь поменяет знак своего заряда на отрицательный. Такое движение вверх-вниз будет повторяться.

На рисунке изображены две изолированные друг от друга электрические цепи. Первая содержит последовательно соединенные источник тока, реостат, катушку индуктивности и амперметр, а вторая — проволочный моток, к концам которого присоединен гальванометр, изображенный на рисунке справа. Катушка и моток надеты на железный сердечник. Как будут изменяться показания приборов, если катушку, присоединенную к источнику тока, медленно перемещая вверх, снять с сердечника? Ответ поясните, указав, какие физические закономерности вы использовали для объяснения.



- **Ответ:** во время перемещения катушки индуктивности вверх и снятия ее с сердечника показания амперметра будут оставаться неизменными, а гальванометр будет регистрировать ток в цепи второй катушки.
- **Решение**
- Магнитное поле, создаваемое током в катушке и замыкающееся через сердечник и воздушный промежуток, неоднородно. При перемещении проволочного мотка вверх поток вектора магнитной индукции через него будет изменяться, поэтому в нем возникнет индукционная ЭДС и индукционный ток, который будет регистрироваться гальванометром. Амперметр показывает силу тока, текущего через катушку. При движении мотка она несколько изменяется за счет ЭДС, индуцируемой в катушке изменяющимся магнитным полем тока мотка, но при медленном движении изменение силы тока незначительно, поэтому показания амперметра практически постоянны.
- *(Примечание: когда катушка будет полностью снята с сердечника, изменение магнитного потока в мотке проволоки прекратится, и сила тока, регистрируемого гальванометром, станет равной нулю. При этом амперметр будет регистрировать постоянную силу тока в цепи катушки индуктивности. Это утверждение для полного ответа не требуется).*

Замкнутое медное кольцо подвешено на тонких длинных нитях вблизи катушки индуктивности, закрепленной на столе и подключенной к источнику постоянного тока. Первоначально электрическая цепь катушки разомкнута. Как будет двигаться кольцо при замыкании цепи? Ответ поясните, указав, какие физические явления закономерности вы использовали для объяснения.



- 
- **Ответ:** Кольцо оттолкнется от катушки и после затухающих колебаний установится в первоначальном положении.
- **Решение (вариант)**
- При замыкании цепи сила тока в катушке увеличивается, следовательно, увеличивается индукция магнитного поля катушки и магнитный поток, пронизывающий кольцо. При этом в кольце возникает ЭДС индукции и индукционный ток, который, по правилу Ленца, своим магнитным полем противодействует изменению магнитного потока, т.е. его направление будет противоположным направлению тока в катушке. При этом возникает сила Ампера, отталкивающая кольцо от катушки. Она же препятствует возникновению колебаний кольца.
- По мере установления тока в катушке ЭДС индукции в кольце будет уменьшаться, и когда ток перестанет изменяться, она станет равной нулю. Так же будет изменяться и сила Ампера. Кольцо вернется в исходное положение и останется неподвижным.
- 
- **Решение (вариант)**
- При замыкании цепи катушки начинает изменяться поток вектора магнитной индукции через кольцо. По закону электромагнитной индукции в кольце возникает ЭДС индукции, появляется индукционный ток. В соответствии с правилом Ленца взаимодействие токов в кольце и в катушке приводит к тому, что кольцо отталкивается от катушки.
- Затем кольцо возвращается в исходное положение, т.к. индукционный ток препятствует возможным колебаниям кольца на нитях.
- Индукционный ток в неподвижном кольце вблизи катушки с постоянным током равен нулю, магнитные свойства меди выражены слабо, поэтому, вернувшись в исходное положение равновесия, кольцо остается неподвижным

Намагниченный стальной стержень начинает свободное падение с нулевой начальной скоростью из положения, изображённого на рис. 1. Пролетая сквозь закреплённое проволочное кольцо, стержень создаёт в нём электрический ток, сила которого изменяется со временем так, как показано на рис. 2. Почему в моменты времени  $t_1$  и  $t_2$  ток в кольце имеет различные направления? Ответ поясните, указав, какие физические явления и закономерности Вы использовали для объяснения. Влиянием тока в кольце на движение магнита пренебречь.

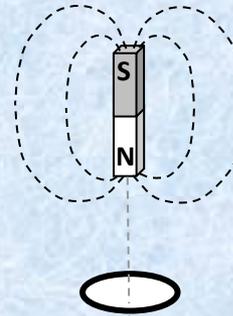


Рис. 1

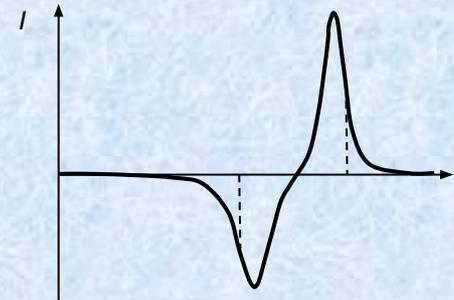


Рис. 2

## Решение 2

При движении магнита изменяется магнитный поток через кольцо, следовательно, в нем возникает индукционный ток. Направление тока определяется правилом Ленца: индукционный ток своим магнитным полем противодействует тому изменению магнитного потока, которым он вызван. Направление поля магнита во время его движения не меняется – оно все время направлено сверху вниз, следовательно, знак магнитного потока не меняется, но при приближении магнита поток увеличивается, а при удалении уменьшается, поэтому ток в кольце в разные моменты времени должен иметь разное направление.

Т.о., разумно предположить, что в моменты времени  $t_1$  и  $t_2$  магнит соответственно приближался к кольцу и удалялся от него, а различные направления тока вызваны различным характером изменения магнитного потока (его увеличением и уменьшением) и объясняются правилом Ленца.

Форма графика позволяет утверждать, что моменты времени  $t_1$  и  $t_2$  действительно соответствуют приближению и удалению магнита:

В опыте, иллюстрирующем зависимость температуры кипения от давления воздуха (рис. 1), кипение воды под колоколом воздушного насоса происходит уже при комнатной температуре, если давление достаточно мало.

Используя график зависимости давления *насыщенного пара* от температуры (рис. 2), укажите, какое давление воздуха нужно создать под колоколом насоса, чтобы вода закипела при 40 °С. Ответ поясните, указав, какие явления и закономерности Вы использовали для объяснения.



Рис. 1

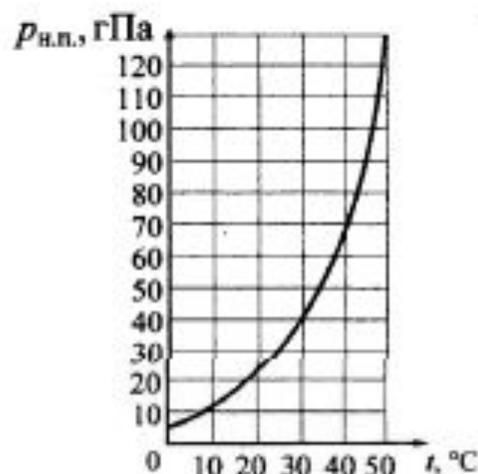
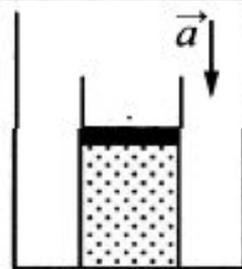


Рис. 2

Кипением называется парообразование, которое происходит не только с поверхности жидкости, граничащей с воздухом, но и с поверхности пузырьков насыщенного пара, образующихся в толще жидкости, что резко увеличивает количество испарившейся жидкости. Всплывающие пузырьки вызывают интенсивное перемешивание жидкости.

Образование пузырьков пара в жидкости возможно только в том случае, когда давление этого пара  $p$  равно давлению столба жидкости:  $p = p_{атм} + pgh$ . В сосуде  $pgh \ll p_{атм}$ , поэтому условие возникновения кипения  $p = p_{атм}$ . Следовательно, чтобы вода закипела при 40 °С, в соответствии с графиком давление воздуха под колоколом необходимо снизить до 70 гПа.

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. Опираясь на законы механики и молекулярной физики, объясните, 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.



Поршень сдвинется вверх. Температура газа в сосуде понизится.

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,  $p_1 = p_{\text{атм}} + \frac{Mg}{S}$ .

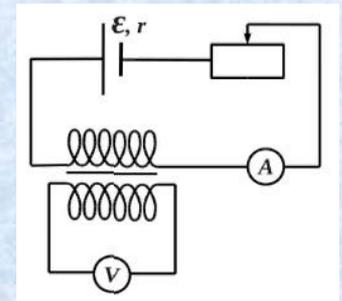
При движении лифта с ускорением  $\vec{a}$ , направленным вниз, поршень сдвинется и займёт относительно сосуда новое положение равновесия, в котором давление газа в сосуде станет равным  $p_2 = p_{\text{атм}} + \frac{M(g - a)}{S} < p_1$ . Поскольку сосуд теплоизолирован и изменения числа частиц нет, уменьшение давления возможно только за счёт расширения газа. При этом газ совершает работу  $A > 0$ .

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.

Уменьшение внутренней энергии газа повлечёт за собой понижение его температуры

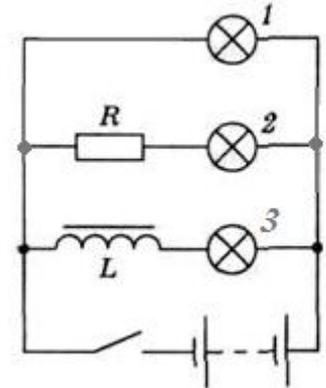
$$(\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T)$$

На рисунке приведена электрическая цепь, состоящая из гальванического элемента, реостата, трансформатора, амперметра и вольтметра. В начальный момент времени ползунок реостата установлен посередине и неподвижен. Опираясь на законы электродинамики, объясните, как будут изменяться показания приборов в процессе перемещения ползунка реостата влево. ЭДС самоиндукции пренебречь по сравнению с  $\varepsilon$ .



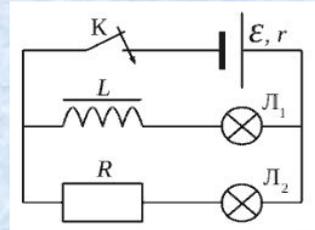
- **Ответ:** Во время перемещения движка реостата показания амперметра будут плавно увеличиваться, а вольтметр будет регистрировать напряжение на концах вторичной обмотки.
- **Решение:**
- При перемещении ползунка влево **сопротивление** цепи **уменьшается**, а **сила тока увеличивается** в соответствии с **законом Ома для полной цепи**  $I = \varepsilon / (R+r)$ , где  $R$  – сопротивление внешней цепи.
- Изменение тока, текущего по первичной обмотке трансформатора, вызывает **изменение индукции магнитного поля**, создаваемого этой обмоткой. Это приводит к **изменению магнитного потока** через вторичную обмотку трансформатора.
- В соответствии с **законом электромагнитной индукции** возникает ЭДС индукции  $\varepsilon = - \Delta\Phi / \Delta t$  во вторичной обмотке, а следовательно, **напряжение**  $U$  на ее концах, регистрируемое вольтметром.
- 
- *Примечание: Для полного ответа не требуется объяснения показаний приборов в крайнем левом положении. (Когда движок придет в крайнее левое положение и движение его прекратится, амперметр будет показывать постоянную силу тока в цепи, а напряжение, измеряемое вольтметром, окажется равным нулю.)*
-

Три лампы подключены к источнику постоянного тока так, как показано на рисунке. Первоначально ключ разомкнут. В какой последовательности загорятся лампы при замыкании ключа? Каким явлением это можно объяснить?



- 
- **Ответ:** Лампы 1 и 2 вспыхивают практически сразу. Лампа 3 разгорается постепенно.
- **Решение:**
- При замыкании ключа ток возрастает во всех элементах цепи. При этом возникает ЭДС самоиндукции, противодействующая, по правилу Ленца, увеличению силы тока и зависящая от индуктивности элемента. Индуктивность участков 1 и 2 мала, поэтому ток через лампы 1 и 2 достигает рабочего значения практически сразу. Индуктивность катушки с сердечником значительно больше индуктивности всех остальных элементов, поэтому ток через нее будет нарастать медленно, и лампа 3 загорится позже и будет разгораться до нормального накала постепенно

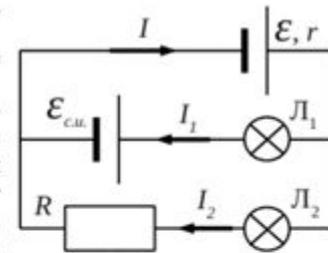
Две одинаковые лампы Л1 и Л2 подключены к источнику тока, одна - последовательно с катушкой индуктивности L с железным сердечником, а другая - последовательно с резистором R (см. рисунок). Первоначально ключ К разомкнут. Опишите разницу в работе лампочек при замыкании ключа К. Каким явлением вызвана эта разница?



После замыкания ключа токи в цепи начнут увеличиваться. При этом, в катушке индуктивности возникнет ЭДС самоиндукции  $\mathcal{E}_{с.и.} = -L \frac{\Delta I_1}{\Delta t}$ , которая по правилу Ленца будет направлена так, чтобы уменьшить возникшее изменение, то есть ЭДС самоиндукции будет "сдерживать" рост тока  $I_1$  через катушку (а, следовательно, и через лампу Л<sub>1</sub>). Таким образом, лампа Л<sub>1</sub> будет **разгораться плавно в течении некоторого времени**. Конечно, это время будет зависеть от индуктивности катушки и сопротивления лампы с катушкой, но учитывая, что катушка с **железным сердечником** (который в десятки раз увеличивает её индуктивность), можно считать, что **время будет заметным**.

Рост тока  $I_2$  через лампу Л<sub>2</sub> ничем не сдерживается, и время зажигания лампы определяется временем распространения электромагнитных волн по цепи, временем разогрева спирали лампы да влиянием индуктивности и ёмкости проводов и самой лампы (которое пренебрежимо мало) – можно считать, что лампа Л<sub>2</sub> **загорится почти мгновенно**.

Однако, в конечном состоянии, когда прекратится изменение токов и исчезнет ЭДС самоиндукции, сопротивление участка с лампой Л<sub>1</sub> станет меньше сопротивления участка с лампой Л<sub>2</sub> (про сопротивление катушки ничего не сказано, значит, будем считать, что её сопротивление меньше сопротивления резистора R). А, так как эти участки соединены параллельно, то конечный ток через лампу Л<sub>1</sub> будет больше тока через лампу Л<sub>2</sub>. Следовательно, лампа Л<sub>1</sub> будет гореть ярче лампы Л<sub>2</sub>.



Шабалин Евгений Иванович

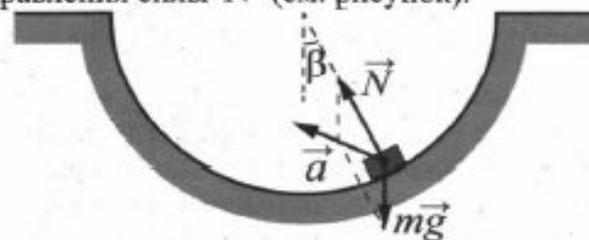
[www.reppofiz.info](http://www.reppofiz.info) – помощь по физике студентам и школьникам

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  $\frac{R}{2}$  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.

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).



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

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.

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

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.

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

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  $p_{\text{ф}} = \frac{h\nu}{c}$ , поэтому пластинка получает импульс, равный сумме импульсов поглощённых фотонов:

$$p_{\Sigma} = N p_{\text{ф}} = N \frac{h\nu}{c}.$$

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:

$$F_1 = \frac{p_{\Sigma}}{t} = \frac{N}{t} \frac{h\nu}{c}.$$

В результате отражения света от зеркальной пластины отражённый квант имеет импульс, противоположный по знаку импульсу кванта падающей волны:  $p'_{\text{ф}} = -p_{\text{ф}}$ , поэтому отражённая волна имеет импульс  $p'_{\Sigma} = -N' p_{\text{ф}} = -N' \frac{h\nu}{c}$ . В итоге за время  $t$  импульс волны под действием зеркальной пластины изменился. Это изменение

$$\Delta p_{\Sigma} = (-p'_{\Sigma}) - p_{\Sigma} = -(N + N') p_{\text{ф}}.$$

Импульс системы световая волна + зеркальная пластинка сохраняется:  $\Delta(p_{\Sigma} + p_{\text{пл}}) = 0$ , поэтому  $\Delta p_{\text{пл}} = -\Delta p_{\Sigma}$ . Но изменение импульса тела в инерциальной системе отсчёта происходит только под действием других тел или полей и характеризуется силой

$$F_2 = \frac{p_{\text{пл}}}{t} = \frac{N + N'}{t} \frac{h\nu}{c}.$$

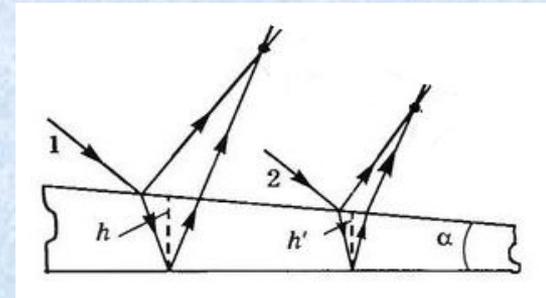
Для хорошего зеркала  $N \approx N'$ , поэтому  $F_2 \approx 2F_1$ .

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

Если кольцо диаметром 3-4 см, согнутое из тонкой проволоки, окунуть в раствор мыла, то, вынув его из раствора, можно обнаружить радужную пленку, затягивающую отверстие кольца. Если держать кольцо так, чтобы его плоскость была вертикальна, и рассматривать пленку в отраженном свете на темном фоне, то в верхней части пленки через некоторое время будет видно растущее темное пятно, окольцованное разноцветными полосами. Как чередуется цвет полос в направлении от темного пятна к нижней части кольца? Ответ поясните, указав, какие физические явления и закономерности вы использовали для объяснения.

- **Решение:**

- Мыльный раствор, стекая вниз, образует клин, обращенный широкой гранью вниз. Световые волны, отраженные от передней и задней поверхностей клина, интерферируют. Результат интерференции зависит от разности хода волн, а она в свою очередь определяется толщиной клина в месте падения света.
- Появление темного пятна в верхней части каркаса объясняется тем, что пленка в этой области настолько тонкая, что разность хода волн не превышает половины длины самых коротких волн в спектре падающего света.
- По мере увеличения толщины пленки разность хода волн начинает удовлетворять условию максимума амплитуды сначала для самых малых, а затем все больших длин волн, поэтому ниже темного пятна цвета пленки сменяются от фиолетового, с минимальной длиной волны, к красному – с максимальной. Возрастающим значениям  $k$  соответствуют системы полос, в которых цвета чередуются указанным образом в направлении сверху вниз. При достаточно большой толщине пленки системы полос могут перекрываться, образуя смешанные цвета, поскольку при этом могут выполняться условия максимума амплитуды для волн разных длин.



28. Тонкая линза Л дает четкое действительное изображение предмета АВ на экране Э (рис. 1). Что произойдет с изображением предмета на экране, если верхнюю половину линзы закрыть куском черного картона К (рис. 2)? Постройте изображение предмета в обоих случаях. Ответ поясните, указав, какие физические закономерности вы использовали для объяснения.

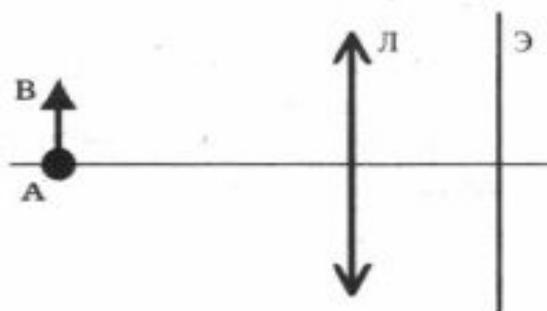


Рис. 1

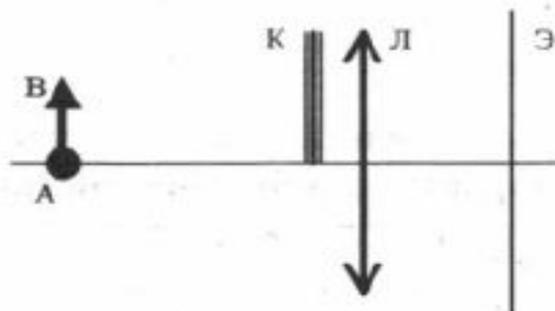
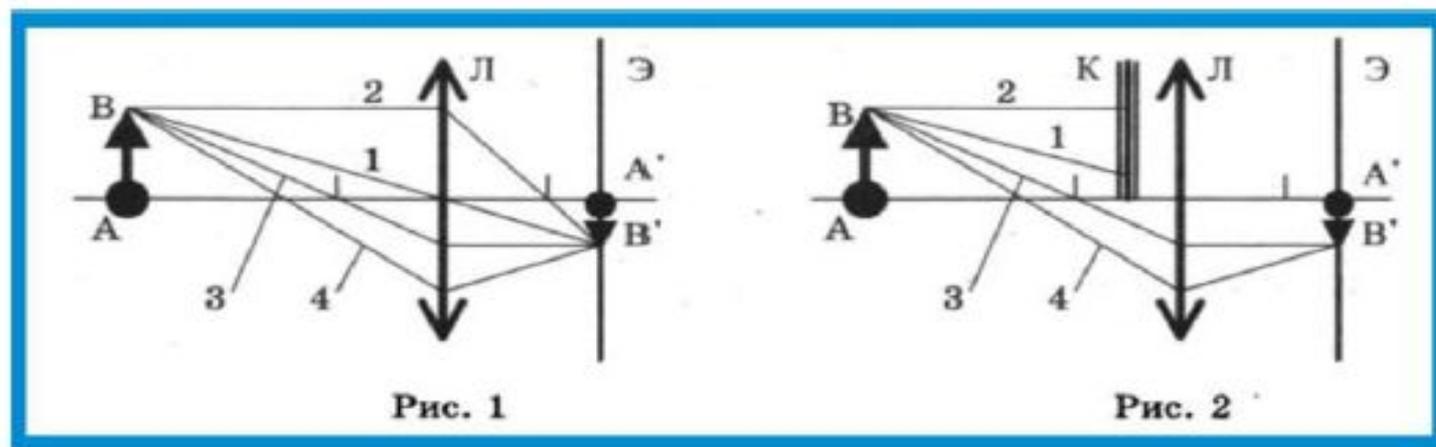


Рис. 2

### Решение



1. Изображение сохранит свои пропорции, только станет менее ярким т.к. Свето-сила линзы при закрытии половины её площади будет меньше.

28. Тонкая линза Л дает четкое действительное изображение предмета АВ на экране Э (рис. 1). Что произойдет с изображением предмета на экране, если нижнюю половину линзы закрыть куском черного картона К (рис. 2)? Постройте изображение предмета в обоих случаях. Ответ поясните, указав, какие физические закономерности вы использовали для объяснения.

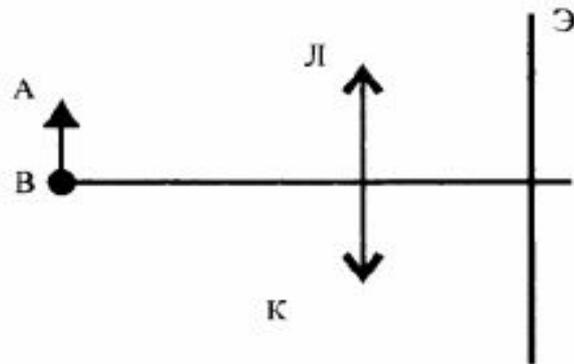


Рис. 1

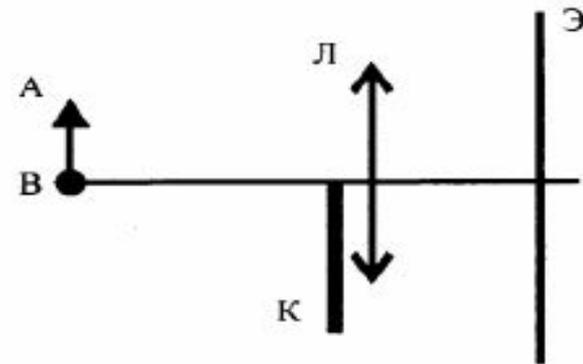


Рис. 2

Решение

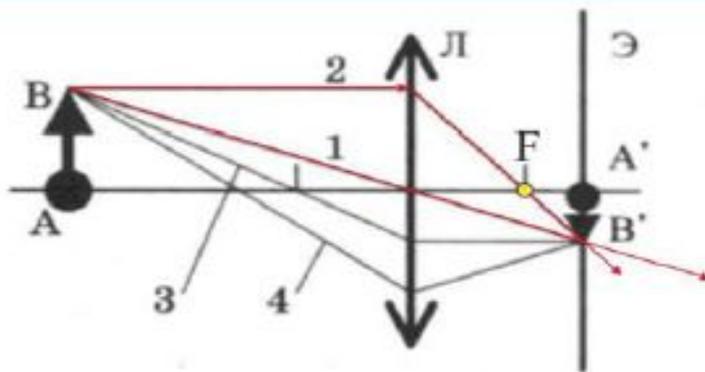


Рис. 1

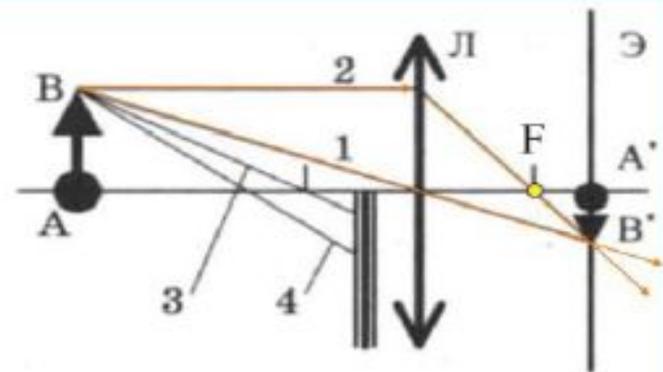


Рис. 2

28. Маленький незаряженный шарик, подвешенный на непроводящей нити, помещен над горизонтальной металлической пластиной, равномерно заряженной положительным зарядом. Размеры пластины во много раз превышают длину нити. Опираясь на законы механики и электродинамики, объясните, как изменится частота малых свободных колебаний шарика, если ему сообщить отрицательный заряд.

### Решение

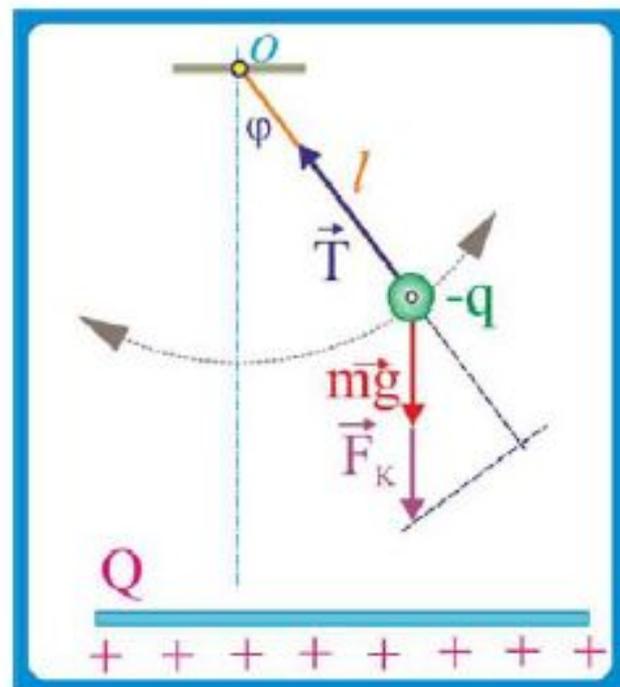
1. Период малых колебаний математического маятника, каковым является маленький шарик, размеры которого на много меньше длины нити подвеса зависит только от длины нити подвеса и величины ускорения свободного падения в месте проведения измерений:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

2. При сообщении шарiku отрицательного заряда возникнет сила притяжения Кулона, которая сообщит ему дополнительное ускорение, уравнение периода в этом случае в общем виде представится следующим образом:

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g+a}} = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g + \frac{F_K}{m}}}$$

период колебаний уменьшится, а частота собственных незатухающих малых колебаний увеличится.



28. Маленький незаряженный шарик, подвешенный на непроводящей нити, помещен над горизонтальной металлической пластиной, равномерно заряженной отрицательным зарядом. Размеры пластины во много раз превышают длину нити. Опираясь на законы механики и электродинамики, объясните, как изменится период малых свободных колебаний шарика, если ему сообщить положительный заряд.

### Решение

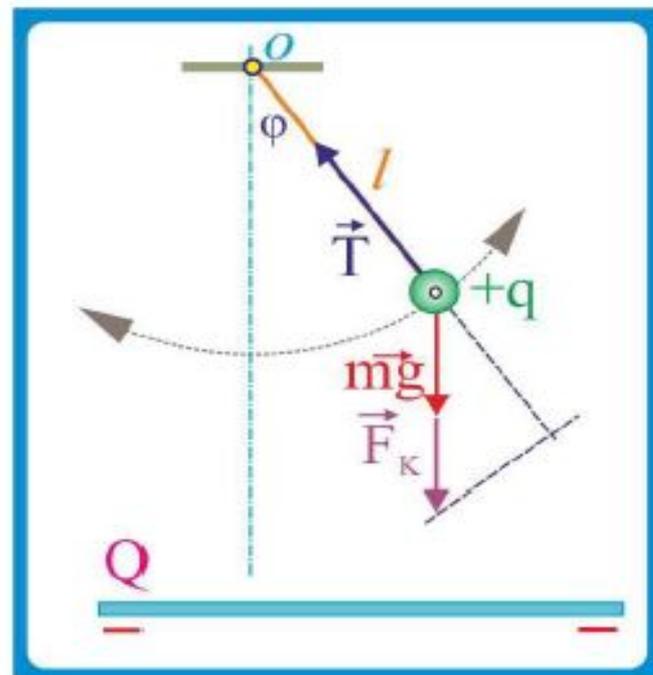
1. Период малых колебаний математического маятника, каковым является маленький шарик, размеры которого на много меньше длины нити подвеса зависит только от длины нити подвеса и величины ускорения свободного падения в месте проведения измерений:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}};$$

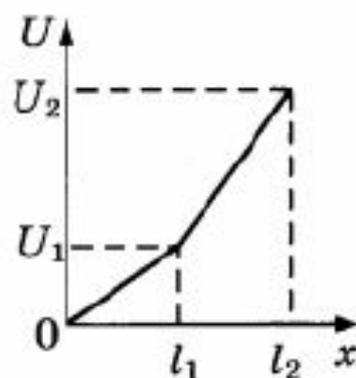
2. При сообщении шарiku положительного заряда возникнет сила притяжения Кулона, которая сообщит ему дополнительное ускорение, уравнение периода в этом случае в общем виде представится следующим образом:

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g+a}} = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g + \frac{F_k}{m}}},$$

период колебаний уменьшится, а частота собственных незатухающих малых колебаний увеличится.



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



### Решение

1. Зависимость падения напряжения от длины проводника:

$$U = IR = I\rho \frac{x}{S}; \Rightarrow \rho = \frac{(U_2 - U_1)S}{Ix}; \quad l_1 = l_2; \quad S = \text{const}; \Rightarrow \rho \sim \Delta U;$$

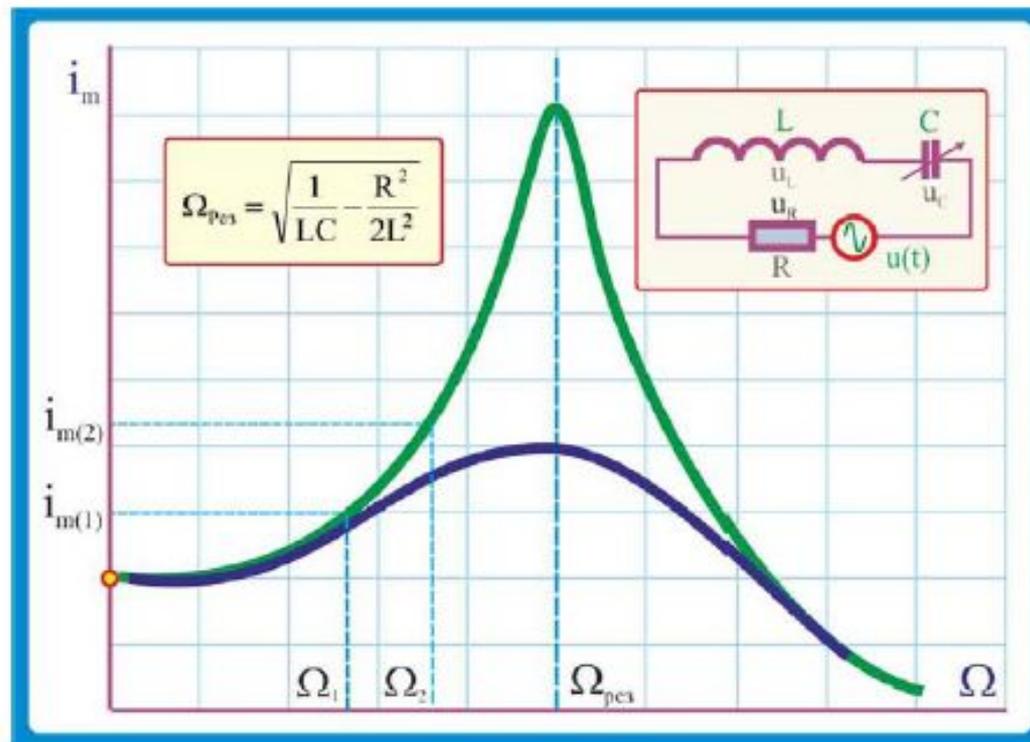
$$\rho_{0-1} < \rho_{1-2};$$

28. К колебательному контуру подсоединили источник тока, на клеммах которого напряжение гармонически меняется с частотой  $\nu$ .

Емкость  $C$  конденсатора колебательного контура можно плавно менять от максимального значения  $C_{\max}$  до минимального  $C_{\min}$ , а индуктивность его катушки постоянна.

Ученик постепенно уменьшал емкость конденсатора от максимального значения до минимального и обнаружил, что амплитуда силы тока в контуре все время возрастала. Опираясь на свои знания по электродинамике, объясните наблюдения ученика.

### Решение



28. В эксперименте установлено, что при температуре воздуха в комнате 23 °С на стенке стакана с холодной водой начинается конденсация паров воды из воздуха, если снизить температуру стакана до 12 °С. По результатам этих экспериментов определите относительную влажность воздуха. Для решения задачи воспользуйтесь таблицей. Поясните, почему конденсация паров воды в воздухе может начинаться при различных значениях температуры.

**Давление и плотность насыщенного водяного пара при различной температуре**

$t, ^\circ\text{C}$	7	9	11	12	13	14	15	16
$p, \text{гПа}$	10	11	13	14	15	16	17	18
$\rho, \text{г/м}^3$	7,7	8,8	10,0	10,7	11,4	12,11	12,8	13,6

$t, ^\circ\text{C}$	19	21	23	25	27	29	40	60
$p, \text{гПа}$	22	25	28	32	36	40	74	200
$\rho, \text{г/м}^3$	16,3	18,4	20,6	23,0	25,8	28,7	51,2	130,5

### Решение

1. Относительная влажность воздуха:

$$\varphi = \frac{P_{\text{н}(12^\circ)}}{P_{\text{н}(23^\circ)}} = \frac{14 \cdot 10^9}{28 \cdot 10^9} = 0,5 \text{ (50\%);}$$

2. Конденсация паров воды наступает в случае совпадения давления насыщенных паров воды при данной температуре с внешним давлением, а поскольку давление насыщенных паров зависит от температуры, то и конденсация может начинаться при соответствующих температурах.

28. В эксперименте установлено, что при температуре воздуха в комнате 21 °С на стенке стакана с холодной водой начинается конденсация паров воды из воздуха, если снизить температуру стакана до 7 °С. По результатам этих экспериментов определите относительную влажность воздуха. Для решения задачи воспользуйтесь таблицей. При понижении температуры воздуха в комнате конденсация паров воды из воздуха начинается при той же температуре стакана 7 °С. Изменилась ли относительная влажность воздуха?

**Давление и плотность насыщенного  
водяного пара при различной температуре**

<i>t</i> , °С	7	9	11	12	13	14	15	16
<i>p</i> , гПа	10	11	13	14	15	16	17	18
<i>ρ</i> , г/м <sup>3</sup>	7,7	8,8	10,0	10,7	11,4	12,11	12,8	13,6
<i>t</i> , °С	19	21	23	25	27	29	40	60
<i>p</i> , гПа	22	25	28	32	36	40	74	200
<i>ρ</i> , г/м <sup>3</sup>	16,3	18,4	20,6	23,0	25,8	28,7	51,2	130,5

### Решение

1. Относительная влажность воздуха:

$$\varphi = \frac{P_{н(7^{\circ})}}{P_{н(21^{\circ})}} = \frac{10 \cdot 10^9}{25 \cdot 10^9} = 0,4 \text{ (40\%);}$$

2. Конденсация паров воды наступает в случае совпадения давления насыщенных паров воды при данной температуре с внешним давлением, а поскольку давление насыщенных паров зависит от температуры, то и конденсация может начинаться при соответствующих температурах. При понижении температуры влажность изменится.

28. В эксперименте установлено, что при температуре воздуха в комнате 25 °С на стенке стакана с холодной водой начинается конденсация паров воды из воздуха, если понизить температуру стакана до 14 °С. Какова относительная влажность воздуха? Почему конденсация паров воды в воздухе может начинаться при различных значениях температуры? Для решения задачи воспользуйтесь таблицей.

**Давление и плотность насыщенного  
водяного пара при различной температуре**

$t, ^\circ\text{C}$	7	9	11	12	13	14	15	16
$p, \text{гПа}$	10	11	13	14	15	16	17	18
$\rho, \text{г/м}^3$	7,7	8,8	10,0	10,7	11,4	12,11	12,8	13,6
$t, ^\circ\text{C}$	19	21	23	25	27	29	40	60
$p, \text{гПа}$	22	25	28	32	36	40	74	200
$\rho, \text{г/м}^3$	16,3	18,4	20,6	23,0	25,8	28,7	51,2	130,5

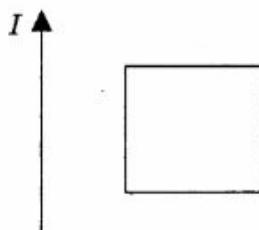
**Решение**

1. Относительная влажность воздуха:

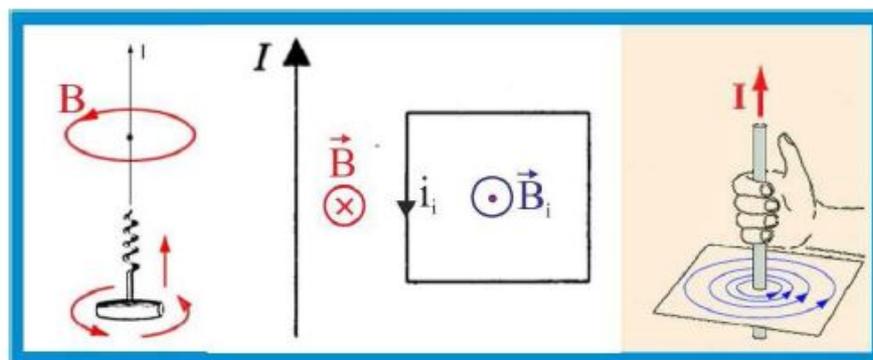
$$\varphi = \frac{P_{\text{н}(14^\circ)}}{P_{\text{н}(25^\circ)}} = \frac{16 \cdot 10^9}{32 \cdot 10^9} = 0,5 \text{ (50\%);}$$

2. Конденсация паров воды наступает в случае совпадения давления насыщенных паров воды при данной температуре с внешним давлением, а поскольку давление на-

28. На рисунке изображён длинный проводник с током, в плоскости которого располагается проволочная рамка. Направление тока в проводнике указано стрелкой. Почему при выключении и включении тока в проводнике ток в рамке будет иметь различные направления? Укажите стрелками направления тока в рамке, указав, какие физические явления и закономерности вы использовали для объяснения.



Решение



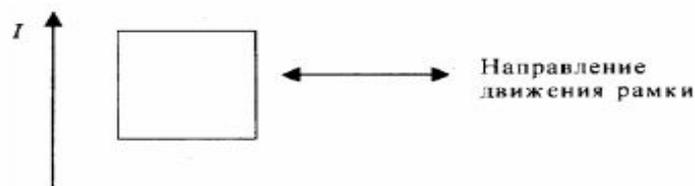
1. Направление магнитного поля, создаваемого прямолинейным током определяется правилом буравчика (правого винта).

2. Согласно правилу Эмилия Христофоровича Ленца индукционный ток в контуре должен быть такого направления, чтобы создаваемое им индукционное магнитное поле было направлено в противоположную сторону основному полю (правило правой руки).

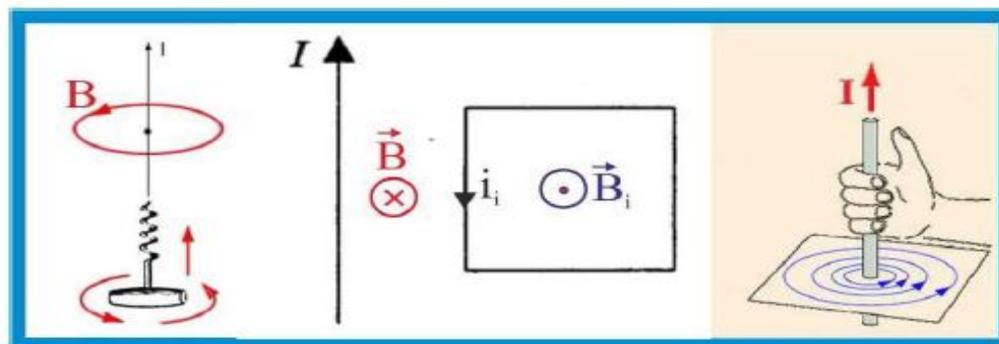
4. При включении и выключении тока ток в рамке будет иметь различные направления, потому что в первом случае магнитный поток нарастает во времени, а во втором случае убывает, что учтено в законе электромагнитной индукции Майкла Фарадея:

$$\varepsilon_1 = -\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t} = -\frac{\Delta B}{\Delta t} S;$$

28. На рисунке изображён длинный проводник с током, в плоскости которого располагается проволочная рамка. Направление тока в проводнике указано стрелкой. Почему при удалении и приближении рамки к проводнику ток в рамке будет иметь различные направления? Укажите стрелками направления тока в рамке, указав, какие физические явления и закономерности вы использовали для объяснения.



Решение



1. Направление магнитного поля, создаваемого прямолинейным током определяется правилом буравчика (правого винта).

2. Согласно правилу Эмилия Христофоровича Ленца индукционный ток в контуре должен быть такого направления, чтобы создаваемое им индукционное магнитное поле было направлено в противоположную сторону основному полю (правило правой руки).

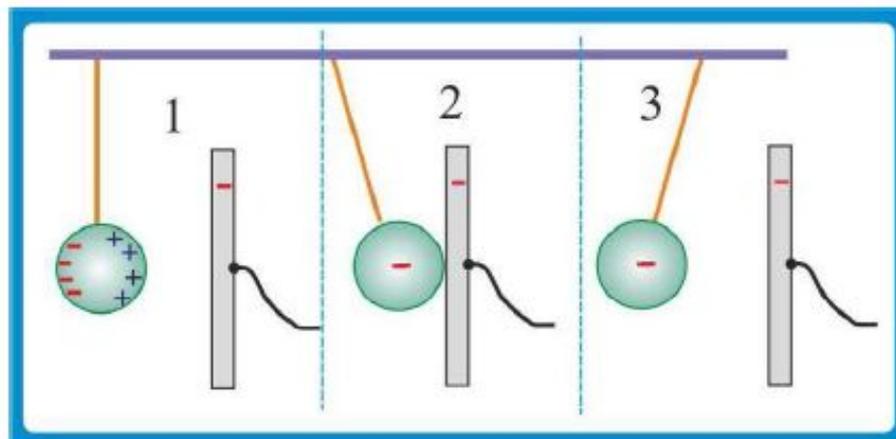
4. При приближении и удалении рамки к проводнику с током ток в рамке будет иметь различные направления, потому что в первом случае магнитный поток нарастает во времени, а во втором случае убывает, что учтено в законе электромагнитной индукции Майкла Фарадея:

$$\epsilon_1 = -\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t} = -\frac{\Delta B}{\Delta t} S;$$

28. Маленький лёгкий незаряженный металлический шарик подвесили на непроводящей нити вблизи металлической пластины, которую подключили к отрицательному полюсу источника тока. Опишите движение шарика и объясните его, указав, какими физическими явлениями и закономерностями оно вызвано.



### Решение



1. На поверхности металлического шарика (много свободных электронов), в электрическом поле произойдёт перераспределение зарядов, таким образом, что на фронтальной поверхности, расположенной ближе к заряженной пластине будет преобладать положительный заряд, на тыльной стороне – отрицательный.

2. Под действием силы Кулона шарик притянется к пластине вплоть до соприкосновения и станет, заряжен отрицательно.

3. Далее шарик отклонится в сторону от пластины до положения когда сила Кулона станет равна геометрической сумме силы натяжения нити и силы тяжести. Далее шарик будет висеть в таком положении до того времени пока его заряд не "стечёт" вследствие влажности воздуха. И процесс повторится.

28. Электрическая цепь состоит из аккумуляторной батареи, к которой последовательно подключены ключ, резистор сопротивлением 2 Ом, амперметр, показывающий силу тока 0,8 А, реостат, сопротивление которого меняется от 0 до 8 Ом. Параллельно аккумулятору подключён вольтметр, показывающий напряжение 4 В. Составьте принципиальную электрическую схему этой цепи. Объясните, как изменятся (уменьшатся или увеличатся) сила тока в цепи и напряжение на аккумуляторе при уменьшении сопротивления реостата до минимального значения. Укажите законы, которые вы применили.

### Решение

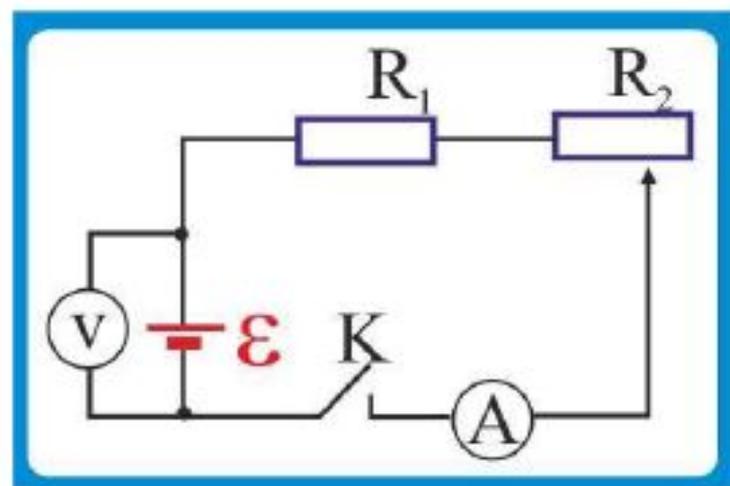
1. Сила тока в цепи:

$$I = \frac{\varepsilon}{r + R_1 + R_2}; \quad R_2 \downarrow; I \uparrow;$$

в соответствии с законом Ома для полной цепи, при уменьшении сопротивления реостата  $R_2$  сила тока в цепи будет увеличиваться.

2. Показания вольтметра:

$$U_V = Ir = \varepsilon - I(R_1 + R_2); \quad R_2 \downarrow; U_V \uparrow;$$



## Материалы для подготовки к решению качественных задач

1. Тульчинский М.Е. Качественные задачи по физике для средней школы (любое издание).
2. Марон А.Е., Марон Е.А. Качественные задачи по физике: 7-9 классы. – М.: просвещение, 2006.
3. Новиков С.М. Электромагнитная индукция: Качественные (логические) задачи. – М.: Чистые пруды, 2007.
4. Меледин Г.В. Физика в задачах – М.: Наука, 1994. - Гл. VI. Задачи-демонстрации.
5. Фурсов В.К. Задачи-вопросы по физике.- М.: Просвещение, 1977.
6. Гельфгат И.М., Генденштейн Л.Э., Кирик Л.А. 1001 задача по физике (любое издание).
7. Единый государственный экзамен: Контрольно-измерительные материалы; Федеральный банк тестовых заданий (открытый сегмент) [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.fipi.ru/view/sections/91/docs/>
8. Обучающая система Дмитрия Гуцина [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://phys.reshuege.ru/test?theme=196&ttest=true>

Я.И.Перельман, П.Л.Капица, В.Н.Ланге, Дж. Уокер, К.Суорц  
Журналы «Квант», «Физика для школьников»  
...и многое-многое другое...

