

The background of the entire page is a dark blue field filled with intricate, glowing patterns of light. These patterns consist of numerous thin, overlapping lines and curves in shades of light blue and white, creating a sense of dynamic movement and energy, reminiscent of particle tracks or light trails in a dark space.

Камчатский государственный технический университет

А. Исаков

**Физика**  
**ЕГЭ - 2016**  
Часть -3

Петропавловск-Камчатский 2015

**Камчатский государственный технический университет**

**А. Исаков**

# **Физика**

**Решение задач ЕГЭ – 2016**  
**Часть 3**

---

**Петропавловск-Камчатский**  
**2015**

УДК 50(075.8)  
ББК 20я73  
И85

Рецензент  
доктор физико-математических наук,  
профессор Дальневосточного Федерального университета  
Стоценко Л.Г.

**Исаков Александр Яковлевич**

И85      Физика. Решение задач ЕГЭ – 2016. Часть 3: КамчатГТУ, 2015. – 296 с.

Приведены решения 20 вариантов типовых тестовых заданий, составленных Кабардиным О.Ф., Кабардиной С.И., Орловым В.А., Громцевой О.И. Бобошкиной С.Б.. По мнению составителей, задания являются совокупностью подлинных задач, составляющих современный банк задач по физике для ЕГЭ. Приведенные материалы соответствуют в полной мере объёму и тематике ЕГЭ по физике в 2016 г., отражая все внесённые идеологами ЕГЭ актуальные изменения в сравнении с предыдущими годами.

Большинство задач снабжены подробными решениями с анализом применяемых законов и определений, для стандартных задач самого начального уровня приведены только схемы решений

Сборник предназначен, прежде всего, для школьников старших классов, намеревающихся овладеть методиками решения задач в рамках современного ЕГЭ.

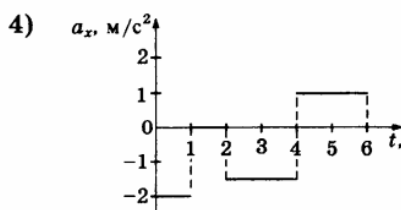
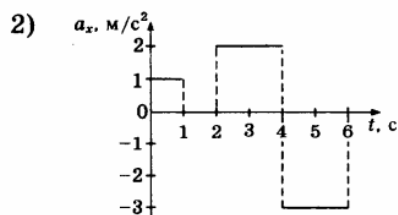
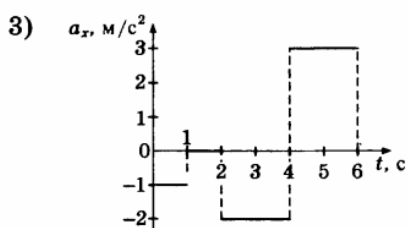
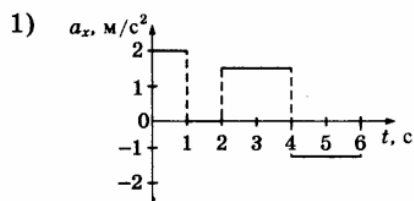
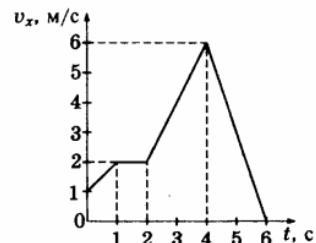
## Оглавление

|                  |     |
|------------------|-----|
| Вариант 1 .....  | 4   |
| Вариант 2 .....  | 23  |
| Вариант 3 .....  | 37  |
| Вариант 4 .....  | 52  |
| Вариант 5 .....  | 71  |
| Вариант 6 .....  | 85  |
| Вариант 7 .....  | 100 |
| Вариант 8 .....  | 118 |
| Вариант 9 .....  | 132 |
| Вариант 10 ..... | 147 |
| Вариант 11 ..... | 162 |
| Вариант 12 ..... | 176 |
| Вариант 13 ..... | 192 |
| Вариант 14 ..... | 207 |
| Вариант 15 ..... | 223 |
| Вариант 16 ..... | 236 |
| Вариант 17 ..... | 249 |
| Вариант 18 ..... | 260 |
| Вариант 19 ..... | 272 |
| Вариант 20 ..... | 286 |

## Вариант 1

1. На рисунке представлен график зависимости проекции  $v_x$  скорости автомобиля от времени  $t$ .

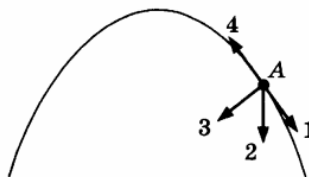
Проекция ускорения автомобиля  $a_x$  в интервале от момента времени 4 с до момента времени 6 с представлена верно графиком



### Решение

$$a_x = \frac{\Delta v_x}{\Delta t} = \frac{v_{x(6)} - v_{x(4)}}{\Delta t} = \frac{0 - 6}{2} = -3 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}; \quad \mapsto (2);$$

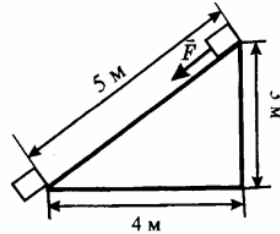
2. На рисунке показана траектория движения тела, брошенного под некоторым углом к горизонтальной поверхности Земли. В точке А этой траектории направление вектора скорости обозначено стрелкой 1; траектория движения тела и все векторы лежат в плоскости, перпендикулярной поверхности Земли. Сопротивление воздуха пренебрежимо мало. Какое направление имеет вектор ускорения тела в системе отсчёта Земля? В ответе укажите номер соответствующей стрелки.



### Решение

1. Тело, брошенное под углом к горизонту, вблизи поверхности земли движется с ускорением свободного падения  $\vec{g}$ , направленным вертикально вниз  $\mapsto (2)$ .

3. Тело массой 3 кг под действием силы  $\vec{F}$  перемещается вниз по наклонной плоскости на расстояние  $l = 5$  м, расстояние тела от поверхности Земли при этом уменьшается на  $h = 3$  м. Вектор силы направлен параллельно наклонной плоскости. Сила  $\vec{F}$  совершила при этом перемещении работу 100 Дж. Ускорение свободного падения примите равным  $10 \text{ м/с}^2$ , коэффициент трения  $\mu = 0,5$ . Чему равен модуль силы  $\vec{F}$ ?



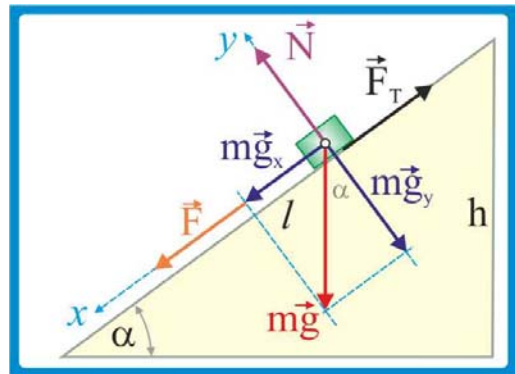
### Решение

1. Элементарная работа силы:

$$\delta A = F \cdot r \cdot \cos(\vec{F}; \vec{r}); \quad (\vec{F}; \vec{r}) = 0;$$

2. Работа силы на конечном перемещении  $l$  при  $\cos(\vec{F}; \vec{r}) = 1$ :

$$A = Fl; \quad \Rightarrow \quad F = \frac{A}{l} = 20 \text{ Н};$$

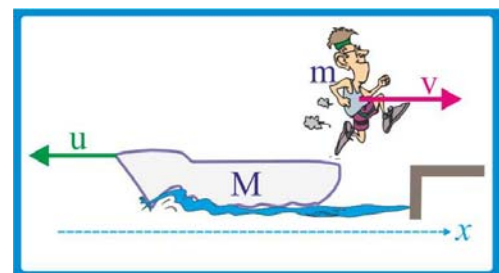


4. Человек массой 50 кг прыгает из неподвижной лодки массой 100 кг на берег с горизонтальной скоростью 3 м/с относительно лодки. С какой скоростью лодка движется относительно земли после прыжка человека? Сопротивление воды движению лодки будем считать пренебрежимо малым.

### Решение

1. В соответствии с законом сохранения импульса в проекции на направление скорости, прыгнувшего человека:

$$mv - Mu = 0; \quad \Rightarrow \quad u = \frac{mv}{M} = 1,5 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$



5. Среднее расстояние между центрами Луны и Земли примерно 60 земных радиусов. Во сколько раз уменьшится сила гравитационного взаимодействия предмета массой 1 кг и Земли, если сначала предмет находится на поверхности Земли, а затем на лунной орбите?

### Решение

$$(mg)_3 = G \frac{mM}{R^2}; \quad (mg)_{\text{л}} = G \frac{mM}{60^2 R^2}; \quad \Rightarrow \quad \frac{(mM)_3}{(mM)_{\text{л}}} = 3600.$$

6. Гири массой 2 кг подвешена на тонком шнуре длиной 5 м. Если её отклонить от положения равновесия, а затем отпустить, она совершает свободные колебания, как математический маятник. Что произойдёт с периодом колебаний гири, максимальной потенциальной энергией гири и частотой её колебаний, если начальное отклонение гири будет изменено с 10 см на 20 см?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличится 2) уменьшится 3) не изменится

### Решение

1. Период малых собственных гармонических колебаний математического маятника:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}; \quad T \neq f(A); \quad \mapsto (3);$$

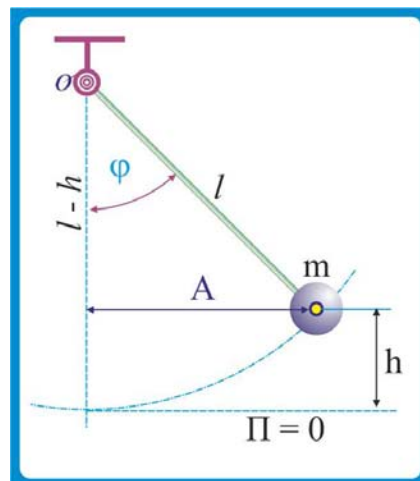
2. Частота собственных малых колебаний математического маятника:

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{\ell}}; \quad \nu \neq f(A); \quad \mapsto (3);$$

3. Потенциальная энергия массы:

$$\Pi = mgh = mg\ell(1 - \cos\varphi); \quad \Rightarrow \quad \Pi = f(A);$$

$$A_2 > A_1; \quad \Rightarrow \quad \Pi_2 > \Pi_1; \quad \mapsto (1);$$

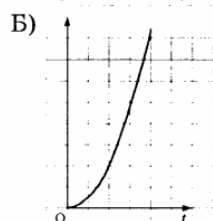
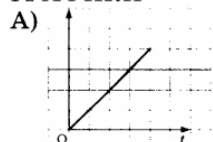


|  |   |
|--|---|
| Период колебаний                                 | 3 |
| Частота колебаний                                | 3 |
| Максимальное значение потенциальной энергии гири | 1 |

7. В некотором физическом эксперименте в течение нескольких секунд было зафиксировано движение тела из состояния покоя. По данным эксперимента были построены графики (А и Б) зависимости от времени двух физических величин.

Каким физическим величинам, перечисленным в правом столбце, соответствуют графики А и Б?

#### ГРАФИКИ



#### ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- 1) проекция скорости тела на горизонтальную ось  $Ox$
- 2) проекция ускорения тела на горизонтальную ось  $Ox$
- 3) путь, пройденный телом
- 4) потенциальная энергия тела

### Решение

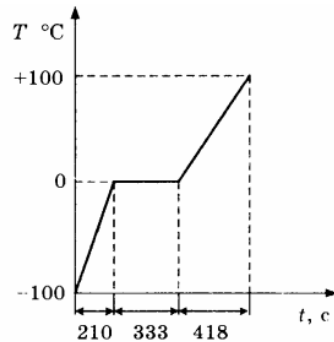
А) Зависимость вида  $y = kx$ , демонстрирует поведение скорости тела в функции времени, т.е. зависимость проекции скорости тела от времени:

$$v_x = at;$$

Б) Путь, пройденный телом:

$$x = \frac{at^2}{2}; \quad x \sim t^2;$$

8. На графике представлено, как изменялась с течением времени температура 0,1 кг воды, находившейся в начальный момент в кристаллическом состоянии при температуре  $-100^\circ\text{C}$ , при постоянной мощности теплопередачи 100 Вт.



По графику на рисунке определите, в каких интервалах времени внутренняя энергия воды повышалась.

- 1) только в интервалах 210 с и 418 с
- 2) только в интервалах 333 с и 418 с
- 3) только в интервалах 210 с и 333 с
- 4) в процессе всего эксперимента 961 с

### Решение

1. При плавлении льда  $0 - 210$  с и  $333 - 418$  внутренняя энергия растёт т.к.:

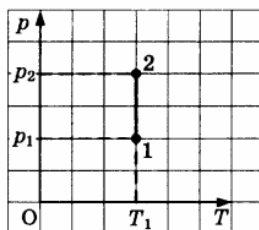
$$\Delta U = \frac{i}{2} \nu R \Delta T; \quad \Delta T > 0; \Rightarrow \Delta U \uparrow;$$

2. Изменение внутренней энергии воды при переходе воды из твёрдого состояния в жидкое будет иметь положительный знак, потому что число степеней свободы молекул увеличивается. В твёрдом состоянии степени свободы колебательные, в жидком состоянии появляются поступательные и вращательные степени свободы

$$U_T = \frac{i_T}{3} \nu R T; \quad U_J = \frac{i_J}{3} \nu R T; \quad i_J > i_T; \quad U_J > U_T;$$

3. Внутренняя энергия воды, таким образом, за всё время измерения будет увеличиваться.

9. Идеальный газ в некотором процессе, показанном на графике, совершил работу 300 Дж.





Ниже приведены характеристики данного процесса.

- 1) Процесс изотермический, газу передано количество теплоты 300 Дж, изменение внутренней энергии  $\Delta U = 0$
  - 2) Процесс изотермический, газу передано количество теплоты 300 Дж, изменение внутренней энергии  $\Delta U = 300$  Дж
  - 3) Процесс изобарный, газу передано количество теплоты 300 Дж, изменение внутренней энергии  $\Delta U = 0$
  - 4) Процесс изобарный, газу передано количество теплоты 300 Дж, изменение внутренней энергии  $\Delta U = 300$  Дж
- Какое из приведённых выше утверждений верно?

### Решение

1. Работа идеального газа в изотермическом процессе:

$$A = mRT \ln \frac{p_1}{p_2}; \quad p_2 > p_1; \quad A < 0; \text{ газ получает теплоту;}$$

2. Изменение внутренней энергии:

$$\Delta U = \frac{3}{2} m R \Delta T; \quad \Delta T = 0; \quad \Rightarrow \quad \Delta U = 0;$$

- 10.** В закрытом помещении при температуре воздуха 40 °С конденсация паров воды на стенке стакана с водой начинается при охлаждении воды в стакане до 16 °С. Чему будет равна точка росы в этом помещении, если весь воздух помещения охладить до 20 °С?

### Решение

1. Точка росы – это температура, до которой должен охладиться воздух, чтобы содержащийся в нём пар достиг состояния насыщения и начал конденсироваться в росу. Этот параметр зависит от давления воздуха и содержания в нём влаги. При уменьшении температуры окружающей среды точка росы не изменится.

2. Чем ниже влажность, тем точка росы ниже фактической температуры. Чем выше влажность, тем точка росы выше и ближе к фактической температуре. Если относительная влажность составляет 100 %, то точка росы совпадает с фактической температурой.

3. Например, в ванной комнате, если включен душ (влажность близка к 100%), всегда зеркало «запотевает», и наоборот, если влажность равна нулю, то конденсат никогда не выпадет.

- 11.** При очень медленном движении поршня в цилиндре закрытого воздушного насоса объём воздуха уменьшился. Установите соответствие между физическими величинами, перечисленными в первом столбце, и их изменениями во втором столбце.

| ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ   | ИХ ИЗМЕНЕНИЯ    |
|-----------------------|-----------------|
| А) давление           | 1) увеличение   |
| Б) температура        | 2) уменьшение   |
| В) внутренняя энергия | 3) неизменность |

## Решение

1. При достаточно медленном изменении объёма возрастание температуры будет, практически незаметным, потому что температура будет "успевать" выравняться за счёт теплообмена с внешней средой (стенками поршня). Таким образом, процесс изменения состояния воздуха можно считать псевдо изотермическим, что будет сопровождаться увеличением давления:

$$\left. \begin{array}{l} p_1 V_1 \approx \nu RT; \\ p_2 V_2 \approx \nu RT; \end{array} \right\} \Rightarrow p_2 \approx \frac{p_1 V_1}{V_2}; \Rightarrow p_2 > p_1; \mapsto (1);$$

изменение температуры:

$$T_1 \approx T_2; \quad T = \text{const}; \quad \mapsto (3);$$

изменение внутренней энергии:

$$\Delta U = \frac{i}{2} \nu R \Delta T; \quad \Delta T \approx \text{const}; \quad \Rightarrow \Delta U = 0; \quad \mapsto (3);$$

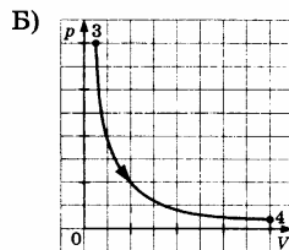
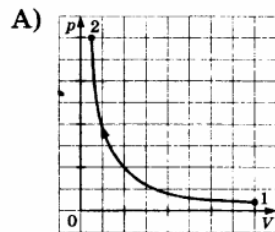
|   |   |   |
|---|---|---|
| А | Б | В |
| 1 | 3 | 3 |

- 12.** Графики А и Б процессов, происходящих в изолированной термодинамической системе, построены в координатах  $p-V$ .

Установите соответствие между графиками и утверждениями, характеризующими изображённые на графиках процессы.

К каждой позиции левого столбца подберите соответствующую позицию правого столбца. Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

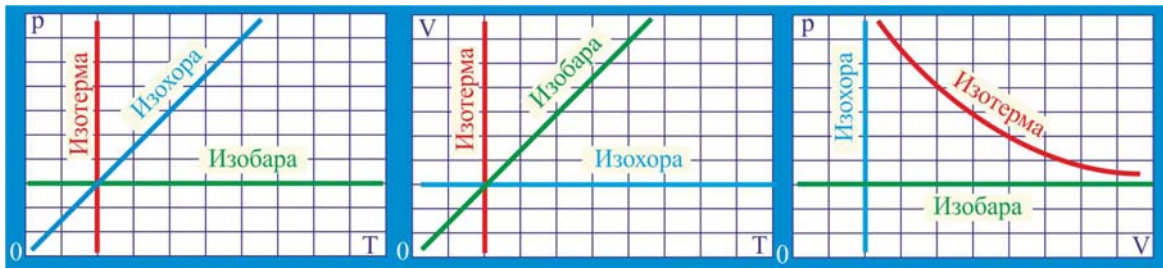
### ГРАФИКИ



### УТВЕРЖДЕНИЯ

- 1) В процессе термодинамического расширения газ совершает работу, его внутренняя энергия не изменяется
- 2) В процессе термодинамического расширения газ совершает работу, его внутренняя энергия уменьшается
- 3) В процессе термодинамического сжатия внешние силы совершают над газом работу, его внутренняя энергия не изменяется
- 4) В процессе термодинамического сжатия внешние силы совершают над газом работу, его внутренняя энергия увеличивается

### Решение



1. Заданы два процесса: изотермического сжатия и изотермического расширения.

А) При изотермическом сжатии внешними силами совершается работа над газом, при этом внутренняя энергия газа не изменяется  $\rightarrow$  (3).

Б) При изотермическом расширении газа он совершает работу, а внутренняя энергия вследствие постоянства температуры остаётся постоянной  $\rightarrow$  (1)..

|   |   |
|---|---|
| А | Б |
| 3 | 1 |

**13.** Разноимённые электрические заряды притягиваются друг к другу вследствие того, что

- 1) один электрический заряд способен мгновенно действовать на любой другой электрический заряд на любом расстоянии
- 2) вокруг каждого электрического заряда существует электрическое поле, способное действовать на электрические поля других зарядов
- 3) вокруг каждого электрического заряда существует электрическое поле, способное действовать на другие электрические заряды
- 4) существует гравитационное взаимодействие

Какое из приведённых выше утверждений верно?

### Решение

1. Как только обнаружилось, что заряженные тела могут воздействовать на другие без непосредственного контакта, сразу возник законный вопрос. Как? Каков механизм передачи силового воздействия? Что является причиной возникновения механических сил? Ведь в своих опытах Кулон посредством крутильных весов регистрировал именно механический момент хорошо изученных ньютоновских сил. Одновременно возникли две гипотезы.

2. В соответствии с гипотезой дальнего действия, телам приписывалось свойство действовать на другие тела на расстоянии, причём, предполагалось, что это действие передаётся мгновенно и без посредничества каких-либо третьих сред. Согласно этой гипотезе, заряженное тело никаких изменений в окружающем пространстве не производит.

2. Гипотеза ближнего действия предполагала наличие между телами некой субстанции порождаемой электрическими зарядами и обеспечивающей силовое воздействие на другие тела и заряды. Рассуждения сторонников теории ближнего действия строились на механических аналогиях. Уже достаточно полно были исследованы свойства упругих

волн, для распространения которых непременно нужна была среда. Упругие волны тоже обладают энергией и могут воздействовать на тела, расположенные на значительном расстоянии от источника колебаний. Было логично, в этой связи, предположить, что электрическое действие передаётся с конечной скоростью и на конечные расстояния. Из таких рассуждений следовало, что **всякое заряженное тело в отсутствие остальных должно изменять свойства окружающего его пространства.**

3. Современная официальная наука исповедует только идею близкодействия, в соответствии с которой **вокруг электрических зарядов пространство заполнено особой субстанцией, неким физическим агентом, в котором проявляются механические силы, вызванные взаимодействием этого агента и вносимых в него тел или зарядов. Такая субстанция получила название – электрическое поле.** Появление в некоей точке пространства электрического заряда сопровождается возникновением электрического поля.

4. Движущиеся заряды генерируют электромагнитное поле, т.е. комбинацию электрической и магнитной составляющей. Как выяснилось при исследовании электромагнитных полей, они заключают в себе и переносят энергию подобно упругим волнам. Электромагнитные поля, таким образом, представляют собой абстрактное понятие, предназначенное для объяснения электрических и магнитных взаимодействий. Электромагнитные поля, являющиеся объективной материальной реальностью, представляются в виде особой формы материи обладающей определённым набором физических свойств и характеристик.

5. Количественно электрическое поле заряда  $q$  можно охарактеризовать, внося в него другой пробный заряд  $q_0$  и измеряя силу взаимодействия  $F$  в разных точках пространства. Сила этого взаимодействия, следуя закону Кулона, будет пропорциональна произведению модулей зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними

$$\vec{F} = k \frac{|q_1||q_0|}{r^3} \vec{r}.$$

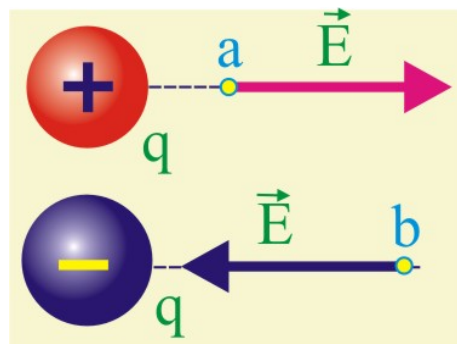
6. Такая характеристика электрического поля не будет универсальной, потому, что сила Кулона в каждой точке пространства наряду с исходным зарядом будет зависеть от величины пробного заряда  $q_0$ . От такого неудобства можно избавиться, если в качестве характеристики поля рассматривать не величину силы, а отношение этой силы к пробному заряду

$$\frac{\vec{F}}{|q_0|} \equiv \vec{E} = k \frac{|q_1|}{r^3} \vec{r}.$$

7. Векторная величина  $\vec{E}$  называется напряжённостью электрического поля. Для изолированного точечного заряда, расположенного в вакууме или сухом воздухе, напряжённость электрического поля определяется непосредственно из уравнения закона Кулона

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q|}{r^3} \vec{r}.$$

8. Как следует из уравнения, если поле создано положительным зарядом (напомним, что это понятие условное, принятое по общему соглашению), то вектор напряжённости электрического поля направлен от заряда во внешнее пространство по радиус-вектору, соединяющему заряд и данную точку пространства. В случае отрицательного заряда вектор



напряжённости так же направлен по радиус-вектору, но из данной точки в сторону заряда.

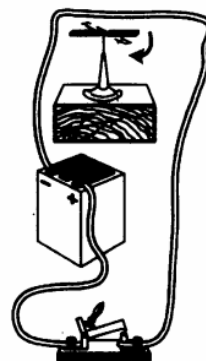
9. Таким образом, если известна напряжённость электрического поля в какой-либо точке пространства, окружающего изолированный заряд, то можно однозначно определить величину и направление силы Кулона, которая возникнет при помещении в эту точку заряда  $q$ :

$$\vec{F} = q\vec{E},$$

таким образом, верным является утверждение  $\mapsto$  (3).

14. В опыте Эрстеда (см. рис.) было обнаружено, что

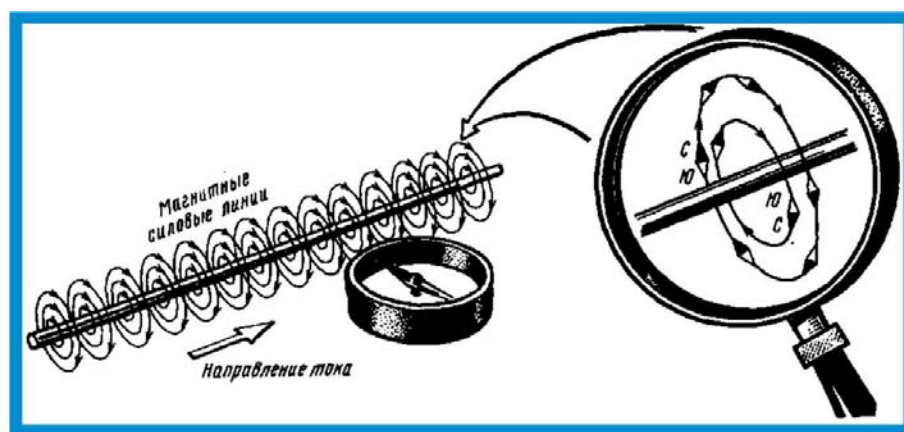
- 1) электрический ток в проводнике вызывает поворот магнитной стрелки, расположенной вблизи проводника
- 2) магнитная стрелка, расположенная вблизи проводника, действует на электрический ток в проводнике
- 3) расположенная вблизи проводника магнитная стрелка и электрический ток в проводнике взаимодействуют силами взаимного притяжения
- 4) расположенная вблизи проводника магнитная стрелка и электрический ток в проводнике взаимодействуют силами взаимного отталкивания



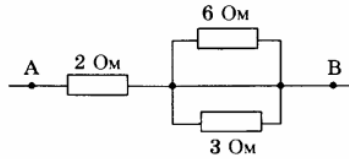
Какое из приведённых выше утверждений верно?

### Решение

1. Электрический ток в проводнике возбуждает в окружающем пространстве магнитное поле, которое взаимодействуя с магнитным полем стрелки, обеспечивает возникновение механического момента относительно оси вращения стрелки, происходит её поворот. Электрический ток является причиной поворота стрелки  $\mapsto$  (1).



15. Чему равно напряжение на участке цепи АВ (см. рис.), если сила тока через резистор сопротивлением 2 Ом равна 2 А?



**Решение**

1. Параллельные резисторы соединены перемычкой, поэтому сопротивление участка цепи АВ равно 2 Ом:

$$U_{AB} = U_R = IR = 4\text{В};$$

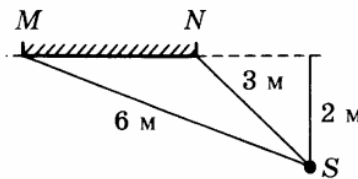
2. Если бы перемычки не было, то сопротивление участка цепи составило бы:

$$R_{AB} = 2 + \frac{6 \cdot 3}{6 + 3} = 4\text{Ом};$$

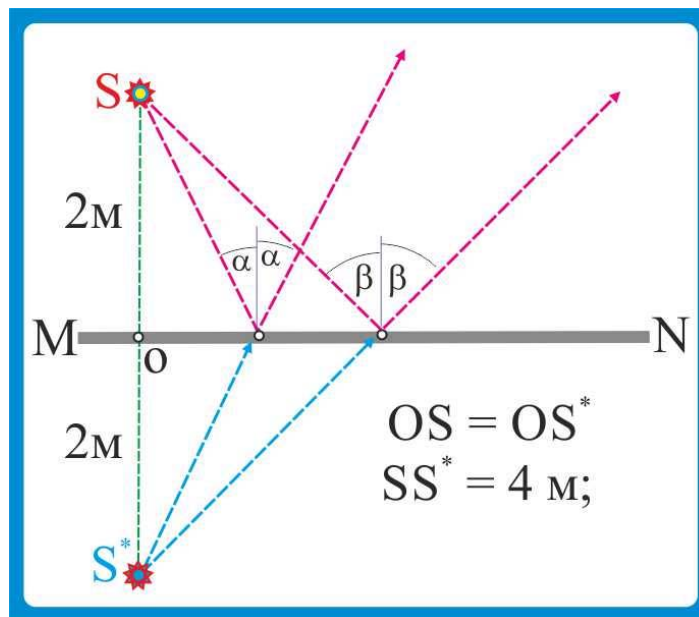
и падение напряжения:

$$U_{AB} = IR_{AB} = 8\text{В};$$

16. Расположение плоского зеркала MN и источника света S представлено на рисунке. Каково расстояние от источника S до его изображения в зеркале MN?



**Решение**

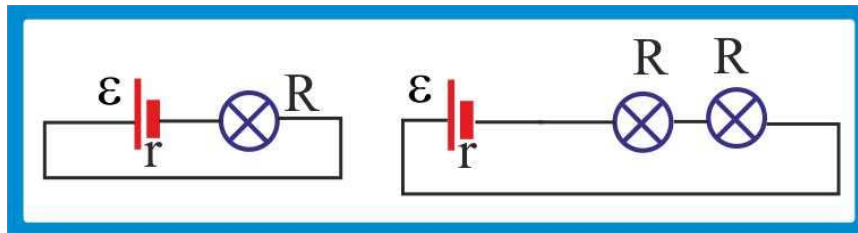


17. К источнику постоянного тока была подключена одна электрическая лампа, электрическое сопротивление которой равно внутреннему сопротивлению источника тока. Что произойдёт с силой тока в цепи, напряжением на выходе источника тока и мощностью тока на внешней цепи при подключении последовательно с этой лампой второй такой же лампы?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличение
- 2) уменьшение
- 3) неизменность

### Решение



1. Сила тока в цепи:

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{\varepsilon}{r+r} = \frac{\varepsilon}{2r}; \\ I_2 &= \frac{\varepsilon}{r+2r} = \frac{\varepsilon}{3r}; \end{aligned} \right\} \Rightarrow I_2 < I_1; \mapsto (2);$$

2. Напряжение на клеммах аккумулятора:

$$\left. \begin{aligned} U_{r(1)} &= \varepsilon - I_1 R = \varepsilon - \frac{\varepsilon}{2} = \frac{\varepsilon}{2}; \\ U_{r(2)} &= \varepsilon - I_2 2R = \varepsilon - \frac{\varepsilon}{3} = \frac{2}{3}\varepsilon; \end{aligned} \right\} \Rightarrow U_{r(2)} > U_{r(1)}; \mapsto (10);$$

3. Мощность на внешней нагрузке:

$$\left. \begin{aligned} N_1 &= I_1^2 R = \frac{\varepsilon^2 r}{4r^2} = \frac{\varepsilon^2}{4r}; \\ N_2 &= I_2^2 2R = \frac{\varepsilon^2 2r}{9r^2} = \frac{2\varepsilon^2}{9r}; \end{aligned} \right\} 0,25 > 0,22; \Rightarrow N_1 < N_2; \mapsto (2);$$

| Сила тока | Напряжение на клеммах аккумулятора | Мощность во внешней цепи |
|-----------|------------------------------------|--------------------------|
| 2         | 1                                  | 2                        |

18. Материальная точка движется равномерно, прямолинейно и сонаправленно с осью координат  $OX$ . Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать.

К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

**ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ**

- А) координата точки  
 Б) путь, пройденный за время  $t$   
 со скоростью  $v$

**ФОРМУЛЫ**

- 1)  $s = vt$   
 2)  $s = v_0t + \frac{at^2}{2}$   
 3)  $x = x_0 - vt$   
 4)  $x = x_0 + vt$

**Решение**

А) Вектор скорости совпадает по направлению с направлением оси ОХ, поэтому материальная точка удаляется от начала системы отсчёта:

$$x = x_0 + vt; \quad \mapsto \quad (4);$$

Б) Путь, пройденный материальной точкой со скоростью  $v$  за время  $t$ :

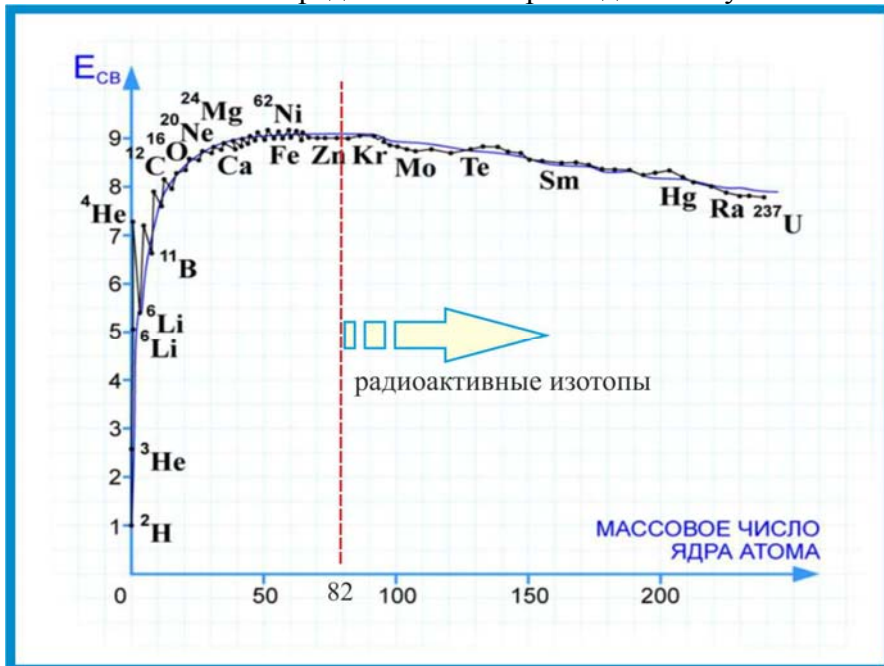
$$s = vt; \quad \mapsto \quad (1);$$

**19.** Может ли ядро атома одного химического элемента самопроизвольно превратиться в ядро атома другого химического элемента?

- 1) может любое ядро
- 2) не может никакое ядро
- 3) могут только ядра атомов радиоактивных изотопов
- 4) могут только ядра атомов, стоящие за ураном в таблице Д.И. Менделеева

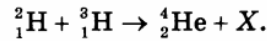
**Решение**

**1. Радиоактивными** – являются изотопы любого элемента периодической системы Д. И. Менделеева, атомы которых имеют неустойчивые ядра и переходят в устойчивое состояние путем радиоактивного распада, сопровождающегося излучением элементарных частиц и высокоинтенсивных электромагнитных волн. У элементов с порядковым номером больше 82 все изотопы радиоактивны и распадаются путем  $\alpha$ - или  $\beta$ -распада.





20. При высоких температурах возможен синтез ядер гелия из ядер изотопов водорода:



Какая частица  $X$  освобождается при осуществлении такой реакции?

- 1) нейтрон                                      3) протон  
2) нейтрино                                     4) электрон

**Решение**

$$A_X = 3 + 2 - 4 = 1; \quad Z_X = 1 + 1 - 2 = 0; \quad \Rightarrow \quad {}^1_0X \equiv {}^1_0n; \quad \rightarrow \quad (1);$$


---

21. При освещении металлической пластины монохроматическим светом с частотой  $\nu$  происходит фотоэлектрический эффект. Максимальная кинетическая энергия освобождаемых электронов равна 2 эВ. Чему равно значение максимальной кинетической энергии фотоэлектронов при освещении этой пластины монохроматическим светом с частотой  $2\nu$ ?

**Решение**

$$\left. \begin{aligned} h\nu &= K_{\max(1)} + A; \\ h2\nu &= K_{\max(2)} + A; \end{aligned} \right\} \begin{aligned} K_{\max(1)} &= h\nu - A; \\ K_{\max(2)} &= 2h\nu - A \end{aligned} \left\} \begin{aligned} 2\varepsilon\text{В} + A &= h\nu; & K_{\max(2)} &= 2(2 + A) - A; \\ K_{\max(2)} &= 4 + 2A - A = 4 + A; & K_{\max(2)} &> 4\varepsilon\text{В}; \end{aligned}$$

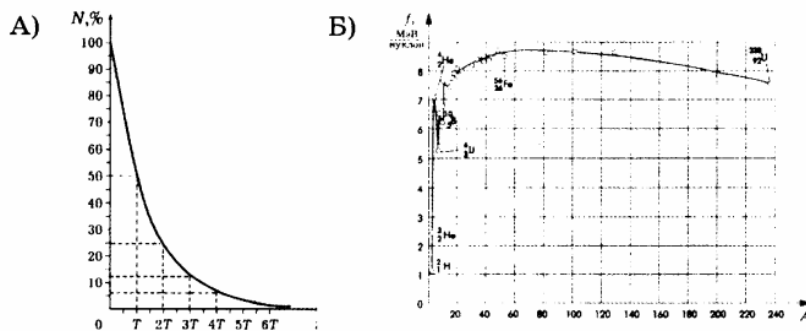

---

22. На графиках А и Б показаны зависимости одних физических величин от других физических величин.

Установите соответствие между графиками А и Б и перечисленными ниже видами зависимости.

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

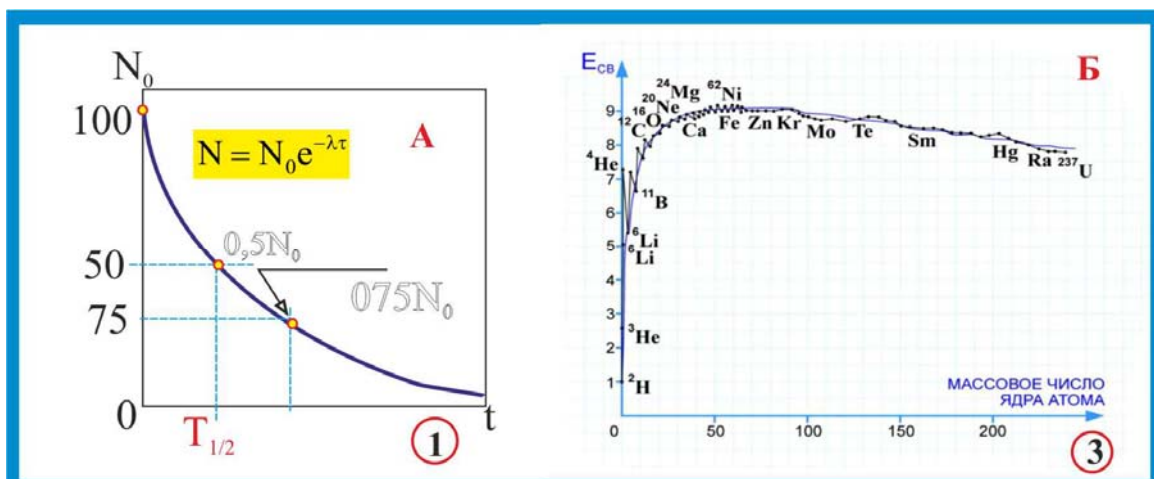
**ГРАФИКИ**



**ВИДЫ ЗАВИСИМОСТИ**

- 1) зависимость числа радиоактивных ядер от времени
- 2) зависимость напряжения от относительного удлинения
- 3) зависимость удельной энергии связи нуклонов в атомных ядрах от массового числа ядра
- 4) зависимость индукции магнитного поля в веществе от индукции намагничивающего поля.

### Решение



23. В измерительный стакан, показанный на рисунке, учитель налил  $200 \text{ см}^3$  воды. Учитывая цену деления стакана, четыре ученика записали результат измерения. Какой ответ верный?

- 1)  $200 \text{ см}^3$                                       2)  $(200 \pm 50) \text{ см}^3$   
4)  $(200 \pm 5) \text{ см}^3$                                 3)  $(200 \pm 10) \text{ см}^3$



### Решение

1. Цена большого деления мерного стакана  $50 \text{ см}^3$ , цена среднего деления –  $10 \text{ см}^3$ , цена малого деления шкалы –  $5 \text{ см}^3$ , следовательно, верным является ответ:

$$V \approx (200 \pm 5) \text{ см}^3;$$

24. В таблице представлены результаты экспериментального исследования зависимости тока от напряжения на концах нити электрической лампы. По результатам измерений был построен график зависимости  $I(U)$  — см. рис. 1. Поскольку график  $I(U)$  не показал прямой пропорциональной зависимости тока от напряжения, были вычислены значения электрического сопротивления при разных значениях силы тока и построен график зависимости  $R(I)$  — см. рис. 2.

| $U, \text{ В}$ | $\Delta U, \text{ В}$ | $I, \text{ мА}$ | $\Delta I, \text{ мА}$ |
|----------------|-----------------------|-----------------|------------------------|
| 0,111          | 0,003                 | 10              | 3                      |
| 0,242          | 0,003                 | 20              | 3                      |
| 0,381          | 0,004                 | 30              | 3                      |
| 0,788          | 0,006                 | 40              | 3                      |
| 1,242          | 0,008                 | 50              | 3                      |

Анализируя все приведённые данные, ответьте на вопрос: что произошло с лампой в данном эксперименте? Выберите утверждение, соответствующее результатам экспериментального исследования.

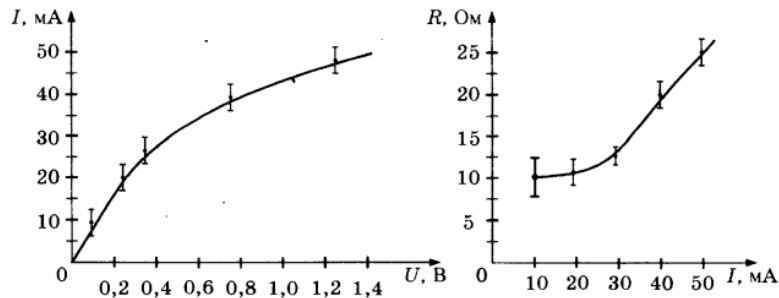


Рис. 1

Рис. 2

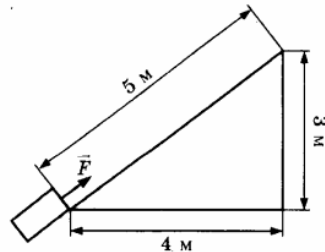
- 1) Нить лампы нагревалась протекающим током, повышение температуры металла нити привело к уменьшению его удельного электрического сопротивления и возрастанию сопротивления  $R$  нити лампы.
- 2) Нить лампы нагревалась протекающим током, повышение температуры металла нити привело к увеличению его удельного электрического сопротивления и возрастанию сопротивления  $R$  нити лампы.
- 3) Нелинейность зависимостей  $I(U)$  и  $R(I)$  объясняется слишком большой погрешностью измерений напряжения.
- 4) Полученные результаты противоречат закону Ома для участка цепи.

### Решение

1. Нелинейный характер вольтамперной характеристики нити накала лампы объясняется наличием температурной зависимости сопротивления. С ростом температуры удельное сопротивление металла (например, вольфрама) увеличивается:

$$R_t = R_0(1 + \alpha t) \Rightarrow I = \frac{U}{R_0(1 + \alpha t)}; \quad \mapsto \quad (2);$$

25. Тело массой 2 кг под действием силы  $\vec{F}$  перемещается вверх на наклонной плоскости на расстояние  $l = 5$  м, расстояние тела от поверхности Земли при этом увеличивается на  $h = 3$  м. Сила  $\vec{F}$  равна 30 Н. Какую работу при этом перемещении совершила сила  $\vec{F}$ ? Ускорение свободного падения примите равным  $10 \text{ м/с}^2$ , коэффициент трения  $\mu = 0,5$ .



### Решение

$$A = F\ell = 150 \text{ Дж};$$

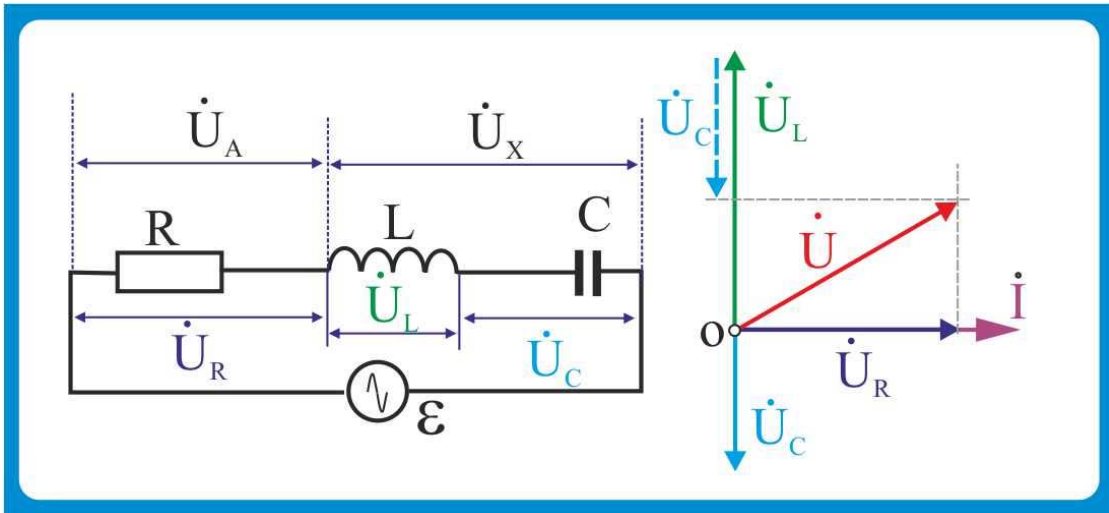
26. Идеальный газ совершил работу 300 Дж, и при этом внутренняя энергия газа увеличилась на 300 Дж. Какое количество теплоты получил газ в этом процессе?

**Решение**

$$Q = A + \Delta U; \quad Q = 600 \text{ Дж};$$

27. При последовательном включении активного сопротивления, катушки и конденсатора в цепь переменного тока амплитуда колебаний напряжения на активном сопротивлении оказалась 3 В, на конденсаторе 8 В, на катушке 12 В. Считая конденсатор и катушку идеальными, определите амплитуду колебаний полного напряжения на концах последовательной цепи.

**Решение**



$$\dot{U}_X = \dot{U}_L - \dot{U}_C = 4 \text{ В}; \quad \dot{U} = \sqrt{\dot{U}_A^2 + \dot{U}_X^2} = \sqrt{3^2 + 4^2} = 5 \text{ В};$$

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**

|                             |     |     |      |      |      |       |      |      |
|-----------------------------|-----|-----|------|------|------|-------|------|------|
| $t, \text{ }^\circ\text{C}$ | 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.

- 29.** В аттракционе человек массой 70 кг движется на тележке по рельсам и совершает «мёртвую петлю» в вертикальной плоскости. С какой скоростью движется тележка в верхней точке круговой траектории радиусом 5 м, если в этой точке сила давления человека на сиденье тележки равна 700 Н? Ускорение свободного падения принять равным  $10 \text{ м/с}^2$ .

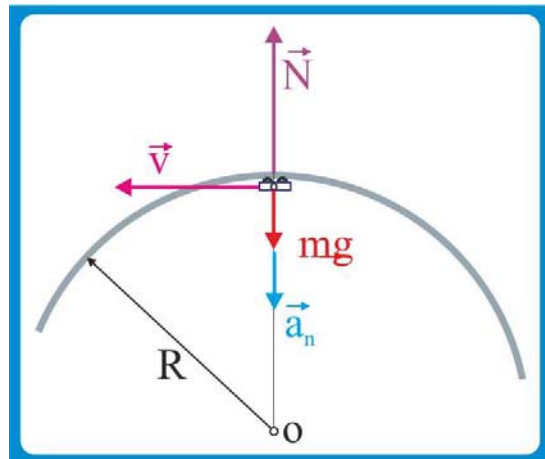
### Решение

1. Условие прохождения тележки с человеком верхней точки круговой траектории (уравнение второго закона Ньютона в проекции на вертикальную ось):

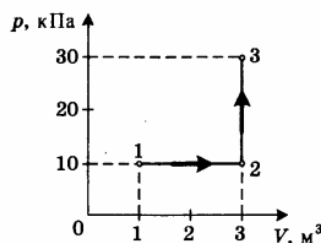
$$N = \frac{mv^2}{R} - mg; \quad \frac{mv^2}{R} = N + mg;$$

$$v = \sqrt{\frac{R(N + mg)}{m}};$$

$$v = \sqrt{\frac{5(700 + 70 \cdot 10)}{70}} = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$



- 30.** На диаграмме представлены изменения давления и объёма идеального одноатомного газа. Какое количество теплоты было получено или отдано газом при переходе из состояния 1 в состояние 3?



### Решение

1. Переход 1 – 2 проходит по изобарной схеме ( $p = \text{const}$ ), причем совершается механическая работа и изменяется внутренняя энергия самого газа:

$$A_{12} = p_1(V_2 - V_1) = 10^4 \cdot (3 - 1) = 2 \cdot 10^4 \text{ Дж};$$

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R(T_2 - T_1); \quad T_1 = \frac{p_1 V_1}{\nu R}; \quad T_2 = \frac{p_2 V_2}{\nu R}; \quad \Delta U_{12} = \frac{3}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1);$$

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} (3 \cdot 10^4 - 1 \cdot 10^4) = 3 \cdot 10^4 \text{ Дж};$$

2. Переход 2 – 3 происходит по изохорной схеме ( $V = \text{const}$ ), при этом работа не совершается, изменяется внутренняя энергия идеального газа:

$$\Delta U_{23} = \frac{3}{2} \nu R(T_3 - T_2) = \frac{3}{2} (p_3 V_3 - p_2 V_2) = \frac{3}{2} (9 \cdot 10^4 - 3 \cdot 10^4) = 9 \cdot 10^4 \text{ Дж};$$

3. Количество теплоты при изменении состояния газа 1 – 2 – 3:

$$Q_{123} = A_{12} + \Delta U_{12} + \Delta U_{23} = 14 \cdot 10^4 \text{ Дж};$$

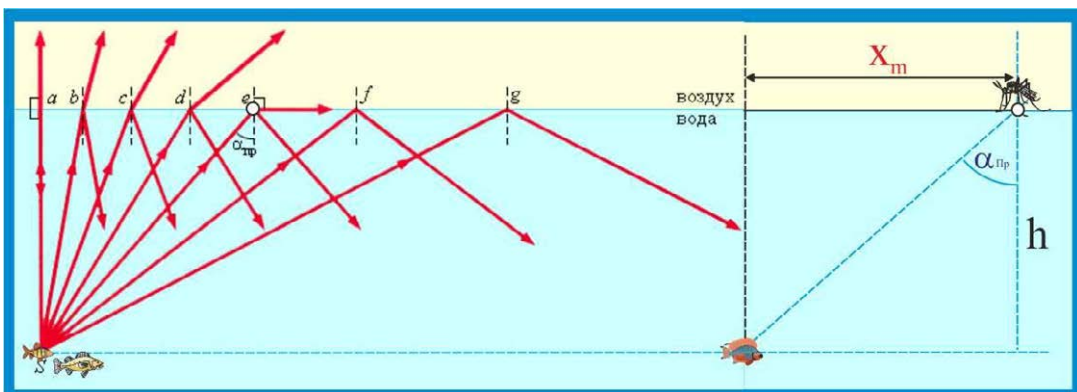
- 31.** При коротком замыкании выводов аккумулятора сила тока в цепи равна 12 А. При подключении к выводам аккумулятора электрической лампы электрическим сопротивлением 5 Ом сила тока в цепи равна 2 А. По результатам этих экспериментов определите ЭДС аккумулятора.

### Решение

$$\left. \begin{array}{l} I_1 = \frac{\varepsilon}{r}; \\ I_2 = \frac{\varepsilon}{R + r}; \end{array} \right\} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} r = \frac{\varepsilon}{I_1}; \\ I_2 = \frac{\varepsilon}{R - \frac{\varepsilon}{I_1}}; \end{array} \right\} \Rightarrow \varepsilon = \frac{I_2 R}{1 - \frac{I_1}{I_2}} = \frac{2 \cdot 5}{1 - \frac{2}{12}} = 12 \text{ В};$$

- 32.** У самой поверхности воды в реке летит комар, стая рыб находится на расстоянии 2 м от поверхности воды. Каково максимальное расстояние до комара, на котором он ещё виден рыбам на этой глубине? Относительный показатель преломления света на границе воздух–вода равен 1,33.

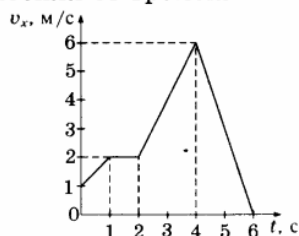
### Решение



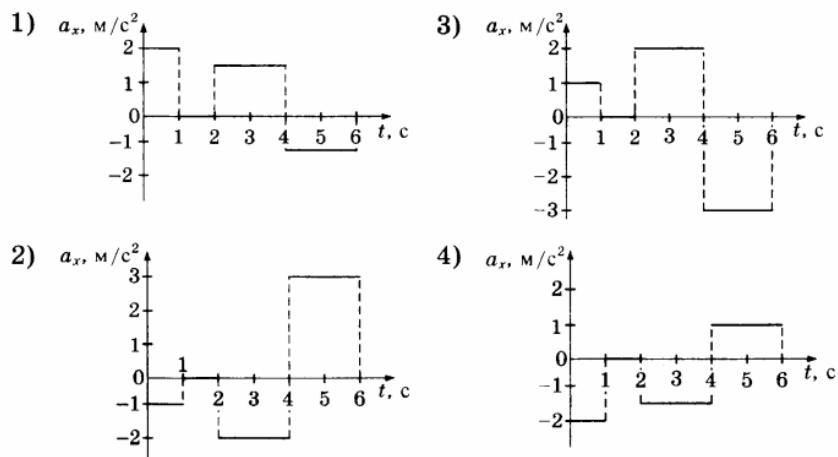
$$\sin \alpha_{\text{пр}} = \frac{1}{n}; \quad \alpha \approx \arcsin \frac{1}{1,33} \approx 49^\circ; \quad x_m \approx \text{htg} \alpha \approx 2 \cdot 1,15 \approx 2,3 \text{ м};$$

## Вариант 2

1. На рисунке представлен график зависимости проекции  $v_x$  скорости автомобиля от времени  $t$ .



Проекция ускорения автомобиля в интервале от момента времени 2 с до момента времени 4 с представлена верно графиком

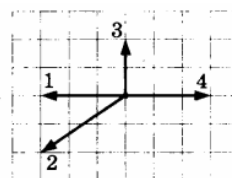


### Решение

$$a_{x(0-1)} = \frac{\Delta v_{x(0-1)}}{\Delta t} = \frac{2-1}{1} = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}}; \quad a_{x(1-2)} = \frac{\Delta v_{x(1-2)}}{\Delta t} = 0; \quad a_{x(2-4)} = \frac{\Delta v_{x(2-4)}}{\Delta t} = \frac{6-2}{2} = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$a_{x(4-6)} = \frac{\Delta v_{x(4-6)}}{\Delta t} = \frac{0-6}{2} = -3 \frac{\text{м}}{\text{с}}; \quad \mapsto (3);$$

2. На рисунке представлены четыре вектора сил, действующих на тело. С исключением какой из четырёх сил ускорение тела будет равно нулю? В ответе укажите номер вектора этой силы

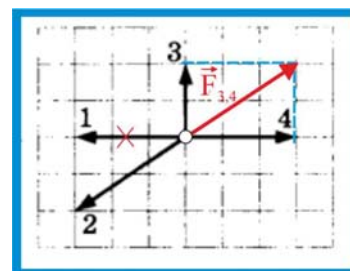


### Решение

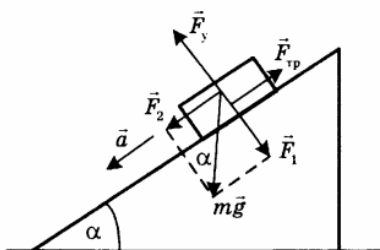
1. Так как:

$$|\vec{F}_2| = \sqrt{F_3^2 + F_4^2}; \quad \Rightarrow \quad \vec{F}_3 + \vec{F}_4 + \vec{F}_2 = 0;$$

нужно исключить из рассмотрения силу  $\vec{F}_1$ .



3. Брусок массой 2 кг под действием приложенных к нему сил движется вниз на наклонной плоскости (угол  $\alpha = 30^\circ$ ) с ускорением  $0,5 \text{ м/с}^2$ . Чему равен модуль равнодействующей сил?



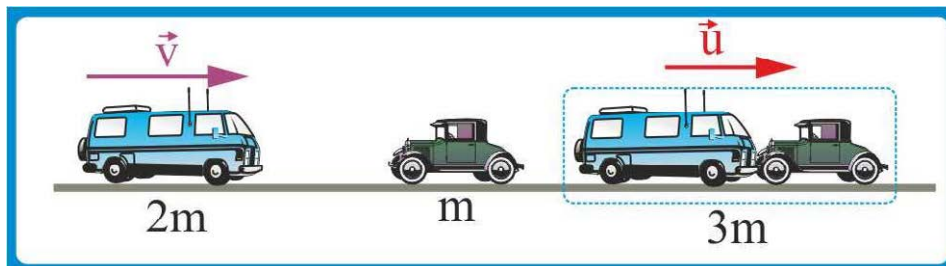
### Решение

1. В соответствии со вторым законом Ньютона, записанным в проекции на направление движения:

$$\sum_{i=1}^{i=2} \vec{F}_i = m\vec{a}; \quad \sum_{i=1}^{i=2} F_{i(x)} = ma_x = 2 \cdot 0,5 = 1 \text{ Н};$$

4. Автомобиль массой  $2m$ , движущийся со скоростью  $v$ , сталкивается с неподвижным автомобилем массой  $m$ . После столкновения они движутся как одно целое. Каким суммарным импульсом обладают два автомобиля после столкновения? Механическая энергия не расходуется на нагревание, трение и деформацию в процессе и после столкновения.

### Решение



1. На основании закона сохранения импульса в проекции на направление движения:

$$2mv = 3mu; \quad u = \frac{2}{3}v; \quad \Rightarrow \quad p_\Sigma = 3mu = \frac{2}{3}v3m = 2mv;$$

5. При выходе в открытый космос космонавт сначала оставался на расстоянии 10 м от центра масс орбитальной станции, а затем оказался на расстоянии 100 м от него. Во сколько раз уменьшилась сила гравитационного взаимодействия между станцией и космонавтом, если масса станции 20 т, масса космонавта в скафандре 100 кг?

### Решение

1. Если мероприятие проходит в очень дальнем космосе, то



$$\left. \begin{aligned} F_1 &= G \frac{mM}{r^2}; \\ F_2 &= G \frac{mM}{(10r)^2}; \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{F_1}{F_2} = 100;$$

6. Брусок движется равномерно по горизонтальной поверхности. Установите для силы трения соответствие между параметрами силы и свойствами вектора силы:

- 1) вертикально вниз
- 2) против направления вектора скорости
- 3) вертикально вверх
- 4) обратно пропорционален площади поверхности бруска
- 5) пропорционален силе нормального давления
- 6) обратно пропорционален силе нормального давления
- 7) пропорционален площади поверхности бруска
- 8) не зависит от площади поверхности бруска

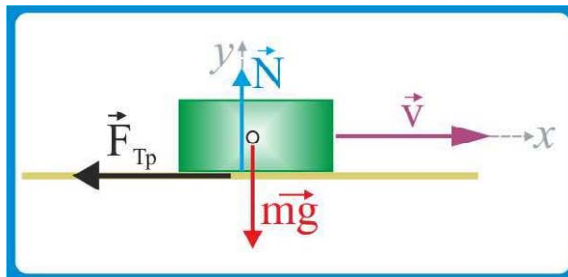
### Решение

1. Сила трения направлена в сторону противоположную вектору скорости:

$$(\vec{F}_{\text{тр}}; \vec{v}) = \pi; \quad \mapsto (2);$$

2. Модуль вектора силы трения пропорционален силе нормального давления, коэффициентом пропорциональности служит коэффициент трения  $\mu$

$$|\vec{F}_{\text{тр}}| = \mu N = \mu mg; \quad \mapsto (5);$$

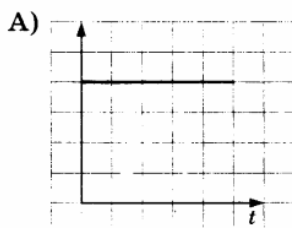


7. В физическом эксперименте в течение некоторого отрезка времени было зафиксировано равномерное движение тела на горизонтальном и прямолинейном участке пути. По данным эксперимента были построены графики (А и Б) зависимости от времени двух физических величин.

Каким физическим величинам, перечисленным в правом столбце, соответствуют графики А и Б.

К каждой позиции левого столбца подберите соответствующую позицию правого и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

#### ГРАФИКИ



#### ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- 1) скорость тела
- 2) ускорение тела
- 3) путь, пройденный телом
- 4) кинетическая энергия тела

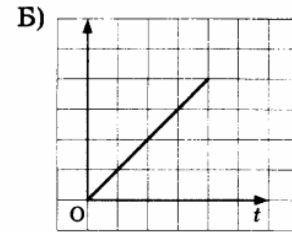
### Решение

А) Зависимость скорости тела от времени:

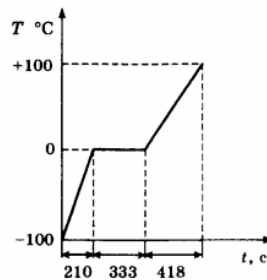
$$\vec{v} = \text{const}; \quad t \rightarrow (1);$$

Б) Зависимость пройденного пути от времени:

$$s = vt; \quad t \rightarrow (3);$$



8. На графике представлено, как изменялась с течением времени температура 0,1 кг воды, находившейся в начальный момент в кристаллическом состоянии при температуре  $-100\text{ }^\circ\text{C}$ , при постоянной мощности теплопередачи 100 Вт.



По графику на рисунке и известным значениям массы воды и мощности теплопередачи определите удельную теплоёмкость льда.

### Решение

1. В течение первых  $t = 210\text{ с}$  вода присутствовала в твёрдом состоянии, при этом температура изменялась на  $\Delta T = 100\text{ К}$ , уравнение процесса нагревания:

$$P\tau = cm\Delta T; \quad \Rightarrow \quad c = \frac{P\tau}{m\Delta T} = \frac{100 \cdot 210}{0,1 \cdot 100} = 2100 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}; \quad t \rightarrow (3)$$

9. Внутренняя энергия идеального газа определяется

- 1) потенциальной энергией взаимодействия частиц идеального газа
- 2) только кинетической энергией беспорядочного движения частиц, из которых состоит идеальный газ
- 3) только потенциальной энергией взаимодействия частиц, из которых состоит идеальный газ
- 4) кинетической энергией беспорядочного движения частиц идеального газа и потенциальной энергией их взаимодействия

Какое из приведённых выше утверждений верно?

### Решение

$$U_i = \frac{3}{2} \nu R T_i; \quad K_i = \frac{m_0 v_i^2}{2} = \frac{3}{2} k_B T_i; \quad T_i = \frac{2K_i}{3k_B};$$

$$U_i = \frac{3}{2} \nu R \frac{2K_i}{3k_B} = \frac{\nu R}{k_B} K_i; \quad k_B = R N_A; \quad \Rightarrow \quad U_i = \frac{\nu}{N_A} K_i; \quad t \rightarrow (2);$$

10. Давление насыщенного пара в комнате равно 22 гПа, давление водяных паров в составе воздуха комнаты равно 11 гПа.

Чему равна относительная влажность воздуха?

**Решение**

$$\varphi = \frac{P_{\text{П}}}{P_{\text{НП}}} = 0,5 \quad (50\%);$$

11. Установите соответствие между физическими величинами, характеризующими изохорный процесс нагревания воздуха, перечисленными в первом столбце, и их изменениями во втором столбце.

| ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ   | ИХ ИЗМЕНЕНИЯ    |
|-----------------------|-----------------|
| А) давление           | 1) увеличение   |
| Б) объём              | 2) уменьшение   |
| В) температура        | 3) неизменность |
| Г) внутренняя энергия |                 |

**Решение**

1. Изохорный процесс  $V = \text{const}$ :

$$\left. \begin{array}{l} p_1 V = \nu R T_1; \\ p_2 V = \nu R T_2; \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}; \quad T_2 > T_1; \quad p_2 > p_1; \quad \Delta U = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) > 0;$$

| А | Б | В | Г |
|---|---|---|---|
| 1 | 3 | 1 | 1 |

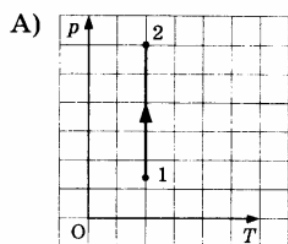
12. Графики А и Б процессов для изолированной термодинамической системы построены в координатах  $p-T$ .

Установите соответствие между графиками и утверждениями, характеризующими изображённые на графиках процессы.

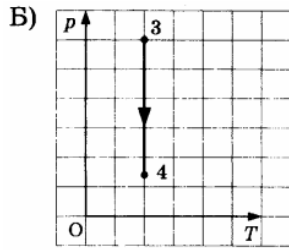
К каждой позиции левого столбца подберите соответствующую позицию правого столбца. Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

**ГРАФИКИ**

**УТВЕРЖДЕНИЯ**



- 1) В процессе термодинамического сжатия внешние силы совершают над газом работу, его внутренняя энергия увеличивается
- 2) В процессе термодинамического сжатия внешние силы совершают над газом работу, его внутренняя энергия не изменяется



3) В процессе термодинамического расширения газ совершает работу, его внутренняя энергия уменьшается

4) В процессе термодинамического расширения газ совершает работу, его внутренняя энергия не изменяется

### Решение

А) Изотермическое сжатие газа:

$$A_{12} = mRT \ln \frac{p_1}{p_2}; \quad p_2 > p_1; \Rightarrow A_{12} < 0; \quad T = \text{const}; \quad \Delta U = 0; \quad \mapsto \quad (2)$$

Б) Изотермическое расширение газа:

$$A_{34} = mRT \ln \frac{p_3}{p_4}; \quad p_3 > p_4; \Rightarrow A_{34} > 0; \quad T = \text{const}; \quad \Delta U = 0; \quad \mapsto \quad (4)$$

13. Три положительных точечных заряда ( $q_1 = q_2 = q_3 = 1$  нКл) расположены в вершинах равностороннего треугольника. Какой заряд  $q_0$  и где необходимо расположить, чтобы система находилась в равновесии?

### Решение

1. Естественно предположить, что заряд  $q_0$  должен быть отрицательным и расположен на равном удалении от трёх остальных, т.е. в точке пересечения медиан треугольника О. Если заряд будет положительным, то к каждому из зарядов будет приложена сила, стремящаяся «расташить» заряды.

2. Рассмотрим условие равновесия одного из зарядов, расположенного, например, в точке В, к которому при расположении  $q_0$  в точке О будут приложены три силы, две силы  $\{F_1, F_1\}$  обусловлены взаимодействием с двумя остальными положительными зарядами и сила  $F_0$ , вызванная взаимным притяжением с центральным зарядом. Исследуемый заряд будет находиться в состоянии равновесия, если геометрическая сумма двух первых сил  $R$  будет равна по модулю и противоположна по направлению  $F_0$ .

3. Определим по правилу параллелограмма модуль равнодействующей силы  $R$

$$R = \sqrt{2F_1^2 + 2F_1^2 \cos 2\alpha} = F_1 \sqrt{2(1 + \cos 2\alpha)},$$

где  $\alpha = 30^\circ$ , т.е.

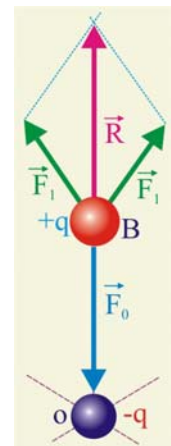
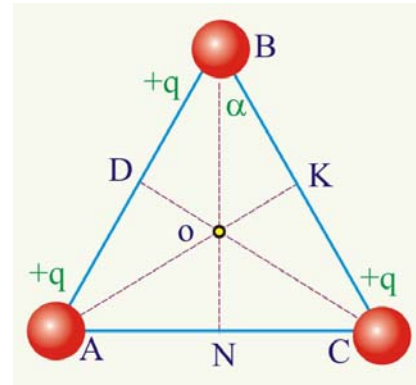
$$R = F_1 \sqrt{3}.$$

4. Запишем уравнения для модулей сил  $F_1$  и  $F_0$ , воспользовавшись уравнением закона Кулона

$$F_1 = k \frac{q^2}{r^2},$$

$$F_0 = k \frac{q_0 q}{(OB)^2} = k \frac{q_0 q}{(r/2 \cos \alpha)^2} = k \frac{4 \cos^2 \alpha q_0 q}{r^2}.$$

где  $r$  – длина стороны треугольника.

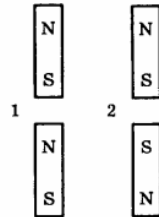


5. Приравняем уравнения сил с учётом значения  $F_1$  из уравнения и определим величину  $q_0$

$$\frac{\sqrt{3}q^2}{r^2} = \frac{q_0q \cdot 4 \cos^2 \alpha}{r^2},$$

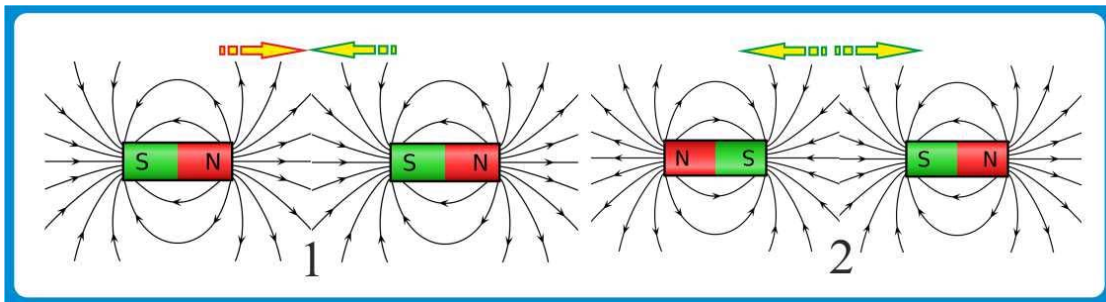
$$q_0 = \frac{q\sqrt{3}}{4 \cos^2 \alpha} = q \frac{\sqrt{3}}{3} \cong 0,58 \text{ нКл}.$$

14. На рисунке представлено расположение двух пар магнитов. Как взаимодействуют близко расположенные друг к другу полюса в этих парах?

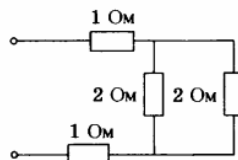


- 1) в паре 1 притягиваются, в паре 2 отталкиваются
- 2) в паре 2 притягиваются, в паре 1 отталкиваются
- 3) в парах 1 и 2 притягиваются
- 4) в парах 1 и 2 отталкиваются

**Решение**



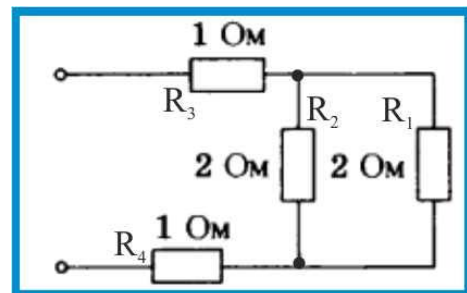
15. Рассчитайте общее сопротивление электрической цепи, представленной на рисунке.



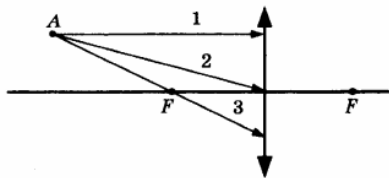
**Решение**

$$R_{1,2} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 1 \text{ Ом};$$

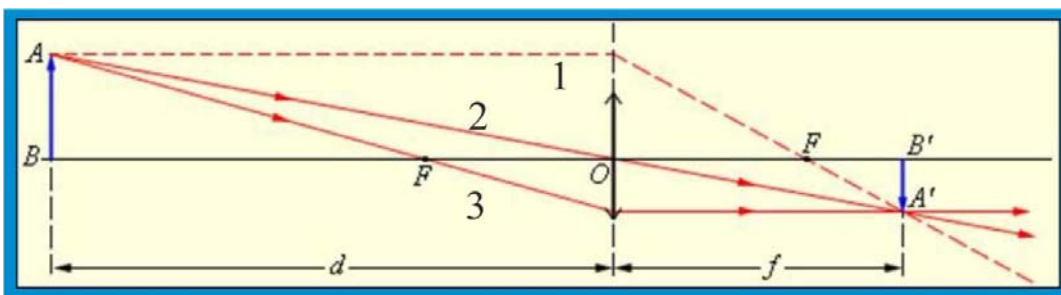
$$R_{\Sigma} = R_{1,2} + R_3 + R_4 = 3 \text{ Ом};$$



16. На рисунке представлена схематически собирающая линза, её главная оптическая ось, главные фокусы линзы и три луча, исходящих из точечного источника света А. Какой из этих трёх лучей после прохождения через собирающую линзу не изменит своего направления распространения?



Решение



17. К источнику постоянного тока были подключены последовательно электрическая лампа накаливания и полупроводниковый терморезистор. Что произойдёт с электрическим сопротивлением нити лампы и с электрическим сопротивлением полупроводникового терморезистора при уменьшении силы тока в цепи?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

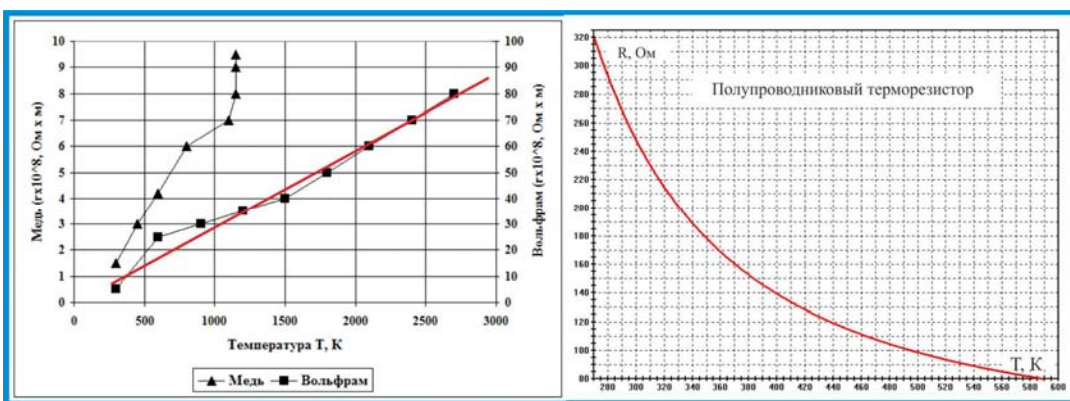
- 1) увеличение    3) неизменность  
2) уменьшение

Решение

1. При уменьшении силы тока в цепи температура нити накала и полупроводникового терморезистора будет уменьшаться, при этом сопротивление этих элементов будет изменяться по-разному:

$$R_{\text{Нити}} = R_0(1 + \alpha t); \quad t \downarrow; R_{\text{Нити}} \downarrow; \quad \mapsto (2);$$

$$R_{\text{П/П}} = R_0 e^{\frac{\Delta W}{2kT}}; \quad T \downarrow; R_{\text{П/П}} \uparrow; \quad \mapsto (1);$$



18. Автомобиль движется равноускоренно и прямолинейно с одинаковыми направлениями векторов  $\vec{v}$  и  $\vec{a}$ . Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

**ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ**

- А) модуль скорости  $v$   
 Б) путь, пройденный за время  $t$

**ФОРМУЛЫ**

- 1)  $v = v_0 - at$   
 2)  $v = v_0 + at$   
 3)  $s = v_0 t + \frac{at^2}{2}$   
 4)  $s = v_0 t - \frac{at^2}{2}$

**Решение**

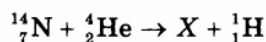
А) Модуль скорости:

$$v(t) = v_0 + at; \quad \mapsto \quad (2);$$

Б) Путь, пройденный за время  $t$ :

$$s(t) = v_0 t + \frac{at^2}{2}; \quad \mapsto \quad (3);$$

19. При столкновении  $\alpha$ -частицы с ядром атома азота произошла ядерная реакция:



Ядро какого изотопа  $X$  было получено в этой реакции?

- 1)  ${}^{17}_8\text{O}$       2)  ${}^{16}_8\text{O}$       3)  ${}^{19}_9\text{F}$       4)  ${}^{20}_{10}\text{Ne}$

**Решение**

$$A_X = 14 + 4 - 1 = 17; \quad Z_X = 7 + 2 - 1 = 8; \quad {}^{17}_8\text{X} \equiv {}^{17}_8\text{O}; \quad \mapsto \quad (1);$$

20. Каким зарядовым числом обладает атомное ядро, возникшее в результате  $\alpha$ -распада ядра атома элемента с зарядовым числом  $Z$ ?

- 1)  $Z-1$       2)  $Z-2$       3)  $Z-4$       4)  $Z+1$

**Решение**



**Альфа - распад**

Преобразование атомных ядер, сопровождаемое испусканием  $\alpha$ -частиц, называется **альфа - распадом**.

$${}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}\text{Y} + {}^4_2\alpha + \overset{\text{h}\nu}{\text{квант энергии}}$$

материнское ядро
дочернее ядро
ядро атома гелия
квант энергии

$${}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}\text{Y} + {}^4_2\alpha$$

$${}^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow {}^{222}_{86}\text{Rn} + {}^4_2\alpha$$

$${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{234}_{90}\text{Th} + {}^4_2\alpha$$

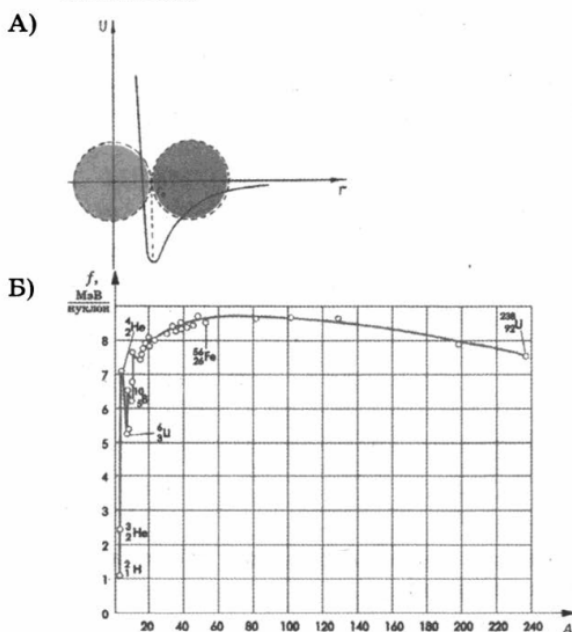
21. Чему равен импульс, переданный фотоном веществу при нормальном падении на поверхность, в случае поглощения фотона веществом?

Решение

$$p_f = \frac{\varepsilon_f}{c}; \quad \varepsilon_f = \frac{hc}{\lambda}; \quad \Rightarrow \quad p_f = \frac{h}{\lambda};$$

22. На графиках А и Б показаны зависимости одних физических величин от других физических величин. Установите соответствие между графиками А и Б и перечисленными ниже видами зависимости.

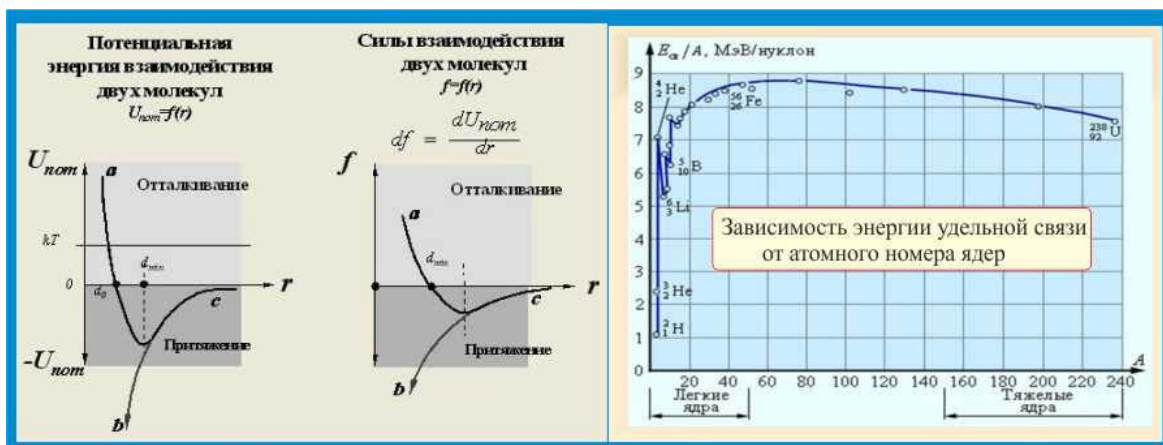
ГРАФИКИ



УТВЕРЖДЕНИЯ

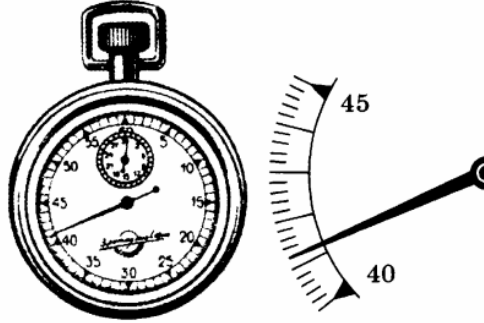
- 1) зависимость удельной энергии связи нуклонов в атомных ядрах от массового числа ядра
- 2) зависимость напряжения от относительного удлинения
- 3) зависимость числа радиоактивных ядер от времени
- 4) зависимость потенциальной энергии системы взаимодействующих молекул от расстояния между молекулами

Решение





23. На рисунке представлен секундомер, справа от него дано увеличенное изображение части шкалы и стрелки. Запишите показания секундомера, учитывая, что погрешность измерения равна цене деления секундомера.



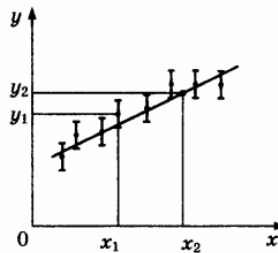
- |                                       |                                       |
|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 1) $41,2 \text{ с} \pm 0,2 \text{ с}$ | 3) $41,2 \text{ с} \pm 0,1 \text{ с}$ |
| 2) $41,1 \text{ с} \pm 0,2 \text{ с}$ | 4) $41,1 \text{ с} \pm 0,1 \text{ с}$ |

### Решение

1. Цена деления секундомера  $\Delta t = 0,2 \text{ с}$ , поэтому правильной будет запись показаний:

$$t = (41,2 \pm 0,2) \text{ с}; \quad \mapsto \quad (1);$$

24. Результаты экспериментального исследования зависимости некоторой физической величины  $y$  от величины  $x$  представлены точками на координатной плоскости. Вертикальными линиями возле каждой точки показаны погрешности измерения координат. По оси абсцисс погрешности измерения были в несколько раз меньше и поэтому на график не нанесены. По данному графику нужно найти величину  $Z = \frac{y}{x}$ .



Взглянув на точки и ряд последовательных вертикальных линий, два ученика выдвинули гипотезу о линейной зависимости  $y$  от  $x$  и для подтверждения этой гипотезы попробовали провести отрезок. Им это удалось. Затем для нахождения величины  $Z$  первый ученик выбрал точку с координатами  $y_1$  и  $x_1$  и определил  $Z_1 = \frac{y_1}{x_1}$ . Второй ученик выбрал точку с координатами  $y_2$  и  $x_2$  и определил

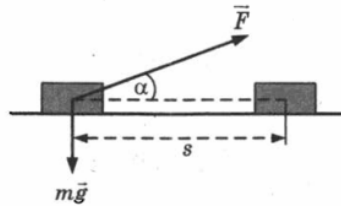
$Z_2 = \frac{y_2}{x_2}$ . Какой результат ближе к верному?

- |          |                           |
|----------|---------------------------|
| 1) $Z_1$ | 3) оба результата верны   |
| 2) $Z_2$ | 4) оба результата неверны |

### Решение

1. В первом случае расчётная точка взята в центре интервала погрешности, поэтому более точным будет второй результат, когда точка выбрана на отрезке, отображающем линейную зависимость  $y = f(x) \mapsto (2)$ .

25. Брусок массой  $m$  под действием силы  $\vec{F}$ , направленной под углом  $\alpha$  к горизонту, перемещается по прямой на горизонтальной поверхности на расстояние  $s$ . Коэффициент трения равен  $\mu$ . Чему равна работа силы трения?

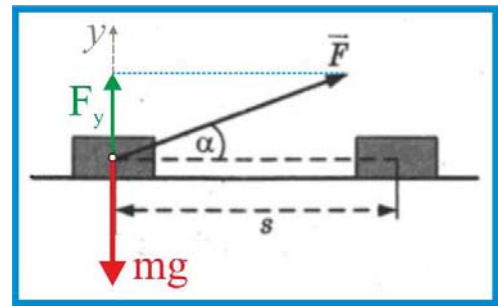


### Решение

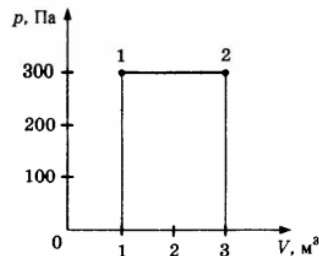
$$A(\vec{F}_T) = -\mu N s; \quad N = mg - F_y;$$

$$F_y = F \sin \alpha;$$

$$A(\vec{F}_T) = -\mu(mg - F \sin \alpha)s;$$



26. Какую работу совершил газ при переходе из состояния 1 в состояние 2 (см. рис.)?



### Решение

1. Работа при изобарном процессе:

$$A = p \Delta V = 300 \cdot 2 = 600 \text{ Дж};$$

27. Проволочная прямоугольная рамка вращается с постоянной скоростью в однородном магнитном поле, ось вращения рамки перпендикулярна вектору  $\vec{B}$  индукции. Какова зависимость ЭДС индукции в рамке от времени?

### Решение

1. Если рамка вращается с постоянной угловой скоростью  $\omega$ , то

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_0 \sin \omega t;$$

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.

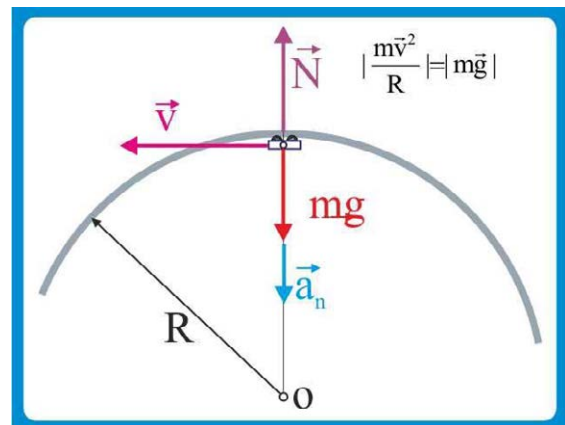
29. В аттракционе человек движется на тележке по рельсам и совершает «мёртвую петлю» в вертикальной плоскости. С какой скоростью должна двигаться тележка в верхней точке круговой траектории радиусом 4,9 м, чтобы в этой точке сила давления человека на сиденье тележки была равна 0 Н? Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с<sup>2</sup>.

### Решение

1. Условие прохождения тележки с человеком верхней точки круговой траектории (уравнение второго закона Ньютона в проекции на вертикальную ось):

$$0 = \frac{mv^2}{R} - mg; \quad \frac{mv^2}{R} = mg;$$

$$v = \sqrt{Rg} = \sqrt{49} = 7 \frac{\text{М}}{\text{с}};$$



30. На диаграмме (см. рис.) представлены изменения давления и объёма идеального одноатомного газа. Какое количество теплоты было получено или отдано газом при переходе из состояния 1 в состояние 3?

### Решение

1. Переход 1 – 2 происходит по изохорной схеме ( $V = \text{const}$ ), при этом работа не совершается, изменяется внутренняя энергия идеального газа:

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1);$$

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} (3 \cdot 10^4 - 1 \cdot 10^4) = 3 \cdot 10^4 \text{ Дж};$$

2. 1. Переход 2 – 3 проходит по изобарной схеме ( $p = \text{const}$ ), причем совершается механическая работа и изменяется внутренняя энергия самого газа:

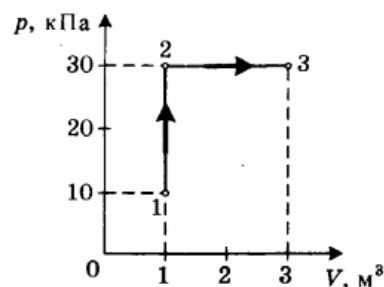
$$A_{23} = p_2 (V_3 - V_2) = 3 \cdot 10^4 \cdot (3 - 1) = 6 \cdot 10^4 \text{ Дж};$$

$$\Delta U_{23} = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2); \quad T_2 = \frac{p_2 V_2}{\nu R}; \quad T_3 = \frac{p_3 V_3}{\nu R}; \quad \Delta U_{23} = \frac{3}{2} (p_3 V_3 - p_2 V_2);$$

$$\Delta U_{23} = \frac{3}{2} (9 \cdot 10^4 - 3 \cdot 10^4) = 9 \cdot 10^4 \text{ Дж};$$

3. Количество теплоты при изменении состояния газа 1 – 2 – 3:

$$Q_{123} = \Delta U_{12} + A_{23} + \Delta U_{23} = 18 \cdot 10^4 \text{ Дж};$$



31. При коротком замыкании клемм аккумулятора сила тока в электрической цепи равна 24 А. При подключении к клеммам аккумулятора электрической лампы с электрическим сопротивлением нити 23 Ом сила тока в электрической цепи равна 1 А. По этим результатам измерений определите ЭДС и внутреннее сопротивление аккумулятора.

### Решение

1. ЭДС источника (аккумулятора):

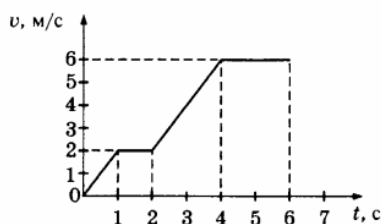
$$\left. \begin{array}{l} I_1 = \frac{\varepsilon}{r}; \\ I_2 = \frac{\varepsilon}{R + r}; \end{array} \right\} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} r = \frac{\varepsilon}{I_1}; \\ I_2 = \frac{\varepsilon}{R + \frac{\varepsilon}{I_1}}; \end{array} \right\} \Rightarrow \varepsilon = \frac{I_2 R}{1 - \frac{I_1}{I_2}} = \frac{1 \cdot 23}{1 - \frac{1}{24}} = 24 \text{ В};$$

2. Внутреннее сопротивление аккумулятора:

$$r = \frac{\varepsilon}{I_1} = 1 \text{ Ом};$$

### Вариант 3

1. На рисунке представлен график зависимости модуля скорости  $v$  автомобиля от времени  $t$ . Определите по графику путь, пройденный автомобилем в интервале от момента времени 1 с до момента времени 2 с после начала движения.

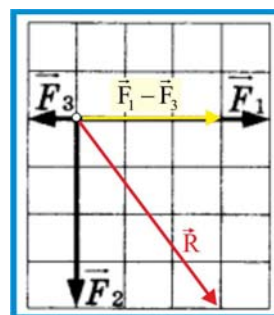
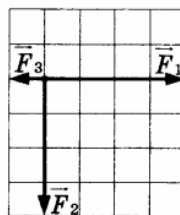


- 1) 1 м      2) 2 м      3) 3 м      4) 4 м

#### Решение

$$v = \text{const} = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}}; \quad \Delta t = 1\text{с}; \quad \Rightarrow \quad s = v\Delta t = 2\text{м};$$

2. На рисунке представлены три вектора сил, приложенных к одной точке и лежащих в одной плоскости. Модуль вектора силы  $F_1$  равен 4Н. Чему равен модуль равнодействующей векторов  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$ ?



#### Решение

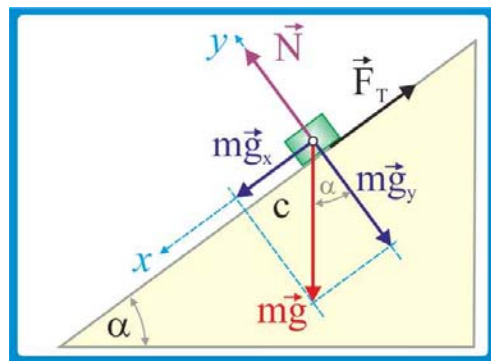
$$|\vec{R}| = \sqrt{(F_1 - F_3)^2 + F_2^2}; \quad |\vec{R}| = \sqrt{(4 - 1)^2 + 4^2} = 5 \text{ Н};$$

3. Монета лежала неподвижно на книге, наклонённой к горизонтальной поверхности под углом  $\alpha$ . При увеличении угла наклона до  $2\alpha$  монета осталась неподвижной. Чему равно отношение модулей сил трения покоя  $\frac{F_2}{F_1}$  в указанных случаях?

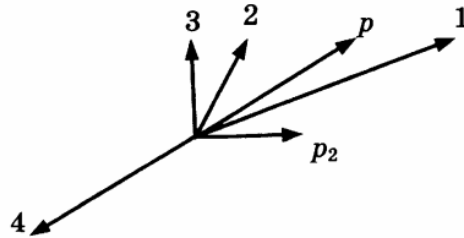
#### Решение

1. Условия равновесия монеты на наклонной плоскости при заданных углах наклона:

$$\left. \begin{aligned} mg \sin \alpha &= F_{T(1)}; \\ mg \sin 2\alpha &= F_{T(2)}; \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{F_{T(2)}}{F_{T(1)}} = \frac{\sin 2\alpha}{\sin \alpha};$$

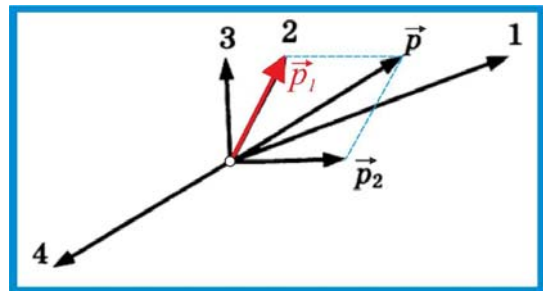


4. Снаряд, обладавший импульсом  $p$ , разорвался на две части. Векторы импульса  $p$  снаряда до разрыва и импульса  $p_2$  одной из этих частей после разрыва представлены на рисунке. Какой из векторов на этом рисунке соответствует вектору импульса второй части снаряда? В ответе укажите номер этого вектора.



**Решение**

1. В соответствии с законом сохранения импульса (внутренние силы не могут изменить состояние механической системы) импульс снаряда до разрыва должен быть равен геометрической сумме импульсов осколков после разрыва.



5. Тело массой 5 кг под действием некоторой силы приобретает ускорение  $1 \text{ м/с}^2$ . Во сколько раз меньше ускорение сообщит эта сила телу массой 10 кг?

**Решение**

$$\left. \begin{aligned} F &= ma_1; \\ F &= 2ma_2; \end{aligned} \right\} \frac{a_1}{a_2} = 2;$$

6. Искусственный спутник движется по эллиптической орбите вокруг Земли. Изменяются ли перечисленные в первом столбце таблицы физические величины во время приближения спутника к Земле и если изменяются, то как?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) не изменяется
- 2) только увеличивается по модулю
- 3) только уменьшается по модулю
- 4) увеличивается по модулю и изменяется по направлению
- 5) уменьшается по модулю и изменяется по направлению
- 6) увеличивается по модулю, не изменяется по направлению
- 7) уменьшается по модулю, не изменяется по направлению

### Решение

1. Линейная скорость спутника:

$$\frac{mv^2}{r} = G \frac{mM}{r^2}; \quad v = \sqrt{\frac{GM}{r}};$$

$$r_1 > r_2; \Rightarrow v_2 > v_1; \mapsto (4);$$

2. Ускорение спутника:

$$a_n = \frac{v^2}{r}; \quad v^2 \uparrow; a_n \uparrow; \mapsto (4);$$

3. Кинетическая энергия спутника скалярная величина:

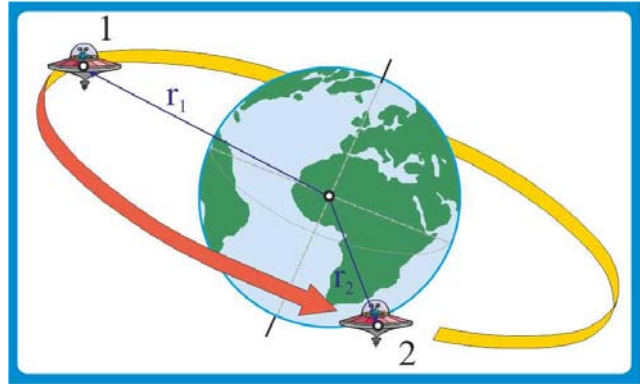
$$K = \frac{mv^2}{2}; \quad v \uparrow; K \uparrow; \mapsto (2)$$

4. Потенциальная энергия спутника:

$$\Pi = mg(R + r); \quad r \downarrow; \Pi \downarrow; \mapsto (3);$$

5. Полная механическая энергия спутника на орбите:

$$K + \Pi = \text{const}; \mapsto (1);$$



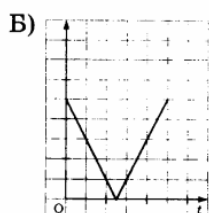
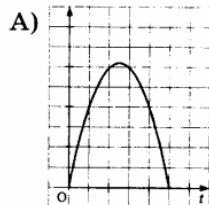
|  |   |
|--|---|
| Скорость                                   | 4 |
| Нормальное (центростремительное) ускорение | 4 |
| Кинетическая энергия                       | 2 |
| Потенциальная энергия                      | 3 |
| Полная механическая энергия                | 1 |

7. В некотором физическом эксперименте с поверхности земли метнули камень вертикально вверх с начальной скоростью 25 м/с. По данным эксперимента были построены графики (А и Б) зависимости от времени двух физических величин.

Каким физическим величинам, перечисленным в правом столбце, соответствуют графики А и Б?

К каждой позиции левого столбца подберите соответствующую позицию правого и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

#### ГРАФИКИ



#### ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- 1) ускорение тела
- 2) скорость тела
- 3) путь, пройденный телом
- 4) масса тела

### Решение

Ускорение тела постоянно  $|\vec{g}| \approx 10 \text{ м/с}^2$ ;

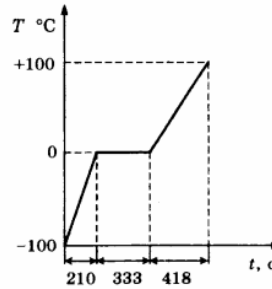
А) Скорость тела:  $v(t) = v_0 \pm gt$ ;  $\mapsto$  (3);

Б) Путь, пройденный телом:  $y(t) = v_0 t \pm \frac{gt^2}{2}$ ;  $\mapsto$  (2);

Масса тела во времени не изменяется.

---

8. На графике представлено, как изменялась с течением времени температура 0,1 кг воды, находившейся в начальный момент в кристаллическом состоянии при температуре  $-100^\circ\text{C}$ , при постоянной мощности теплопередачи 100 Вт.



По графику на рисунке определите, сколько секунд длился процесс нагревания льда.

- 1) 210 с      3) 418 с      2) 333 с      4) 961 с

### Решение

1. В течение первых  $t = 210$  с вода присутствовала в твёрдом состоянии, при этом температура изменялась на  $\Delta T = 100$  К, процесс нагревания льда длился, судя по графику,  $\tau = 210$  с;  $\mapsto$  (1).

---

9. Если идеальный газ совершил работу 300 Дж и при этом внутренняя энергия газа увеличилась на 300 Дж, то какое количество теплоты отдал или получил газ в этом процессе?

- 1) отдал 600 Дж  
2) отдал 300 Дж  
3) получил 600 Дж  
4) получил 300 Дж

### Решение

$$\Delta Q = A + \Delta U = 600 \text{ Дж}; \mapsto (3);$$

---

10. Во сколько раз увеличилось давление газа, если при неизменной концентрации молекул абсолютная температура идеального газа была увеличена в 3 раза?

### Решение

$$\left. \begin{array}{l} p_1 = nkT; \\ p_2 = nk3T; \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{p_2}{p_1} = 3;$$

---



11. Установите соответствие между физическими величинами, характеризующими адиабатный процесс расширения воздуха, перечисленными в первом столбце, и их изменениями во втором столбце.

**ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ ИХ ИЗМЕНЕНИЯ**

- |                       |                 |
|-----------------------|-----------------|
| А) давление           | 1) увеличение   |
| Б) объём              | 2) уменьшение   |
| В) температура        | 3) неизменность |
| Г) внутренняя энергия |                 |

**Решение**

1. Давление при адиабатическом процессе:

$$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^\gamma; \quad V_2 > V_1; \Rightarrow p_1 < p_2; \mapsto (2);$$

2. Объём увеличивается, потому что расширение:  $\mapsto (1)$ .

3. Температура:

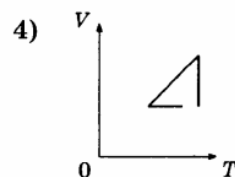
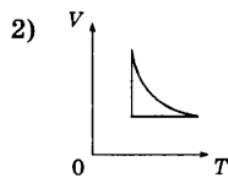
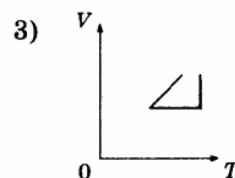
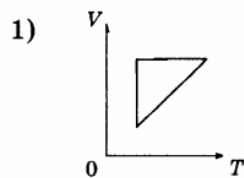
$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}; \quad p_1 < p_2; \quad T_2 < T_1; \mapsto (2);$$

4. Внутренняя энергия:

$$\Delta U_{12} = \frac{i}{2} \nu R (T_2 - T_1); \quad (T_2 - T_1) < 0; \quad \Delta U_{12} < 0; \mapsto (2);$$

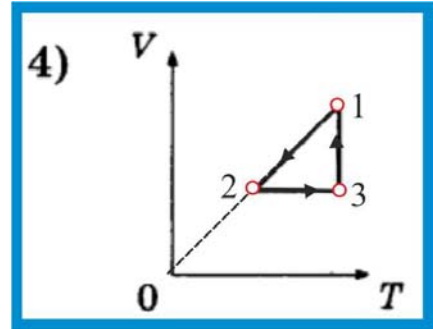
|   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| А | Б | В | Г |
| 2 | 1 | 2 | 2 |

12. В изолированной термодинамической системе идеальный газ сначала охлаждался при постоянном давлении, потом его давление увеличивалось при постоянном объёме, затем при постоянной температуре объём газа увеличился до первоначального значения. Какой из графиков на рисунке в координатных осях  $V-T$  соответствует этим изменениям состояния газа?



### Решение

- 1 – 2 – изобара;
- 2 – 3 – изохора;
- 3 – 1 – изотерма.



13. Когда соприкасаются два нейтральных тела из разного вещества, то

- 1) возможен переход части электронов с оболочек атомов одного тела другому телу, приводящий к появлению разноимённых зарядов на этих телах
- 2) возможен переход части электронов с оболочек атомов одного тела другому телу, приводящий к появлению одноимённых зарядов на этих телах
- 3) возможен переход части электронов с оболочек атомов одного тела другому телу, приводящий к появлению зарядов на одном из этих тел
- 4) возможно возникновение электрического заряда на одном из тел без появления заряда на втором теле

Какое из приведённых выше утверждений верно?

### Решение

1. **Электрическим зарядом**, по современным представлениям, является физическая скалярная величина, определяющая интенсивность электромагнитных взаимодействий, возникающих как между электрически заряженными частицами (точками), так и между заряженными макроскопическими телами.

2. **Свойства электрического заряда:**

- **Носителями электрического заряда** являются элементарные частицы – протон и электрон, а так же нестабильные частицы:  $\pi$  – мезоны,  $\mu$  – мезоны и т.д.;
- В природе существуют частицы с **положительными и отрицательными зарядами**. Заряд электрона, самый маленький из всех известных (элементарный) к настоящему времени, считается отрицательным (факт сугубо исторический) и равным  $e \cong -1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл. В качестве положительного элементарного заряда принят заряд протона  $p = +e = +1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл;
- **Электрон** является наименьшей из известных по массе стабильной частицей, обладающей элементарным зарядом. Элементарный заряд был открыт Дж. Дж. Томсоном в 1897 г. и впервые измерен непосредственно в 1909 г. Робертом Милликенем (США);
- **Основная загадка** электрического заряда, не вполне разрешённая к настоящему времени, заключается в том, что электрон и протон, имея одинаковые по модулю заряды, отличаются по массе примерно в 1670 раз: масса электрона –  $m_e \cong 1 \cdot 10^{-30}$  кг, масса протона  $m_p \cong 1,67 \cdot 10^{-27}$  кг;

- Заряд **макроскопического тела** определяется разностью между количеством электронов  $N_e$  и протонов  $N_p$ 
  - $Q = e(N_p - N_e)$ ;
- В природе экспериментально дробные заряды в свободном состоянии не обнаружены, т.е. **электрический заряд является квантованной величиной**.

3. Физиками обнаружено, что некоторые системы при определённых обстоятельствах обладают неизменными свойствами. Такие системы называются **консервативными**, в них выполняются законы сохранения. Всякий закон сохранения, по сути, сводится к утверждению, что в отсутствии источников и стоков в системе её параметры неизменны во времени.

4. Электрический заряд тоже относится к категории консервативных характеристик замкнутых систем, не испытывающих влияния извне. Дело в том, что для замкнутых систем алгебраическая сумма их электрических зарядов остаётся неизменной.

5. Так, например, если взять некоторое фиксированное количество воды, обычной  $H_2O$ , и определить суммарный электрический заряд всех структурных элементов, то он не будет изменяться при механических, физических, химических процессах.

6. Закон сохранения заряда является одним из фундаментальных законов природы. Невыполнение этого закона не зафиксировано в известных процессах, происходящих в природе или воспроизводимых человеком. Закон сохранения заряда является собой принцип несотворимости и неуничтожимости движущейся материи. Формулировка закона проста и лаконична: **Алгебраическая сумма электрических зарядов любой электрически изолированной системы остаётся неизменной, при протекании любых процессов внутри этой системы**

$$Q = \sum_{i=1}^{i=n} q_i = \text{const},$$

где  $Q$  – полный электрический заряд системы тел или частиц,  $q_i$  – электрический заряд  $i$  – той части системы,  $n$  – число частей системы.

7. Этот закон, наряду с законами сохранения импульса и энергии, составляет теоретическую основу анализа широкого круга разнообразных процессов, как на макро уровне, так и на микро уровнях. В частности, закон сохранения заряда успешно использовался при анализе результатов атомных и ядерных реакций.

8. В твёрдых телах, где связи между упорядоченно расположенными в пространстве ионами сильны, имеется некоторое число свободных электронов, способных перемещаться в пределах тела, или даже покидать его.

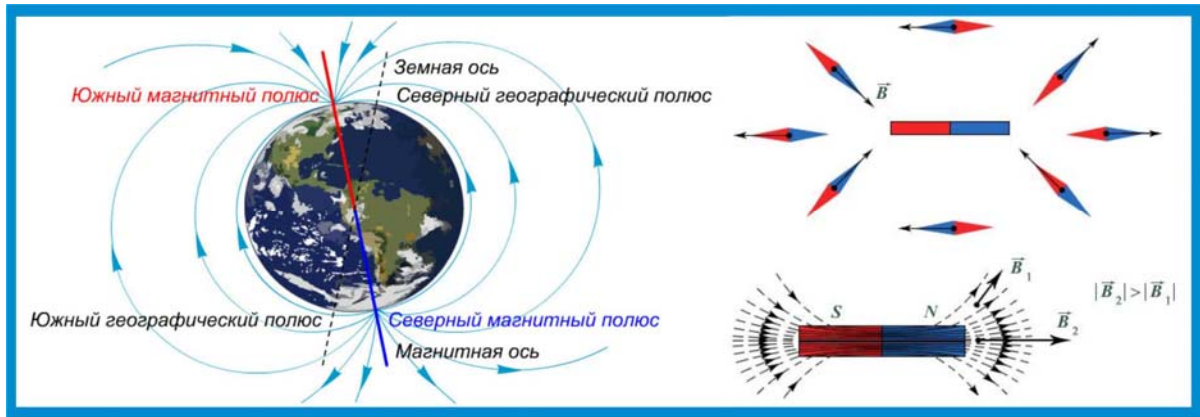
9. В этой связи верным является утверждение  $\mapsto$  (1).

**14.** При свободном подвешивании полосового магнита за середину его северный полюс указывает направление на

- 1) Южный магнитный полюс Земли, расположенный в некотором удалении от Северного географического полюса
- 2) Южный магнитный полюс Земли, расположенный в некотором удалении от Южного географического полюса
- 3) Северный магнитный полюс Земли, расположенный в некотором удалении от Северного географического полюса
- 4) Северный магнитный полюс Земли, расположенный в некотором удалении от Южного географического полюса

Какое из приведённых выше утверждений верно?

## Решение



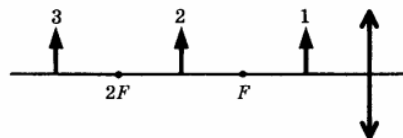
1. Северный полюс магнита повернётся в сторону южного магнитного полюса Земли, расположенного на некотором удалении от северного географического полюса.

15. При подключении резистора с неизвестным сопротивлением к источнику тока с ЭДС 10 В и внутренним сопротивлением 1 Ом напряжение на выходе источника тока равно 8 В. Чему равна сила тока в цепи?

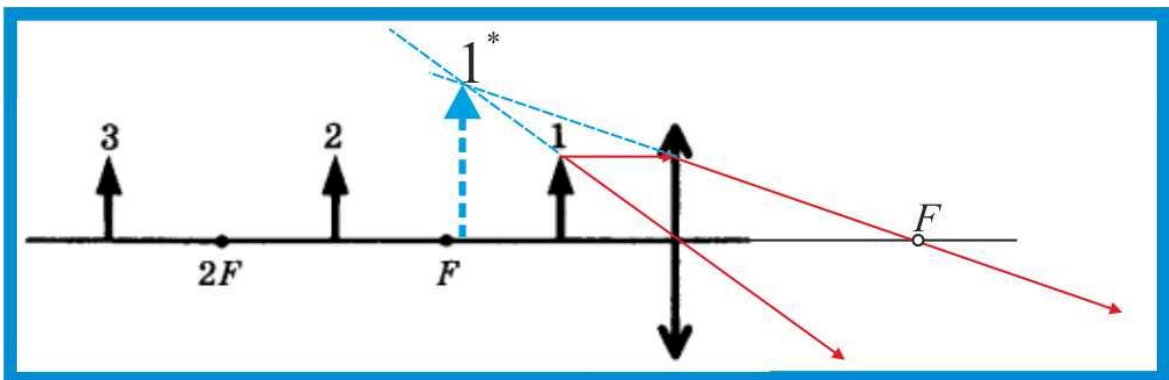
### Решение

$$I = \frac{\varepsilon - U}{r} = \frac{10 - 8}{1} = 2 \text{ A};$$

16. На рисунке представлено расположение собирающей линзы, её главной оптической оси, главных фокусов линзы и трёх предметов 1, 2 и 3 перед ней. Изображение какого из этих предметов будет мнимым увеличенным прямым?



### Решение

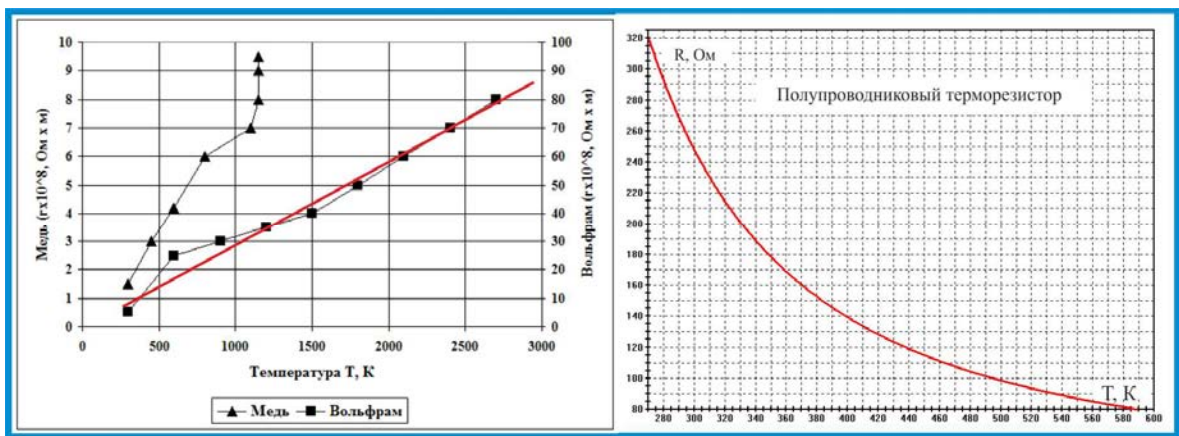


17. К источнику постоянного тока были подключены последовательно электрическая лампа накаливания и полупроводниковый терморезистор. Что произойдёт с электрическим сопротивлением нити лампы, напряжением на ней и с электрическим сопротивлением полупроводникового терморезистора при увеличении силы тока в цепи?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличение
- 2) уменьшение
- 3) неизменность

### Решение



1. При увеличении силы тока в цепи температура нити накала и полупроводникового терморезистора будет увеличиваться, при этом сопротивление этих элементов будет изменяться по-разному:

$$R_{\text{Нити}} = R_0(1 + \alpha t); \quad t \uparrow; R_{\text{Нити}} \uparrow; \quad \mapsto (1);$$

$$U_{\text{Нити}} = IR; \quad \Rightarrow \quad U_{\text{Нити}} \uparrow; \quad \mapsto (1)$$

$$R_{\text{П/П}} = R_0 e^{\frac{\Delta W}{2kT}}; \quad T \uparrow; R_{\text{П/П}} \downarrow; \quad \mapsto (2);$$

18. Материальная точка движется равномерно и прямолинейно противоположно направлению оси координат  $Ox$ . Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

А) координата точки

Б) путь, пройденный за время  $t$

ФОРМУЛЫ

1)  $s = vt$

2)  $s = v_0 t + \frac{at^2}{2}$

3)  $x = x_0 - vt$

4)  $x = x_0 + vt$

5)  $s = -vt$

### Решение

А) координата точки при  $|\vec{v}| = \text{const}$ ;  $(\vec{v}; \vec{i}) = \pi$ :

$$x = x_0 - vt; \quad \mapsto \quad (3);$$

Б) путь, пройденный за время  $t$ :

$$s = vt; \quad \mapsto \quad (1);$$

**19.** Каков спектр энергетических состояний атомного ядра и какие частицы испускает ядро при переходе из возбужденного состояния в нормальное?

- 1) спектр линейчатый, испускает гамма-кванты
- 2) спектр сплошной, испускает гамма-кванты
- 3) спектр сплошной, испускает бета-частицы
- 4) спектр линейчатый, испускает альфа-частицы

### Решение

1. Явление  $\gamma$ -излучения ядер состоит в том, что ядро ( ${}^A_Z X$ ) испускает  $\gamma$  квант без изменения массового числа  $A$  и заряда ядра  $Z$ . Испускание  $\gamma$ -излучения обычно происходит после  $\alpha$ - или  $\beta$ -распадов атомных ядер, если образовавшееся ядро образуется в возбужденном состоянии.

2. Гамма-излучение возникает при распаде возбужденных состояний ядер. Спектр  $\gamma$ -излучения всегда дискретен (спектр линейчатый) из-за дискретности ядерных уровней. С точностью до незначительной энергии отдачи ядра энергия  $\gamma$ -перехода равна разности энергий уровней, между которыми происходит  $\gamma$ -переход.

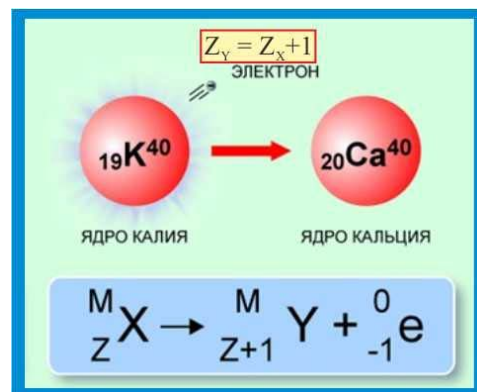
**20.** В результате электронного  $\beta$ -распада ядра атома элемента с зарядовым числом  $Z$  получается ядро атома элемента с зарядовым числом

- 1)  $Z-2$
- 2)  $Z+1$
- 3)  $Z-1$
- 4)  $Z+2$

### Решение

1.  $\beta$ -распад ядра представляет собой испускание электронов, поэтому при единичном электронном  $\beta$ -распаде ядром испускается один отрицательно заряженный электрон и заряд ядра увеличивается на единицу

$$Z_Y = Z_X + 1; \quad \mapsto \quad (2);$$

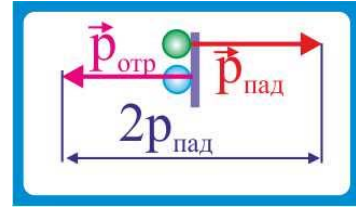


**21.** Чему равен импульс, переданный фотоном веществу при нормальном падении на поверхность, в случае отражения фотона веществом?

**Решение**

$$p_f = \frac{\varepsilon_f}{c}; \quad \varepsilon_f = \frac{hc}{\lambda}; \quad \Rightarrow \quad p_f = \frac{h}{\lambda}; \quad p_{\text{пад}} = \frac{h}{\lambda};$$

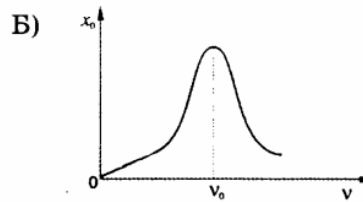
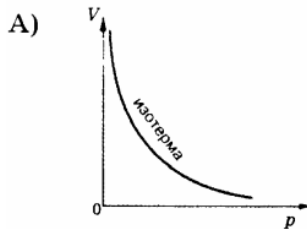
$$p_{\Sigma} = p_{\text{пад}} - (-p_{\text{отр}}) = p_{\text{пад}} + p_{\text{отр}} = 2p_{\text{пад}} = \frac{2h}{\lambda};$$



**22.** На графиках А и Б показаны зависимости одних физических величин от других физических величин.

Установите соответствие между графиками А и Б и перечисленными ниже видами зависимости.

**ГРАФИКИ**



**УТВЕРЖДЕНИЯ**

- 1) зависимость объема от давления газа при постоянной температуре
- 2) зависимость напряжения от относительного удлинения
- 3) зависимость амплитуды  $x_0$  вынужденных колебаний от частоты  $\nu$  изменений вынуждающей силы постоянной амплитуды
- 4) зависимость потенциальной энергии системы взаимодействующих молекул от расстояния между молекулами

**Решение**

А) изотермическое изменение объёма газа в функции давления:  $pV = \text{const}$ ;

Б) зависимость амплитуды вынужденных колебаний  $x_0$  от частоты  $\nu$  изменения вынуждающей внешней силы  $f_0$

$$x_0 = \frac{f_0}{\omega_0^2 - \nu^2} = \frac{f_0}{1 - \left(\frac{\nu}{\omega_0}\right)^2};$$

**23.** Для измерений малых напряжений в тысячные доли вольта применяются милливольтметры.

Определите цену деления верхней и нижней шкал милливольтметра, показанного на рисунке.

1) цена деления верхней шкалы равна 10 мВ, нижней — 2 мВ

2) цена деления верхней шкалы равна 5 мВ, нижней — 1 мВ

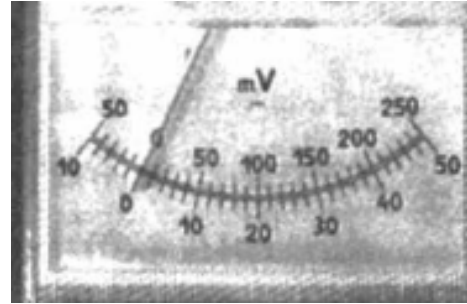
3) цена деления верхней шкалы равна 250 мВ, нижней — 50 мВ

4) цена деления верхней шкалы равна 50 мВ, нижней — 10 мВ

### Решение

1. Цена малого деления верхней шкалы: одно деление составляет 10 мВ; большое деление – 50 мВ.

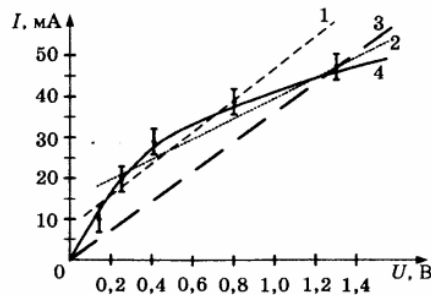
2. Цена малого деления нижней шкалы: одно деление составляет 2 мВ; большое деление – 10 мВ.



24. В таблице представлены результаты экспериментального исследования зависимости тока от напряжения с указанием границ погрешностей. По результатам измерений были построены графики 1–4 (см. рис.).

| $U$ , В | $\Delta U$ , В | $I$ , мА | $\Delta I$ , мА |
|---------|----------------|----------|-----------------|
| 0,111   | 0,003          | 10       | 3               |
| 0,242   | 0,003          | 20       | 3               |
| 0,381   | 0,004          | 30       | 3               |
| 0,788   | 0,006          | 40       | 3               |
| 1,242   | 0,008          | 50       | 3               |

На каком из графиков зависимость силы тока от напряжения представлена верно?



- 1) 1                      2) 2                      3) 3                      4) 4

### Решение

1. Наиболее достоверной представляется кривая 4 т.к. все точки кривой располагаются на серединах доверительных интервалов.

25. Сжатая на 2 см пружина подбрасывает стальной шар вертикально вверх на 20 см. Если вся энергия сжатой пружины передаётся шару, то на сколько увеличится высота полёта шара при сжатии пружины на 4 см?

### Решение

$$\left. \begin{aligned} \frac{k\Delta\ell^2}{2} &= mgh_1; \\ \frac{k(2\Delta\ell)^2}{2} &= mgh_2; \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{1}{4} = \frac{h_1}{h_2}; \quad h_2 = 4h_1 = 8\text{см}; \quad \Rightarrow \quad \Delta h = h_2 - h_1 = 6\text{ см};$$



26. Идеальный газ отдал количество теплоты 300 Дж, и при этом внутренняя энергия газа увеличилась на 100 Дж. Чему равна работа, совершённая газом?

**Решение**

$$-\delta A = \Delta U + \delta Q = -400 \text{ Дж};$$

27. В колебательном контуре, состоящем из конденсатора ёмкостью 2 мкФ и катушки, происходят свободные электромагнитные колебания с циклической частотой  $\omega = 1000 \text{ с}^{-1}$ . Чему равна амплитуда колебаний напряжения на конденсаторе при амплитуде колебаний силы тока в контуре 0,01 А?

**Решение**

1. Период собственных колебаний LC-контра:

$$\omega = \frac{2\pi}{T}; \Rightarrow T = \frac{2\pi}{\omega} = 6,28 \cdot 10^{-3} \text{ с};$$

2. Индуктивность катушки:

$$T = 2\pi\sqrt{LC}; \Rightarrow L = \frac{T^2}{4\pi^2 C} \approx 0,5 \text{ Гн};$$

3. Для идеального (без потерь) контра справедлив закон сохранения энергии:

$$\frac{Li_m^2}{2} = \frac{Cu_m^2}{2}; \Rightarrow u_m = i_m \sqrt{\frac{L}{C}} \approx 5 \text{ В};$$

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**

|                             |      |      |      |      |      |       |      |       |
|-----------------------------|------|------|------|------|------|-------|------|-------|
| $t, \text{ }^\circ\text{C}$ | 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  |
| $t, \text{ }^\circ\text{C}$ | 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:

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

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

сыщенных паров зависит от температуры, то и конденсация может начинаться при соответствующих температурах. При понижении температуры влажность изменится.

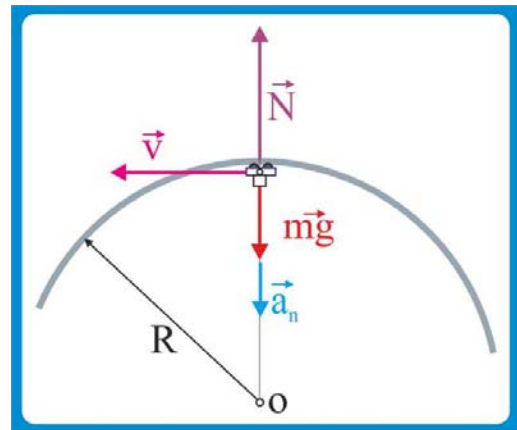
29. В аттракционе человек массой 80 кг движется на тележке по рельсам и совершает «мёртвую петлю» в вертикальной плоскости. Каков радиус круговой траектории, если в верхней точке сила давления человека на сиденье тележки равна 200 Н при скорости движения тележки 7,5 м/с? Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с<sup>2</sup>.

### Решение

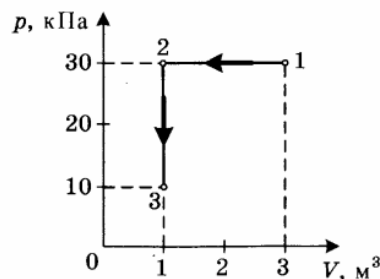
1. Условие прохождения тележки с человеком верхней точки круговой траектории (уравнение второго закона Ньютона в проекции на вертикальную ось):

$$N = \frac{mv^2}{R} - mg; \quad \frac{mv^2}{R} = N + mg;$$

$$R = \frac{N + mg}{\frac{v^2}{R}} = \frac{200 + 800}{\frac{56,25}{R}} \approx 4,5 \text{ м};$$



30. На диаграмме представлены изменения давления и объёма идеального одноатомного газа. Какое количество теплоты было получено или отдано газом при переходе из состояния 1 в состояние 3?



### Решение

1. Переход 1 – 2 проходит по изобарной схеме ( $p = \text{const}$ ), причем совершается механическая работа и изменяется внутренняя энергия самого газа:

$$A_{12} = p_1(V_2 - V_1) = 3 \cdot 10^4 \cdot (1 - 3) = -6 \cdot 10^4 \text{ Дж};$$

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R(T_2 - T_1); \quad T_1 = \frac{p_1 V_1}{\nu R}; \quad T_2 = \frac{p_2 V_2}{\nu R}; \quad \Delta U_{12} = \frac{3}{2}(p_2 V_2 - p_1 V_1);$$

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2}(3 \cdot 10^4 - 9 \cdot 10^4) = -9 \cdot 10^4 \text{ Дж};$$

2. Переход 2 – 3 происходит по изохорной схеме ( $V = \text{const}$ ), при этом работа не совершается, изменяется внутренняя энергия идеального газа:

$$\Delta U_{23} = \frac{3}{2} \nu R(T_3 - T_2) = \frac{3}{2}(p_3 V_3 - p_2 V_2) = \frac{3}{2}(1 \cdot 10^4 - 9 \cdot 10^4) = -12 \cdot 10^4 \text{ Дж};$$

3. Количество теплоты при изменении состояния газа 1 – 2 – 3:

$$Q_{123} = A_{12} + \Delta U_{12} + \Delta U_{23} = -27 \cdot 10^4 \text{ Дж};$$

31. При коротком замыкании клемм аккумулятора сила тока в цепи равна 20 А. При подключении к клеммам аккумулятора электрической лампы с электрическим сопротивлением нити 5,4 Ом сила тока в цепи равна 2 А. По этим результатам измерений определите ЭДС и внутреннее сопротивление аккумулятора.

### Решение

1. ЭДС источника (аккумулятора):

$$\left. \begin{array}{l} I_1 = \frac{\varepsilon}{r}; \\ I_2 = \frac{\varepsilon}{R + r}; \end{array} \right\} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} r = \frac{\varepsilon}{I_1}; \\ I_2 = \frac{\varepsilon}{R + \frac{\varepsilon}{I_1}}; \end{array} \right\} \Rightarrow \varepsilon = \frac{I_2 R}{1 - \frac{I_1}{I_2}} = \frac{2 \cdot 5,4}{1 - \frac{2}{20}} = 12 \text{ В};$$

2. Внутреннее сопротивление аккумулятора:

$$r = \frac{\varepsilon}{I_1} = 0,6 \text{ Ом};$$

32. Бассейн глубиной 3 м заполнен водой, относительный показатель преломления на границе воздух–вода 1,33. Каков радиус светового круга на поверхности воды от электрической лампы на дне бассейна?

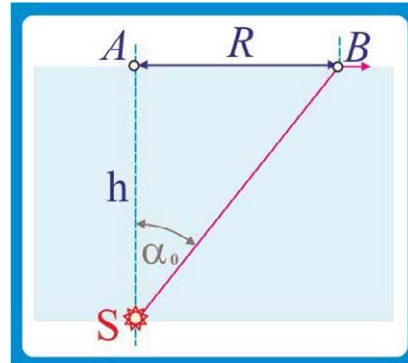
### Решение

1. Радиус освещённого круга на поверхности воды в бассейне будет определяться значением угла полного внутреннего отражения  $\alpha_0$ :

$$\sin \alpha_0 = \frac{1}{n}; \quad \alpha_0 = \arcsin \frac{1}{n} \approx 49^\circ;$$

2. Из прямоугольного треугольника SAB:

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{R}{h}; \quad \Rightarrow \quad R = \operatorname{tg} \alpha_0 h \approx 3,43 \text{ м};$$



## Вариант 4

1. Зависимость координаты  $x$  тела от времени  $t$  имеет вид:  
 $x = 20 - 6t + 2t^2$ .

Через сколько секунд после начала отсчёта времени  $t = 0$  с проекция вектора скорости тела на ось  $Ox$  станет равной нулю?

- 1) 1,5 с      2) 2 с      3) 3 с      4) 5 с

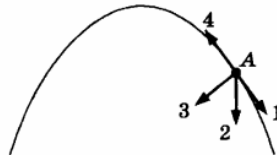
### Решение

1. Уравнение скорости:

$$v_x = \frac{dx}{dt} = -6 + 4t = 0; \quad 4t = 6; \quad t = 1,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

---

2. На рисунке показана траектория движения тела, брошенного под некоторым углом к горизонтальной поверхности Земли. В точке  $A$  этой траектории направление вектора скорости обозначено стрелкой 4; траектория движения тела и все векторы лежат в плоскости, перпендикулярной поверхности Земли. Сопротивление воздуха пренебрежимо мало. Какое направление имеет вектор ускорения тела в системе отсчёта Земля? В ответе укажите номер соответствующей стрелки.



### Решение

1. Показана траектория тела, брошенного под углом к горизонту, которое подчиняется следующим кинематическим уравнениям:

$$\begin{cases} v_x(t) = v_0 \cos \alpha, \\ v_y(t) = v_0 \sin \alpha - gt. \end{cases} \quad \begin{cases} x(t) = v_0 t \cos \alpha, \\ y(t) = v_0 t \sin \alpha - \frac{gt^2}{2} \end{cases}$$

движение тела протекает при действии ускорения свободного падения  $\vec{g}$ , вектор которого направлен перпендикулярно поверхности земли,  $\mapsto$  (2).

---

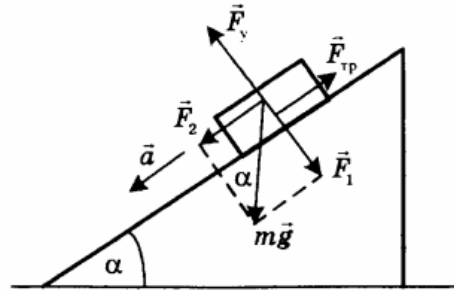
3. Брусок массой 2 кг под действием приложенных к нему сил движется равномерно на наклонной плоскости (угол  $\alpha = 30^\circ$ ). Чему равна сила трения?

### Решение

1. На основании второго закона Ньютона в проекции на направление движения тела:

$$\sum_{i=1}^{i=2} F_{i(x)} = ma_x; \quad a_x = 0; \quad \sum_{i=1}^{i=2} F_{i(x)} = 0;$$

$$mg \sin \alpha = F_{\text{тр}}; \quad F_{\text{тр}} = 2 \cdot 10 \cdot 0,5 = 10 \text{ Н};$$



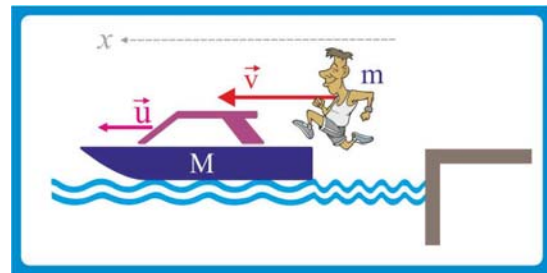
4. Человек массой  $m$  прыгает с горизонтальной скоростью  $v$  с берега в неподвижную лодку массой  $M$ . Каким суммарным импульсом обладает лодка с человеком, если сопротивление воды движению лодки пренебрежимо мало?

### Решение

1. Закон сохранения импульса в проекции на направление движения:

$$mv = (m + M)u;$$

$$u = \frac{mv}{M + m}; \quad p = (m + M)u = mv;$$



5. Сила притяжения между шарами с массами  $m_1$  и  $m_2$ , помещёнными на расстояние  $R$  между их центрами, равна  $F$ . Во сколько раз больше сила притяжения между шарами с массами  $2m_1$  и  $5m_2$ , если расстояние между их центрами равно  $2R$ ?

### Решение

$$\left. \begin{aligned} F_1 &= G \frac{m_1 m_2}{R^2}; \\ F_2 &= G \frac{2m_1 5m_2}{4R^2}; \end{aligned} \right\} \Rightarrow \zeta = \frac{F_2}{F_1} = \frac{10}{4} = 2,5; \mu$$

6. Человек сидит на стуле. Установите соответствие между силами, перечисленными в первом столбце таблицы, и следующими характеристиками:

- 1) приложена к человеку
- 2) приложена к стулу
- 3) направлена вертикально вниз
- 4) направлена вертикально вверх

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Сила тяжести человека |  |
| Сила веса человека    |  |

### Решение

1. Сила тяжести человека: приложена к человеку и направлена вертикально вниз  $\mapsto$  (1,3).

2. Сила веса человека: приложена к стулу и направлена вертикально вверх  $\mapsto$  (2,4).

7. Камень брошен вертикально вверх. Изменяются ли физические величины, перечисленные в первом столбце, во время его движения вверх и если изменяются, то как? Установите соответствие между физическими величинами и возможными видами их изменений, перечисленными во втором столбце. Влиянием сопротивления воздуха пренебречь.

| ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ      | ИХ ИЗМЕНЕНИЯ     |
|--------------------------|------------------|
| А) скорость              | 1) не изменяется |
| Б) ускорение             | 2) увеличивается |
| В) кинетическая энергия  | 3) уменьшается   |
| Г) потенциальная энергия |                  |

### Решение

А. Скорость вертикального броска:

$$v(t) = v_0 - gt; \Rightarrow t \uparrow; v \downarrow; \mapsto (3)$$

Б. Ускорение камня без учёта сопротивления:

$$\vec{g} = \text{const}; \mapsto (1);$$

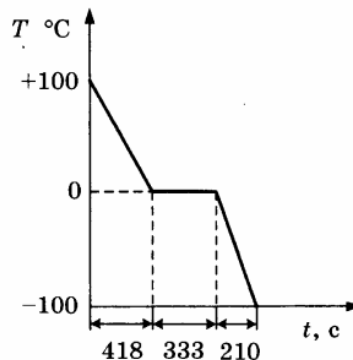
В. Кинетическая энергия камня:

$$K = \frac{mv^2}{2}; v \downarrow; K \downarrow; \mapsto (3);$$

Г. Потенциальная энергия:

$$\Pi = mgy(t); y(t) = v_0t - \frac{gt^2}{2}; y \uparrow; \Pi \uparrow; \mapsto (2);$$

8. На графике представлено, как изменялась с течением времени температура 0,1 кг воды, находившейся в начальный момент в жидком состоянии при температуре +100 °С, при постоянной мощности теплоотвода 100 Вт.



По графику на рисунке и известным значениям массы воды и мощности теплоотвода определите удельную теплоту плавления льда.

- |                  |                  |
|------------------|------------------|
| 1) 418 000 Дж/кг | 3) 210 000 Дж/кг |
| 2) 333 000 Дж/кг | 4) 1000 Дж/кг    |

### Решение

$$P\tau = m\lambda; \Rightarrow \lambda = \frac{P\tau}{m} = \frac{100 \cdot 333}{0,1} = 3,33 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}; \mapsto (2);$$

9. Если идеальный газ совершил работу 300 Дж, и при этом внутренняя энергия газа уменьшилась на 300 Дж, то газ в этом процессе
- 1) отдал 600 Дж
  - 2) отдал 300 Дж
  - 3) получил 300 Дж
  - 4) не отдал и не получил теплоту

**Решение**

1. Газ совершил работу за счёт собственной внутренней энергии:

$$\delta A = \Delta U; \quad \delta Q = 0; \quad \mapsto (4);$$


---

10. При температуре  $T_0$  и давлении  $p_0$  один моль идеального газа занимает объём  $V_0$ . Во сколько раз больше объём трёх молей газа при том же давлении  $p_0$  и температуре  $2T_0$ ?

**Решение**

$$\left. \begin{array}{l} p_0 V_0 = \nu R T_0; \\ p_0 V_x = 3\nu R 2T_0; \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{V_x}{V_0} = 6;$$


---

11. По мере повышения температуры воды от  $-50^\circ\text{C}$  до  $+50^\circ\text{C}$  вода находилась сначала в твёрдом состоянии, затем происходили процессы плавления и нагревания жидкой воды. Изменялась ли внутренняя энергия воды во время этих трёх процессов и если изменялась, то как? Установите соответствие между физическими процессами, перечисленными в первом столбце, и изменениями внутренней энергии воды, перечисленными во втором столбце.

**ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ**

- А) нагревание льда
- Б) плавление льда
- В) нагревание жидкой воды

**ИЗМЕНЕНИЕ ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИИ**

- 1) остаётся неизменной
- 2) увеличивается
- 3) уменьшается

**Решение**

А. Нагревание льда сопровождается увеличением его температуры:

$$\Delta U \approx \frac{i}{2} \nu R \Delta T; \quad \Delta T > 0; \quad \Rightarrow \quad \Delta U > 0; \quad \mapsto (2);$$

Б. Плавление льда сопровождается увеличением подвижности молекул, т.е. обретением ими дополнительных степеней свободы, к колебательным степеням свободы добавляются поступательные степени, отчего внутренняя энергия увеличивается

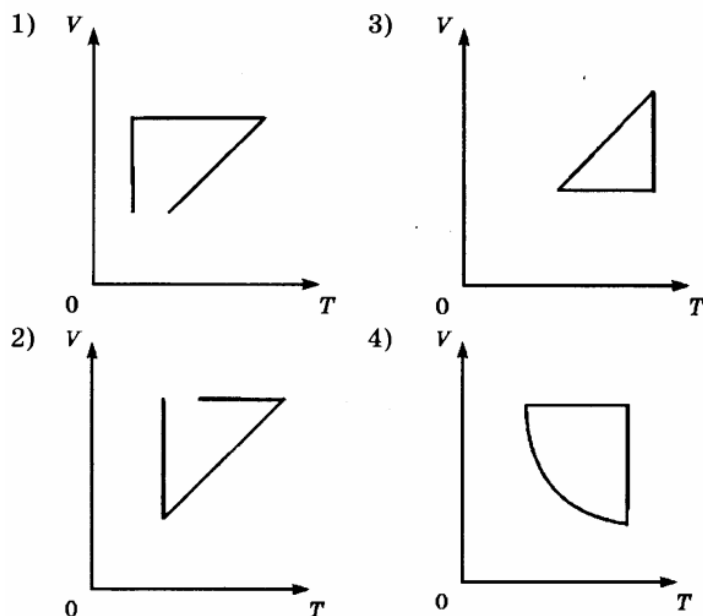
$$i \uparrow; \Delta U \uparrow; \quad \mapsto (2);$$

В. При нагревании жидкой воды увеличивается температура, возрастают скорости теплового движения молекул, увеличивается и кинетическая энергия:

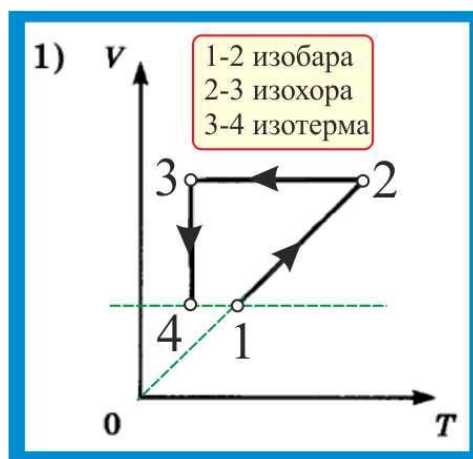
$$K_0 = \frac{m_0 \langle v \rangle^2}{2} \approx \frac{i}{2} k_B T; \quad \Rightarrow \quad T \uparrow; \Delta U \uparrow; \quad \mapsto (2);$$


---

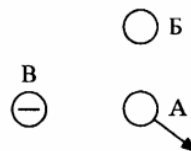
12. В изолированной термодинамической системе идеальный газ сначала нагревался при постоянном давлении, потом его давление уменьшалось при постоянном объёме, затем при постоянной температуре объём газа уменьшился до первоначального значения. Какой из графиков на рисунке в координатных осях  $V-T$  соответствует этим изменениям состояния газа?



Решение



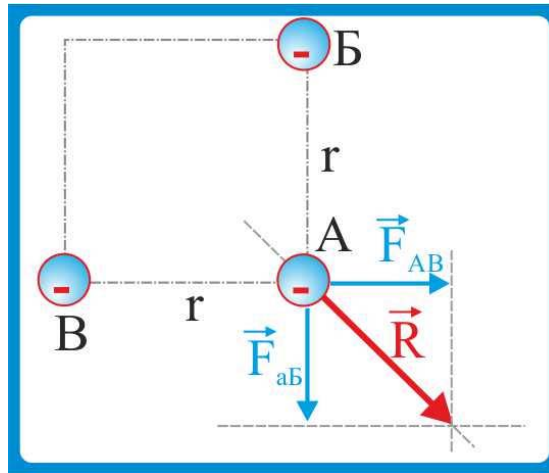
13. На рисунке представлено расположение одинаковых по модулю электрических зарядов А, Б и В, заряд В имеет отрицательный знак. Каковы знаки электрических зарядов А и Б, если вектор равнодействующей сил, действующих на заряд А со стороны зарядов Б и В, имеет направление, указанное на рисунке?



- 1) А +, Б +                      3) А -, Б +  
2) А +, Б -                      4) А -, Б -

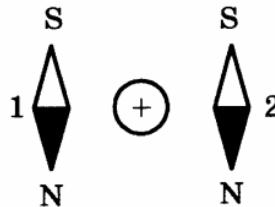


Решение

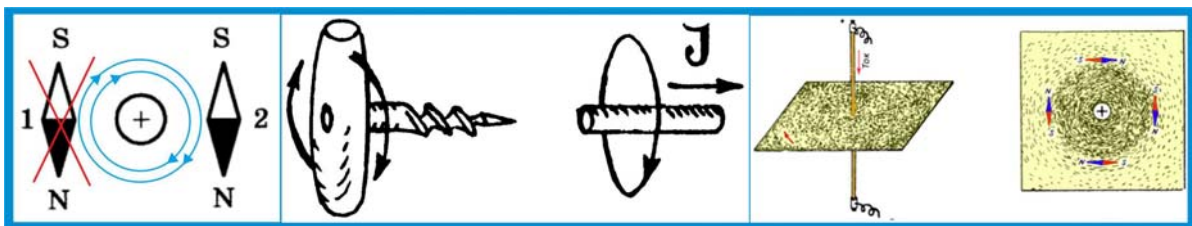


14. На рисунке представлено расположение в горизонтальной плоскости двух магнитных стрелок вблизи прямого проводника с током, расположенного перпендикулярно плоскости рисунка. Значок «+» в кружке указывает, что ток в проводнике направлен «от нас». Какая из представленных на рисунке магнитных стрелок имеет такую ориентацию, какой она должна быть под действием магнитного поля тока в проводнике?

- 1) только стрелка 1
- 2) только стрелка 2
- 3) стрелки 1 и 2
- 4) ни одна из двух



Решение



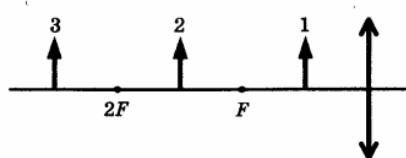
15. Чему равно электрическое сопротивление нагревателя, если при силе тока 0,2 А на нём за 4 минуты выделилось 960 Дж теплоты?

Решение

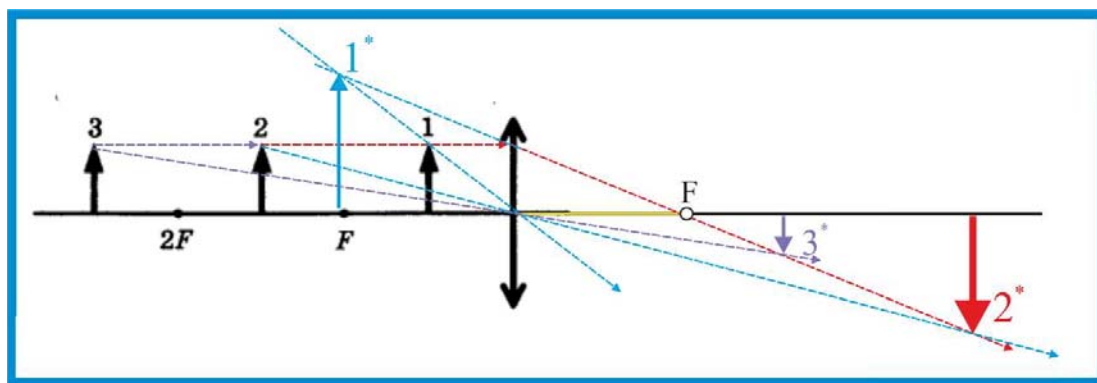
$$\frac{Q}{\tau} = P = I^2 R; \Rightarrow R = \frac{Q}{\tau I^2} = \frac{960}{240 \cdot 0,04} = 100 \text{ Ом};$$

16. На рисунке представлено расположение собирающей линзы, её главной оптической оси, главных фокусов линзы и трёх предметов 1, 2 и 3 перед ней. Изображение какого из этих предметов будет действительным увеличенным перевернутым?

- 1) только предмета 1
- 2) только предмета 2
- 3) только предмета 3
- 4) ни одного из трёх предметов



Решение



17. К источнику постоянного тока была подключена одна электрическая лампа, электрическое сопротивление которой равно внутреннему сопротивлению источника тока. Что произойдёт с силой тока в общей цепи, напряжением на выходе источника тока и мощностью тока на внешней цепи при подключении параллельно с этой лампой второй такой же лампы?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличение
- 2) уменьшение
- 3) неизменность

Решение

1. Изменение силы тока в цепи:

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{\varepsilon}{2r}; \\ I_2 &= \frac{2\varepsilon}{3r} = \frac{0,667\varepsilon}{r}; \end{aligned} \right\} \Rightarrow I_2 < I_1; \quad \mapsto \quad (1)$$

2. Напряжение на выходе источника тока:

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= \varepsilon - I_1 R = \varepsilon - I_1 r; \\ U_2 &= \varepsilon - I_2 R = \varepsilon - I_2 2r; \end{aligned} \right\} I_2 2r > I_1 r; \Rightarrow U_2 < U_1; \mapsto (2);$$

3. Мощность тока во внешней цепи:

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= I_1^2 r = \frac{\varepsilon^2}{4r^2} r = \frac{\varepsilon^2}{4r}; \\ P_2 &= I_2^2 \frac{r}{2} = \frac{0,445\varepsilon^2}{2r}; \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{1}{4} > \frac{0,445}{2}; \Rightarrow P_2 < P_1; \mapsto (2);$$

18. Автомобиль движется равноускоренно и прямолинейно с противоположными направлениями векторов  $\vec{v}$  и  $\vec{a}$ . Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

**ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ**

- А) модуль скорости  $v$   
 Б) путь, пройденный за время  $t$  со скоростью  $v$

**ФОРМУЛЫ**

- 1)  $v = v_0 - at$   
 2)  $v = v_0 + at$   
 3)  $s = v_0 t + \frac{at^2}{2}$   
 4)  $s = v_0 t - \frac{at^2}{2}$

**Решение**

А. Модуль скорости при равнозамедленном движении:

$$v(t) = v_0 - at; \mapsto (1);$$

Б. Путь, пройденный телом за время  $t$ :

$$s = v_0 t - \frac{at^2}{2}; \mapsto (4);$$

19. Испускание какой частицы не сопровождается изменением зарядового и массового числа атомного ядра?

- 1) альфа-частицы                      3) гамма-кванта  
 2) бета-частицы                      4) нейтрона

**Решение**

The diagram is divided into two main sections. The left section, titled 'АЛЬФА - РАСПАД' and 'БЕТА - РАСПАД', shows the transformation of nuclei. For alpha decay, it shows a Plutonium-239 nucleus ( ${}_{94}\text{Pu}^{239}$ ) decaying into an Uranium-235 nucleus ( ${}_{92}\text{U}^{235}$ ) and an alpha particle ( ${}_{2}^4\text{He}$ ). The formula is  ${}_{Z}^M X \rightarrow {}_{Z-2}^{M-4} Y + {}_{2}^4 \text{He}$ . For beta decay, it shows a Potassium-40 nucleus ( ${}_{19}\text{K}^{40}$ ) decaying into a Calcium-40 nucleus ( ${}_{20}\text{Ca}^{40}$ ) and an electron ( ${}_{-1}^0 e$ ). The formula is  ${}_{Z}^M X \rightarrow {}_{Z+1}^M Y + {}_{-1}^0 e$ . Below these, it states 'Изменяется массовое число и заряд' for alpha and 'Изменяется заряд ядра' for beta. The right section, titled 'Альфа-распад', 'Бета-распад', and 'Гамма-распад', shows the emission of particles from a nucleus. Alpha decay shows an alpha particle being emitted from a Neodymium-144 nucleus to form a Cerium-140 nucleus. Beta decay shows an electron and a neutrino being emitted from a Lithium-8 nucleus to form a Beryllium-8 nucleus. Gamma decay shows a gamma ray being emitted from a Sodium-24 nucleus to form another Sodium-24 nucleus. A legend at the top right identifies the particles: Alpha particle (red and blue spheres), Proton (red sphere), Neutron (grey sphere), and Beta particle (blue sphere).

20. Какие из приведённых ниже утверждений описывают планетарную модель строения атома, предложенную Эрнестом Резерфордом?

А. В центре каждого атома имеется положительно заряженное ядро радиусом  $\sim 10^{-15}$  м, вокруг него на расстояниях  $\sim 10^{-10}$  м подобно планетам, обращающимся вокруг Солнца, движутся отрицательно заряженные электроны.

Б. Почти вся масса атома сосредоточена в атомном ядре.

1) только А

3) А и Б

2) только Б

4) ни А, ни Б

### Решение

1. В 1903 г. Томсон обнаружил свою модель атома, который представлял собой положительно заряженную сферу, в которой симметрично были расположены электроны.

2. Спектры испускания Томсон объяснял тем обстоятельством, что электроны, удерживаемые в атоме квазиупругой электростатической силой, могли совершать вблизи положения равновесия гармонические колебания на соответствующих частотах.

3. Если атом представить в виде заряженной сферы, то напряжённость электрического поля внутри определится уравнением, которое для рассматриваемого случая может быть записано в виде

$$E(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{R^3} r \quad (0 \leq r \leq R),$$

где  $q$  – заряд сферы,  $R$  – радиус сферы,  $r$  – текущий радиус. На электрон, расположенный на удалении  $r$  от центра сферы будет действовать сила

$$F = (-q)E = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{R^3} r = -kr.$$

Будучи выведенным из состояния равновесия электрон станет совершать гармонические колебания на частоте

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m_e}} = \sqrt{\frac{e^2}{m_e R^3}},$$

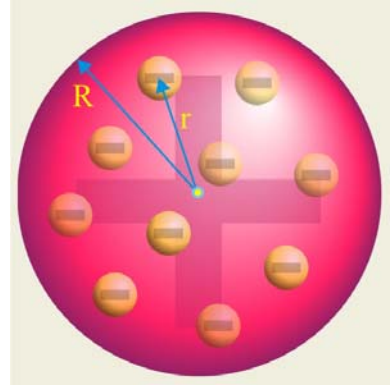
где  $e$  – заряд электрона,  $m_e$  – масса электрона,  $R$  – радиус атома. Последнее уравнение позволяет определить радиус атома

$$R = \sqrt[3]{\frac{e^2}{m_e \omega^2}}.$$

При длине волны спектральной линии  $\lambda \approx 6 \cdot 10^{-7}$  м (0,6 мкм), т.е. в видимой области спектра, что соответствует циклической частоте колебаний  $\omega \approx 3 \cdot 10^{15}$  с<sup>-1</sup>, расчётный радиус атома определится как

$$R \approx \sqrt[3]{\frac{(1,6 \cdot 10^{-19})^2}{1 \cdot 10^{-30} (3 \cdot 10^{15})^2}} \approx 3 \cdot 10^{-10} \text{ м}.$$

4. Полученное значение радиуса по порядку величины совпадает с молекулярно-кинетическими представлениями, что явилось для Томсона подтверждением правоты



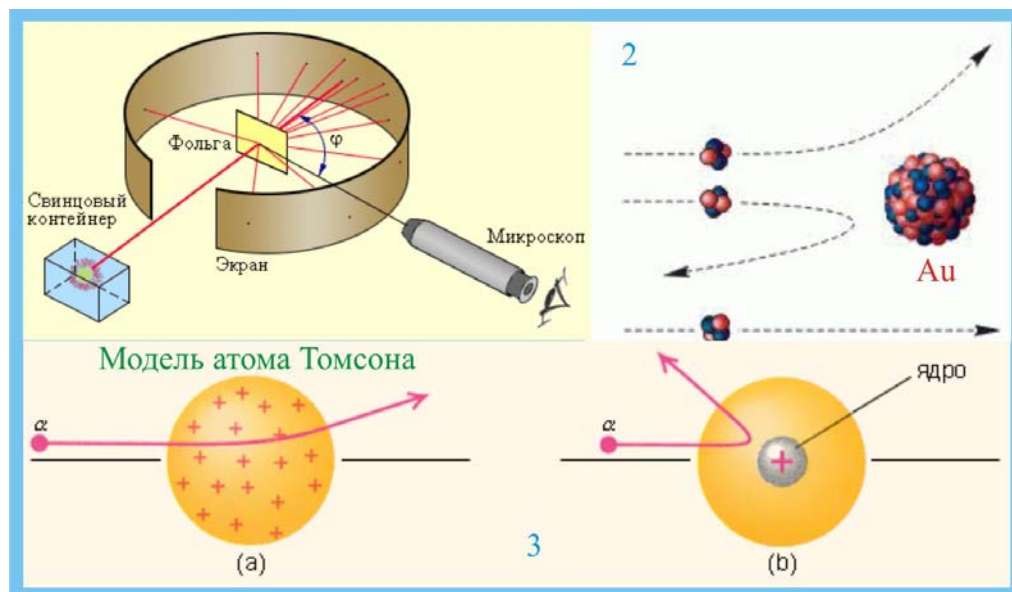
ности разработанной модели. Атом Томсона удовлетворял условию электрической нейтральности атома в обычном состоянии, количество положительного и отрицательного электричества в атомах было одинаковым.

При силовом удалении и присоединении одного или нескольких электронов, атом превращается в положительный или отрицательный ион, который уже становится носителем заряда и может участвовать в процессах возникновения и протекания электрического тока.

5. Впервые о способностях атомов терять и присоединять электроны сообщал в своих работах Майкл Фарадей, он же ввёл и термин «ион», происходящий от греческого «путешественник».

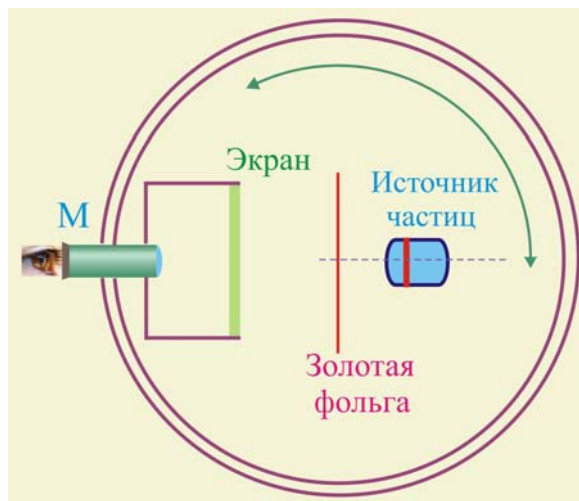
6. Резерфорд занялся исследованием положительно заряженных частиц, выбрасываемых радиоактивными веществами,  $\alpha$  – частицами. В начале 1908 г. Резерфорд установил, что эти частицы представляют атомы гелия, лишённые двух своих электронов, т.е. заряд этих частиц был равным  $+2e$ . Резерфорд решил использовать  $\alpha$  – частицы для выяснения структурных особенностей атома и соответствия их модели своего учителя. Резерфорд установил, что каждая  $\alpha$  – частица, попадая на экран, покрытый сернистым цинком, вызывала световую вспышку (сцинтилляцию), которую можно заметить в темноте после адаптации зрения.

7. На рис. (фрагмент 1) показана условная схема экспериментальной установки Резерфорда. Коллиматор из свинца (контейнер толстыми стенками), был снабжён отверстием малых размеров, что позволяло получать узкий пучок  $\alpha$  – частиц, который направлялся на листок золотой фольги, который должен был рассеивать частицы. Окрестности фольги были окружены экраном, покрытым сернистым цинком. Наблюдения за вспышками производились с помощью микроскопа.



8. В качестве рассеивающего вещества золото было выбрано не из-за цвета и престижности. Дело в том, что золото один из самых пластичных металлов с высокой плотностью, который можно прокатать таким образом, что в толщине фольги будет уместиться всего несколько атомных слоёв. Первоначально в установке Резерфорда экран имел прямоугольную форму и был совмещён с микроскопом. Источник  $\alpha$  – частиц, золотая фольга, экран и микроскоп располагались в камере, из которой откачивали воздух. Микроскоп с экраном совместно с корпусом камеры могли вращаться вокруг фольги, которая постоянно обстреливалась  $\alpha$  – частицами. Таким образом Резерфорд мог с 360 градусным обзором наблюдать рассеяние  $\alpha$  – частиц.

9. Если бы атом золота был таким, как его представлял Томсон, то  $\alpha$  – частицы должны были отклоняться на достаточно малые углы. Вращая детектор из сернистого цинка, исследователи могли измерять относительное число  $\alpha$  – частиц, рассеянных под различными углами  $\theta$ . Согласно модели атома Томсона,  $\alpha$  – частицы должны были свободно проходить сквозь атомы золота, и только некоторые из них должны были слегка отклоняться кулоновскими силами. Следовало ожидать, что поток  $\alpha$  – частиц пройдя фольгу, слегка расплывется, и средние углы рассеяния будут составлять несколько градусов. Такое рассеяние действительно наблюдалось, но совершенно неожиданно, вне всяких тогдашних представлений, одна из 20 000 частиц, падающих на фольгу толщиной  $4 \cdot 10^{-7}$  м, возвращалась назад, в сторону источника.



10. Резерфорд по этому поводу писал: « Это было самое невероятное событие, с которым мне когда-либо приходилось сталкиваться. Это было так же невероятно, как если бы вы выстрелили 15 дюймовым (38 см) снарядом в лист папиросной бумаги, а снаряд бы вернулся назад и попал в вас».

11. Резерфорду потребовалось несколько лет (до 1911 г.), чтобы окончательно разобраться с этим явлением. Он пришёл к выводу, что атом не однороден и имеет нечто очень малое массивное и с положительным зарядом, сосредоточенное в центре. Таким образом, была предложена ядерная модель атома.

12. Резерфорд наблюдал, что  $\alpha$  – частицы способные проникать через тонкие листочки металлов, при этом они отклоняются от первоначального направления своего движения. Было естественно допустить, что эти отклонения вызваны отталкиванием положительно заряженных  $\alpha$  – частиц от положительных зарядов атома. Силы, действующие на  $\alpha$  – частицы со стороны электронов, не могут заметно изменить направления их движения из-за слишком малой массы электронов.

13. Можно показать, что результат рассеяния существенно зависит от размеров объема, в пределах которого распределен положительный заряд атома. Только при малом размере положительного заряда атома силы отталкивания могут оказаться настолько большими, чтобы вызвать отклонение траекторий  $\alpha$  – частиц на значительные углы.

14. Если же положительный заряд атома распределен в пределах значительного объема, как полагал Томсон, то каждое прохождение  $\alpha$  – частицы вблизи атома отклонит ее на небольшой угол. Рассеяние  $\alpha$  – частиц в этом случае будет незначительным. Действительно, длительные наблюдения Резерфорда и ассистентов показали, что в большинстве своём  $\alpha$  – частицы к удовольствию Томсона рассеиваются на достаточно малые углы, порядка  $1 - 3^\circ$ .

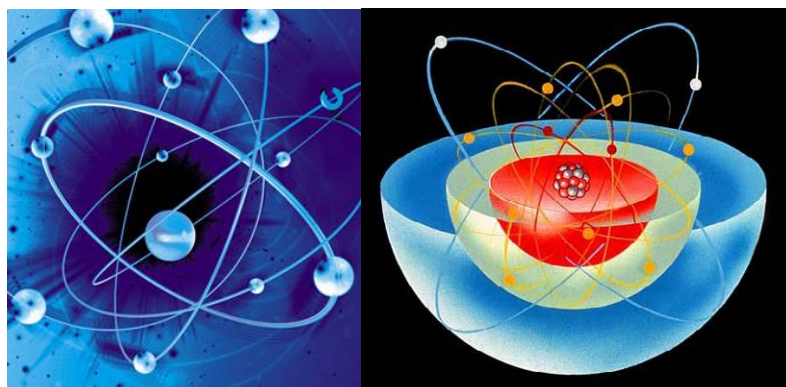
Статистика распределения по углам отклонения хорошо описывалась кривой Гаусса. Но, весьма редко, но всё же не случайно,  $\alpha$  – частицы отклонялись на углы, превышающие  $145^\circ$ , причём золото было не аномальным веществом.

Фольга из платины демонстрировала те же тенденции, примерно каждая из 8000 частиц, отклонялась на углы более  $90^\circ$ .

Исследователем стало ясно, что случаи «нестандартного» рассеяния требуют пересмотра модели атома. Получалось, что летящая  $\alpha$  – частица время от времени встречала

на своём пути нечто, локализованное в малом объёме и имеющее непременно положительный заряд.

Полученные экспериментальные данные и проделанные вычисления послужили основанием для разработки планетарной модели атома.



15. Наименьшее расстояние  $y_0$ , на которое может сблизиться  $\alpha$  – частица с ядром золота ( $Z = 79$ ), возможно найти сравнивая кинетическую и потенциальную энергию взаимодействующих объектов. Связывая систему отсчёта с центром масс системы ядро - частица, и пренебрегая кинетической энергией ядра атома золота, можно записать

$$\frac{mv^2}{2} \approx \frac{Ze \cdot 2e}{4\pi\epsilon_0 y_0};$$

Круговые орбиты электронов по классическим представлениям не должны были быть стационарными вследствие излучения электромагнитных волн, атомы же, как известно, образования чрезвычайно устойчивые. Это противоречие удалось объяснить только после более тщательных исследований, в частности, при анализе спектров излучения атомов.

Кстати, когда Резерфорд, соблюдая субординацию, рассказал о результатах экспериментов, то мэтр совсем не расстроился по поводу несостоятельности своей модели атома, похоже, что великий Томсон поставил перед Резерфордом задачу таким образом, чтобы подтвердить заранее известный ему одному ответ.

Когда стало очевидным, что во взаимодействии  $\alpha$  – частиц и ядер преобладают кулоновские силы, имеющие сходные с гравитационными силами, удерживающими планеты вокруг Солнца, то аналогия с планетной системой не преминула возникнуть.

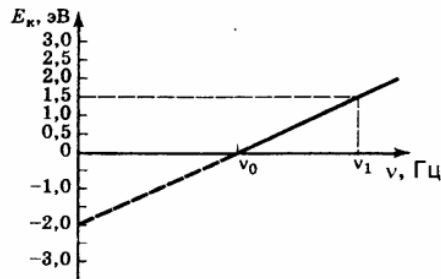
16. Резерфорд свою модель атома так и назвал – планетарная модель атома в которой отрицательно заряженные электроны, подобно планетам солнечной системы вращаются вокруг ядра, несущего положительный заряд в точности равный модулю суммарного электрического заряда всех электронов, мечущихся по своим орбитам.

Вместе с тем, несмотря на очевидные достоинства планетарной модели атома, она не раскрывала одно существенное обстоятельство. В соответствии с законами классической электродинамики, всякая ускоренно движущаяся заряженная частица **должна излучать электромагнитные волны**, т.е. в процессе движения должна терять энергию, т.е. уменьшать радиус своей круговой орбиты.

17. Если это так, то электроны должны были, в конце концов, упасть на ядро. А поскольку атомы демонстрировали устойчивость, то модель Резерфорда этот нюанс не объясняла. Другими словами классические представления не могли объяснить устойчивость атомов.

18. Таким образом, оба утверждения А и Б, приведенные в условии задачи являются верными.

21. График на рисунке представляет зависимость максимальной энергии фотоэлектронов от частоты падающих на катод фотонов. Определите по графику энергию фотона с частотой  $\nu_1$ .



### Решение

1. Работа выхода фотокатода  $A = 2$  эВ.
2. Уравнение внешнего фотоэффекта:

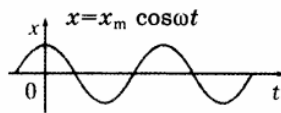
$$\varepsilon_f = h\nu = K_{\max} + A = 2 + 1,5 = 3,5 \text{ эВ};$$

22. На графиках А и Б показаны зависимости одних физических величин от других физических величин.

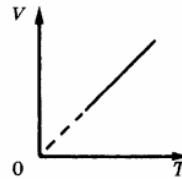
Установите соответствие между графиками А и Б и перечисленными ниже видами зависимости.

### ГРАФИКИ

А)



Б)



### ВИДЫ ЗАВИСИМОСТИ

- 1) зависимость объёма от давления газа при постоянной температуре
- 2) зависимость объёма идеального газа от абсолютной температуры
- 3) зависимость амплитуды вынужденных колебаний от частоты изменений вынуждающей силы постоянной амплитуды
- 4) зависимость координаты от времени

### Решение

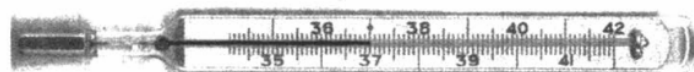
А.  $x(t) = x_m \cos \omega t$  – зависимость координаты тела, совершающего собственные свободные незатухающие колебания:  $\mapsto$  (4).

Б. Заданный отрезок прямой линии является изобарой:

$$\left. \begin{array}{l} pV_1 = \nu RT_1; \\ pV_2 = \nu RT_2; \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}; \Rightarrow V_2 = \frac{V_1 T_2}{T_1} = kV_1; \mapsto (2);$$



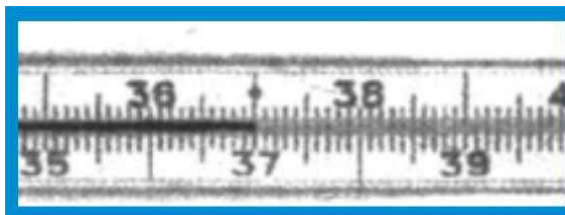
23. Как записать показания ртутного термометра, если считать, что при снятии показаний экспериментатор не ошибается, а за абсолютную погрешность измерений он принял цену деления термометра?



- 1)  $37\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$                       3)  $37\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$   
 2)  $37\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$                         4)  $37\text{ }^{\circ}\text{C}$

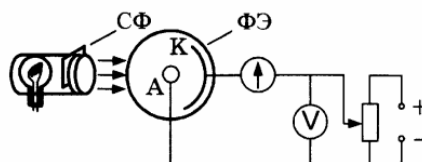
### Решение

1. Цена деления медицинского термометра  $\Delta t = 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , поэтому правильной будет запись результата измерения:



$$t = (37 \pm 0,1)\text{ }^{\circ}\text{C}; \quad \mapsto \quad (3);$$

24. Для определения работы выхода электрона катод фотоэлемента осветили светом известной длины волны  $\lambda$ , между катодом и анодом приложили задерживающее напряжение  $U_3$ . Для этого соединили анод с отрицательным полюсом источника напряжения, а катод — с положительным. При постепенном увеличении напряжения работа сил электрического поля, тормозящего движение фотоэлектронов, стала равна максимальной кинетической энергии фотоэлектронов:  $eU_3 = \frac{mv_{\text{макс}}^2}{2}$ , где  $e$  — заряд электрона. При выполнении этого условия ни один фотоэлектрон не смог достигнуть анода, сила фототока обратилась в нуль.



В одном из опытов были получены следующие результаты:

| $\lambda$ , нм | $U_3$ , В | $A$ , эВ |
|----------------|-----------|----------|
| 420            | 0,64      | ?        |

Какого цвета светофильтр был использован в этой серии измерений? Чему равна работа выхода?

Выберите утверждение, соответствующее результатам экспериментального исследования.

- 1) Светофильтр синего цвета, работа выхода равна примерно 2,3 эВ.
- 2) Светофильтр красного цвета, работа выхода равна примерно 2,3 эВ.
- 3) Светофильтр синего цвета, работа выхода равна примерно 3 эВ.
- 4) Светофильтр красного цвета, работа выхода равна примерно 3 эВ.

### Решение

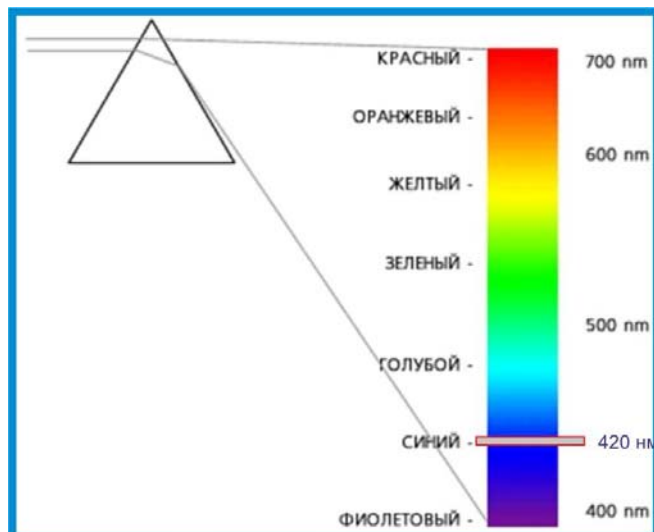
1. Вероятнее всего использовался синий светофильтр, в этом случае уравнение внешнего фотоэффекта будет иметь вид:

$$\frac{hc}{\lambda} = eU + A; \quad A = \frac{hc}{\lambda} - eU;$$

$$A \approx \frac{1,98 \cdot 10^{-25}}{4,2 \cdot 10^{-7}} - 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,64;$$

$$A \approx 3,7 \cdot 10^{-19} \text{ Дж};$$

$$A \approx \frac{3,7 \cdot 10^{-19}}{1,6 \cdot 10^{-19}} \approx 2,31 \text{ эВ}; \quad \mapsto (1);$$



25. Под действием силы тяжести  $m\vec{g}$  груза и силы  $\vec{F}$  рычаг, представленный на рисунке, находится в равновесии. Вектор силы  $\vec{F}$  перпендикулярен рычагу. Расстояния между точками приложения сил и точкой опоры, а также проекции этих расстояний на вертикальную и горизонтальную оси указаны на рисунке. Если модуль силы  $\vec{F}$  равен 120 Н, то чему равен модуль силы тяжести, действующей на груз?

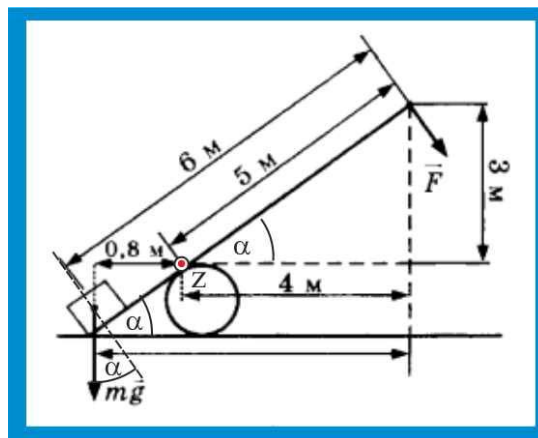
### Решение

1. Условие равновесия рычага относительно оси Z, проходящей через точку опоры перпендикулярно плоскости чертежа (алгебраическая сумма моментов сил относительно этой оси равна нулю):

$$mg \cos \alpha l = F 5l; \quad l = 1\text{ м};$$

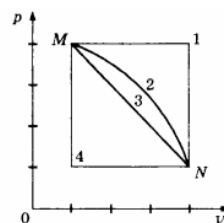
$$\cos \alpha = \frac{4}{5}; \quad \frac{4}{5} mg l = 5Fl;$$

$$|m\vec{g}| = \frac{25}{4} Fl = \frac{25 \cdot 120 \cdot 1}{4} = 750 \text{ Н};$$



26. Переход газа из состояния M в состояние N (см. рис.) совершается различными способами: 1, 2, 3, 4.

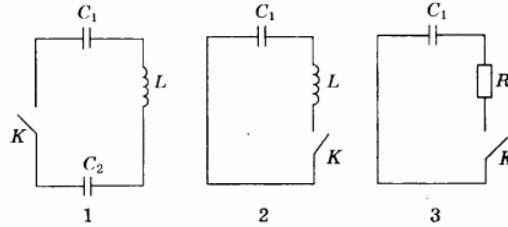
В каком случае работа газа максимальна?



### Решение

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV; \quad A = p(V) \Delta V; \quad \Delta V = \text{const}; \quad \bar{p}_1 > \bar{p}_2 > \bar{p}_3; \quad \Rightarrow \quad A_1 > A_2 > A_3; \quad \mapsto (1);$$

27. На рисунке представлены схемы трёх электрических цепей, во всех трёх конденсатор  $C_1$  заряжен, конденсатор  $C_2$  в первой цепи не заряжен. В какой из трёх цепей при замыкании ключа  $K$  возникнут электромагнитные колебания? Индуктивностью проводов пренебречь.



### Решение

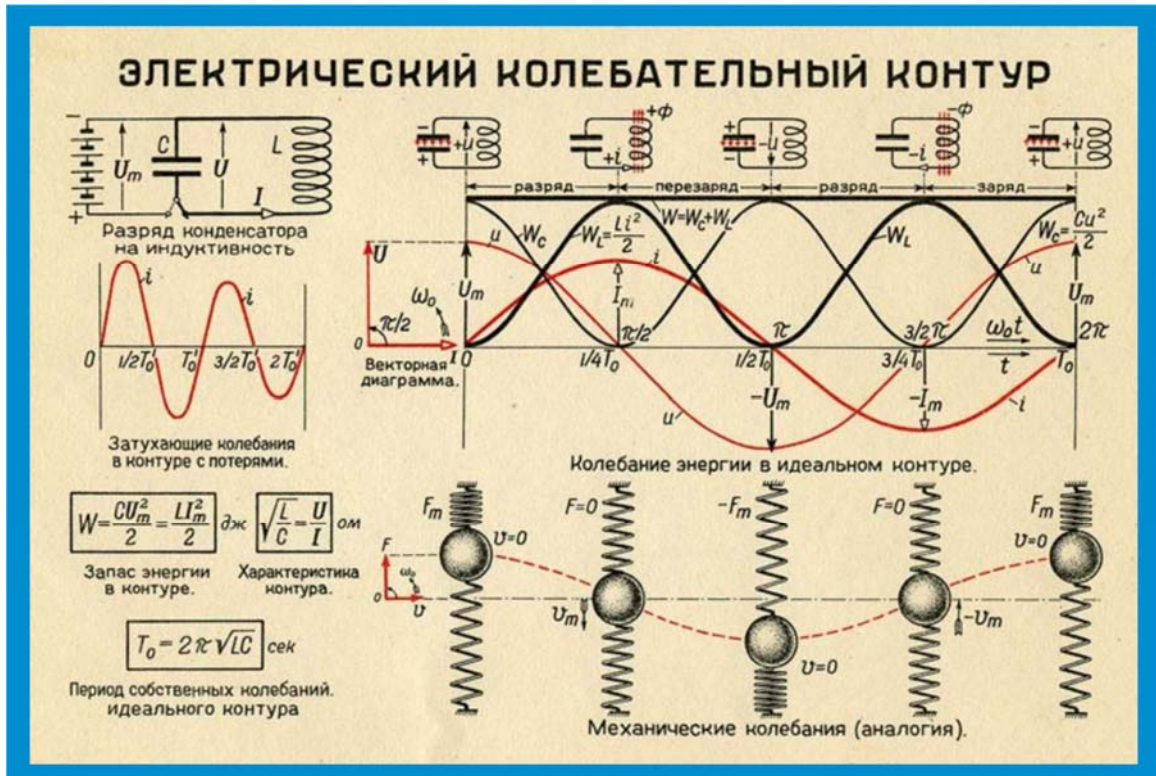
1. Чтобы в контуре возникли электромагнитные колебания необходимо наличие двух нелинейных (накопительных) элементов Конденсатора (накопитель электрической энергии)

$$W_C = \frac{Cu^2_{\max}}{2},$$

и накопитель энергии магнитного поля

$$W_L = \frac{Li^2_{\max}}{2};$$

2. Колебания могут возникнуть в схемах 1 и 2, содержащих ёмкости и индуктивности.



28. В эксперименте установлено, что при температуре воздуха в комнате 19 °С на стенке стакана с холодной водой начинается конденсация паров воды из воздуха, если снизить температуру стакана до 9 °С. По результатам этих экспериментов определите относительную влажность воздуха. Для решения задачи воспользуйтесь таблицей. Поясните, почему конденсация паров воды из воздуха может начинаться при различных значениях температуры воздуха.

**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:

$$\varphi = \frac{p_{n(9^\circ)}}{p_{n(19^\circ)}} = \frac{11 \cdot 10^9}{22 \cdot 10^9} = 0,5 \text{ (50\%);}$$

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. При понижении температуры влажность изменится.

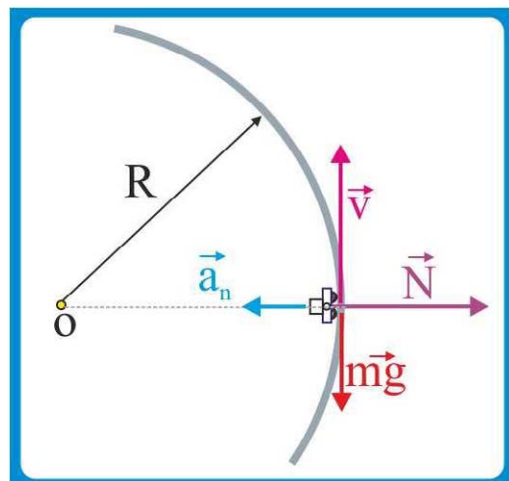
29. В аттракционе человек массой 80 кг движется на тележке по рельсам и совершает «мёртвую петлю» в вертикальной плоскости. Каков радиус круговой траектории, если при скорости 10 м/с, направленной вертикально вверх, сила нормального давления человека на сиденье тележки равна 1600 Н? Ускорение свободного падения равно 10 м/с<sup>2</sup>.

### Решение

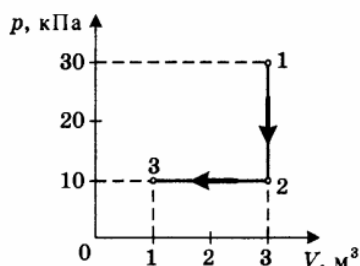
1. Условие прохождения тележки с человеком верхней точки круговой траектории (уравнение второго закона Ньютона в проекции на вертикальную ось):

$$N = \frac{mv^2}{R}; \quad R = \frac{mv^2}{N};$$

$$R = \frac{80 \cdot 100}{1600} \approx 5 \text{ м;}$$



30. На диаграмме (см. рис.) представлены изменения давления и объёма идеального одноатомного газа. Какое количество теплоты было получено или отдано газом при переходе из состояния 1 в состояние 3?



### Решение

1. Процесс изменения состояния 1 – 2 (уменьшение давления, сопровождающееся уменьшением температуры) протекает при постоянном объёме, в этой связи, работа газом не совершается, но изменяется внутренняя энергия газа:

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1); \quad T_1 = \frac{p_1 V_1}{\nu R}; \quad T_2 = \frac{p_2 V_2}{\nu R}; \quad \Delta U_{12} = \frac{3}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1);$$

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} (3 \cdot 10^4 - 9 \cdot 10^4) = -9 \cdot 10^4 \text{ Дж};$$

2. Процесс изменения состояния 2 – 3 (уменьшение объёма при постоянном давлении) сопровождается совершением работы над газом и изменением его внутренней энергии:

$$A_{23} = p_2 (V_3 - V_2) = 10^4 (1 - 3) = -2 \cdot 10^4 \text{ Дж};$$

$$\Delta U_{23} = \frac{3}{2} (p_3 V_3 - p_2 V_2) = \frac{3}{2} (1 \cdot 10^4 - 3 \cdot 10^4) = -3 \cdot 10^4 \text{ Дж};$$

3. Количество теплоты, отданное газом:

$$Q_{123} = -(\Delta U_{12} + A_{23} + \Delta U_{23}) = -14 \cdot 10^4 \text{ Дж};$$

31. При коротком замыкании выводов гальванического элемента сила тока в цепи равна 2 А. При подключении к выводам гальванического элемента электрической лампы электрическим сопротивлением 3 Ом сила тока в цепи равна 0,5 А. По результатам этих экспериментов определите внутреннее сопротивление гальванического элемента.

### Решение

1. ЭДС источника (аккумулятора):

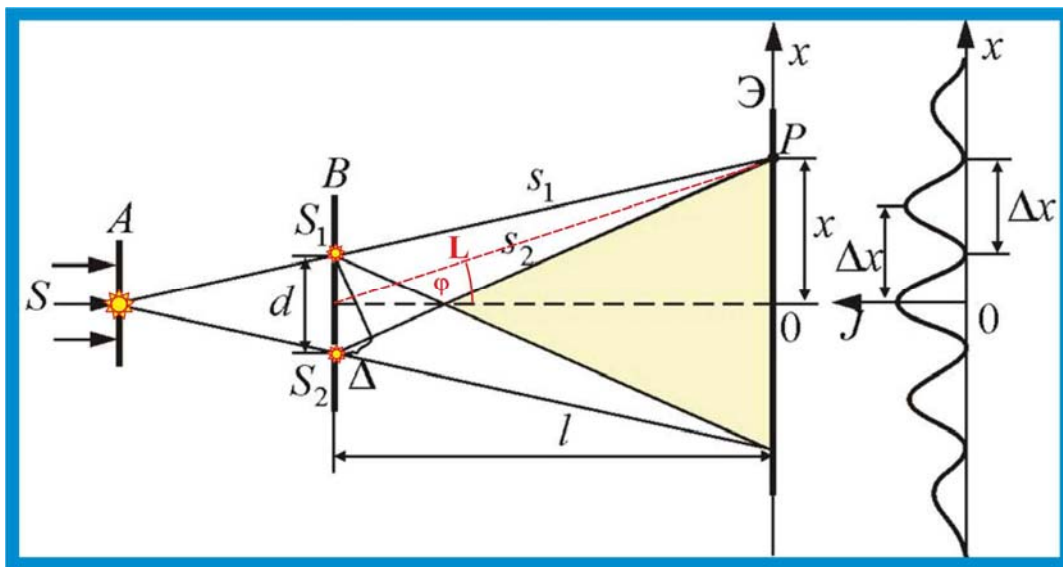
$$\left. \begin{array}{l} I_1 = \frac{\varepsilon}{r}; \\ I_2 = \frac{\varepsilon}{R + r}; \end{array} \right\} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} r = \frac{\varepsilon}{I_1}; \\ I_2 = \frac{\varepsilon}{R + \frac{\varepsilon}{I_1}}; \end{array} \right\} \Rightarrow \varepsilon = \frac{I_2 R}{1 - \frac{I_1}{I_2}} = \frac{0,5 \cdot 3}{1 - \frac{0,5}{2}} = 2 \text{ В};$$

2. Внутреннее сопротивление аккумулятора:

$$r = \frac{\varepsilon}{I_1} = 1 \text{ Ом};$$

32. Для наблюдения явления интерференции света используется точечный источник света и небольшой экран с двумя малыми отверстиями у глаза наблюдателя. Оцените максимальное расстояние  $d$  между малыми отверстиями в экране, при котором может наблюдаться явление интерференции света. Разрешающая способность глаза равна  $1'$ , длина световой волны  $5,8 \cdot 10^{-7}$  м.

### Решение

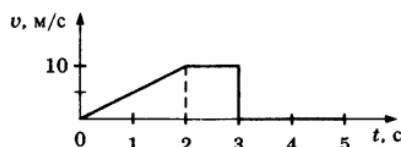


1. Условие наблюдения интерференционной картины двух когерентных волн от источников света  $S_2$  и  $S_3$ :

$$x = \frac{L}{d}\lambda; \quad d = \frac{L}{x}\lambda; \quad \sin \varphi = \frac{x}{L}; \quad \sin \frac{1}{60} \approx 2,91 \cdot 10^{-4}; \quad d = \frac{\lambda}{\sin \varphi} = \frac{5,8 \cdot 10^{-7}}{2,91 \cdot 10^{-4}} \approx 2 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

## Вариант 5

1. На рисунке представлен график зависимости модуля скорости  $v$  тела от времени  $t$ . Найдите путь, пройденный телом за время от момента времени 0 с до момента времени 5 с.



- 1) 0 м      2) 15 м      3) 20 м      4) 30 м

### Решение

$$s_{0-5} = \frac{at_{1-2}^2}{2} + v_{2-3}t_{2-3} = \frac{5 \cdot 2^2}{2} + 10 \cdot 1 = 20 \text{ м};$$

2. Пловец плывёт по течению реки. Чему равна скорость пловца относительно берега, если скорость пловца относительно воды 0,4 м/с, а скорость течения реки 0,3 м/с?

### Решение

$$v_a = v_r + v_0 = 0,3 + 0,4 = 0,7 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

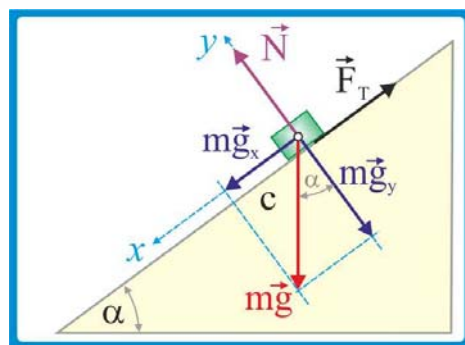
3. Брусок массой 0,1 кг лежит неподвижно на доске, наклонённой к горизонтальной поверхности под углом  $\alpha_0 = 27^\circ$ . При малейшем увеличении угла наклона доски брусок начинает скользить вниз по доске. Чему равен коэффициент трения?

### Решение

1. Брусок покоится на наклонной плоскости под действием двух сил: силы трения, которая стремится удерживать брусок на плоскости и проекции силы тяжести на ось  $x$  совпадающую с направлением возможного перемещения.

2. Условие равновесия бруска в проекции на направление возможного перемещения:

$$\mu mg \cos \alpha - mg \sin \alpha = 0; \Rightarrow \mu = \operatorname{tg} \alpha \approx 0,51;$$



4. Атом массой  $m$ , движущийся со скоростью  $v$ , столкнулся с неподвижным атомом массой  $2m$ . Каким суммарным импульсом обладают два атома в момент столкновения?

### Решение

1. Закон сохранения импульса в проекции на направление движения:

$$mv = (m + M)u;$$

$$u = \frac{mv}{V + m}; \quad p = (m + M)u = mv;$$


---

5. Сила притяжения между шарами с массами  $m_1$  и  $m_2$ , помещёнными на расстояние  $R$  между их центрами, равна  $F$ . Во сколько раз нужно увеличить расстояние между центрами шаров с массами  $\frac{m_1}{2}$  и  $2m_2$ , чтобы сила притяжения уменьшилась в 9 раз?

### Решение

$$\left. \begin{aligned} F &= G \frac{m_1 m_2}{R^2}; \\ \frac{F}{9} &= G \frac{\frac{m_1}{2} 2m_2}{\zeta^2 R^2}; \end{aligned} \right\} \Rightarrow \zeta = \sqrt{9} = 3; \mu$$


---

6. Комета движется по эллиптической орбите вокруг Солнца. Как изменяются перечисленные в первом столбце таблицы физические величины во время приближения кометы к Солнцу, если считать, что на нее действует только тяготение Солнца?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) не изменяется
- 2) только увеличивается по модулю
- 3) только уменьшается по модулю
- 4) увеличивается по модулю и изменяется по направлению
- 5) уменьшается по модулю и изменяется по направлению
- 6) увеличивается по модулю, не изменяется по направлению
- 7) уменьшается по модулю, не изменяется по направлению

|                             |
|-----------------------------|
| Скорость                    |
| Ускорение                   |
| Кинетическая энергия        |
| Потенциальная энергия       |
| Полная механическая энергия |

### Решение

1. Линейная скорость спутника:

$$\frac{mv^2}{r} = G \frac{mM}{r^2}; \quad v = \sqrt{\frac{GM}{r}};$$



$$r_1 > r_2; \Rightarrow v_2 > v_1; \mapsto (4);$$

2. Ускорение спутника:

$$a_n = \frac{v^2}{r}; \quad v^2 \uparrow; a_n \uparrow; \mapsto (4);$$

3. Кинетическая энергия спутника скалярная величина:

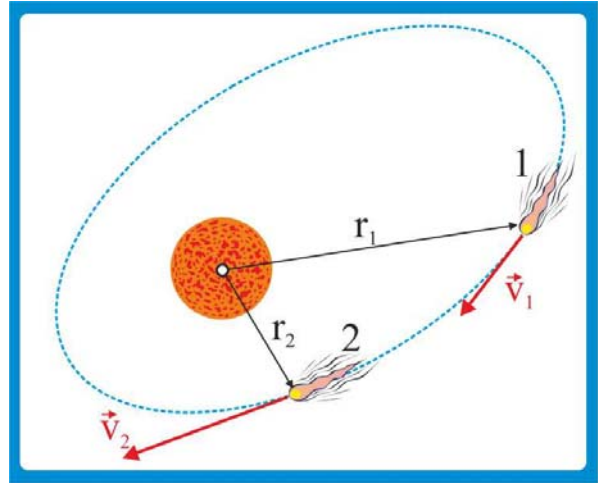
$$K = \frac{mv^2}{2}; \quad v \uparrow; K \uparrow; \mapsto (2)$$

4. Потенциальная энергия спутника:

$$\Pi = mg(R + r); \quad r \downarrow; \Pi \downarrow; \mapsto (3);$$

5. Полная механическая энергия спутника на орбите:

$$K + \Pi = \text{const}; \mapsto (1);$$



|  |   |
|--|---|
| Скорость                                   | 4 |
| Нормальное (центростремительное) ускорение | 4 |
| Кинетическая энергия                       | 2 |
| Потенциальная энергия                      | 3 |
| Полная механическая энергия                | 1 |

7. Сиденья каруселей вращаются на одном уровне от земли по окружности неизменного радиуса с неизменной линейной скоростью. Изменяются ли перечисленные в первом столбце физические величины во время такого движения сидений и если изменяются, то как? Установите соответствие между физическими величинами, перечисленными в первом столбце, и возможными видами их изменений, перечисленными во втором столбце. Влиянием сопротивления воздуха пренебречь.

**ФИЗИЧЕСКИЕ  
ВЕЛИЧИНЫ**

- А) угловая скорость  
 Б) ускорение  
 В) кинетическая энергия  
 Г) потенциальная энергия

**ИХ ИЗМЕНЕНИЯ**

- 1) не изменяется  
 2) увеличивается  
 3) уменьшается  
 4) не изменяется по модулю, изменяется по направлению  
 5) не изменяется ни по модулю, ни по направлению  
 6) увеличивается по модулю, не изменяется по направлению  
 7) уменьшается по модулю, не изменяется по направлению

**Решение**

А. Угловая скорость  $\omega$  во время вращательного движения вокруг вертикальной оси

остаётся величиной постоянной, как по модулю, так и по направлению, потому что вращающееся вокруг неподвижной оси тело за равные промежутки времени поворачивается на равные углы:

$$\bar{\omega} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \bar{k} = \text{const}; \quad t \rightarrow (1);$$

$\bar{k}$  – единичный вектор, направленный вдоль оси  $OZ$ .

Б. Ускорение при равномерном вращении будет нормальным (центростремительным) направленным по радиус-вектору к оси вращения. Модуль нормального ускорения ввиду постоянства  $\omega$  и  $r$  будет неизменным, а направление вектора нормального ускорения будет меняться, в зависимости от положения движущегося по круговой траектории тела:

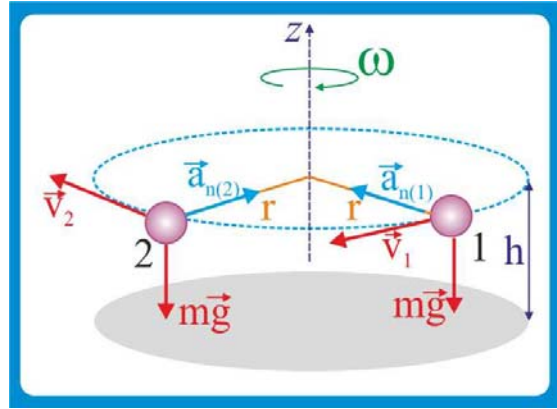
$$|\bar{a}_n| = \frac{v^2}{r} = \text{const}; \quad \bar{a}_n = f(t); \quad t \rightarrow (4);$$

В. Кинетическая энергия вращающегося тела будет величиной постоянной, потому что  $|\bar{v}| = \omega r$

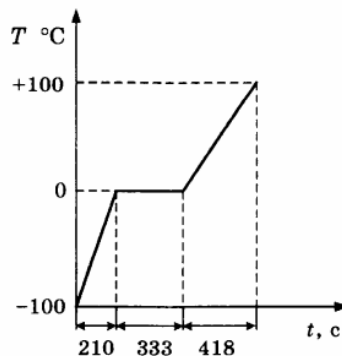
$$K = \frac{mv^2}{2}; \quad \{|\bar{v}|, r\} = \text{const}; \Rightarrow K = \text{const}; \quad t \rightarrow (1);$$

Г. Потенциальная энергия тела тоже величина постоянная, потому что тело (кабина карусели) по условию задачи всё время остаётся на одинаковой высоте над землёй

$$\Pi = mgh; \quad \{m, h\} = \text{const}; \Rightarrow \Pi = \text{const}; \quad t \rightarrow (1);$$



8. На графике представлено, как изменялась с течением времени температура 0,1 кг воды, находившейся в начальный момент в кристаллическом состоянии при температуре  $-100^\circ\text{C}$ , при постоянной мощности теплопередачи 100 Вт.



По графику на рисунке определите, сколько секунд длился процесс плавления льда.

- 1) 210 с      2) 333 с      3) 418 с      4) 961 с

### Решение

1. Процесс фазового перехода первого рода (плавление) протекает при постоянной температуре и длится в данном случае  $\tau = 333 \text{ с}$   $t \rightarrow (2)$ .

9. Идеальный газ получил количество теплоты 300 Дж и совершил работу 100 Дж. При этом внутренняя энергия газа
- 1) увеличилась на 400 Дж
  - 2) увеличилась на 200 Дж
  - 3) уменьшилась на 200 Дж
  - 4) уменьшилась на 400 Дж

**Решение**

1. Согласно первому началу (закону) термодинамики:

$$\delta Q = \Delta U + \delta A; \Rightarrow \Delta U = \delta Q - \delta A = 200 \text{ Дж};$$


---

10. Во сколько раз увеличится давление идеального газа при уменьшении его объёма в 2 раза и увеличении его абсолютной температуры в 4 раза?

**Решение**

$$\left. \begin{array}{l} p_1 V_1 = \nu R T_1; \\ p_2 \frac{V_1}{2} = \nu R 4 T_1; \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{p_2}{p_1} = 8;$$


---

11. При быстром движении поршня в закрытом цилиндре воздушного насоса объём воздуха увеличился. Установите соответствие между физическими величинами, характеризующими процесс расширения воздуха, перечисленными в первом столбце, и их изменениями во втором столбце.

**ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ      ИХ ИЗМЕНЕНИЯ**

- |                       |                 |
|-----------------------|-----------------|
| А) давление           | 1) увеличение   |
| Б) температура        | 2) уменьшение   |
| В) внутренняя энергия | 3) неизменность |

**Решение**

А. При расширении газа его давление уменьшается:

$$p = \frac{\nu R T}{V}; \Rightarrow V \uparrow; p \downarrow; \mapsto (2);$$

Б. Температура:

$$p = n k_B T; \Rightarrow p \downarrow; T \downarrow; \mapsto (2);$$

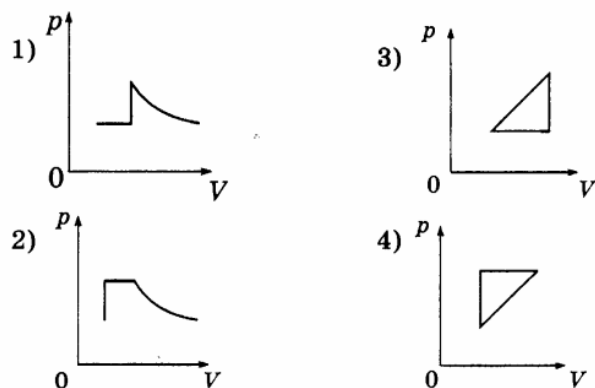
В. Внутренняя энергия газа:

$$\Delta U = \frac{i}{2} \nu R \Delta T; \quad T \downarrow; \Delta U \downarrow; \mapsto (2);$$

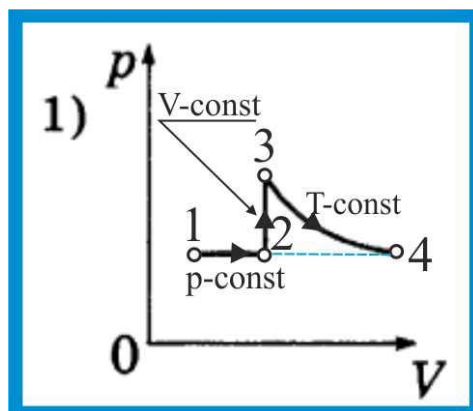

---

12. В изолированной термодинамической системе идеальный газ нагревался при постоянном давлении, потом его давление увеличивалось при постоянном объёме, затем при

постоянной температуре давление газа уменьшилось до первоначального значения. Этим изменениям состояния газа соответствует график на рисунке



Решение



13. Внутренняя энергия тела определяется
- 1) скоростью движения и массой тела
  - 2) только кинетической энергией беспорядочного движения частиц, из которых состоит тело
  - 3) только потенциальной энергией взаимодействия частиц, из которых состоит тело
  - 4) кинетической энергией беспорядочного движения частиц и потенциальной энергией их взаимодействия

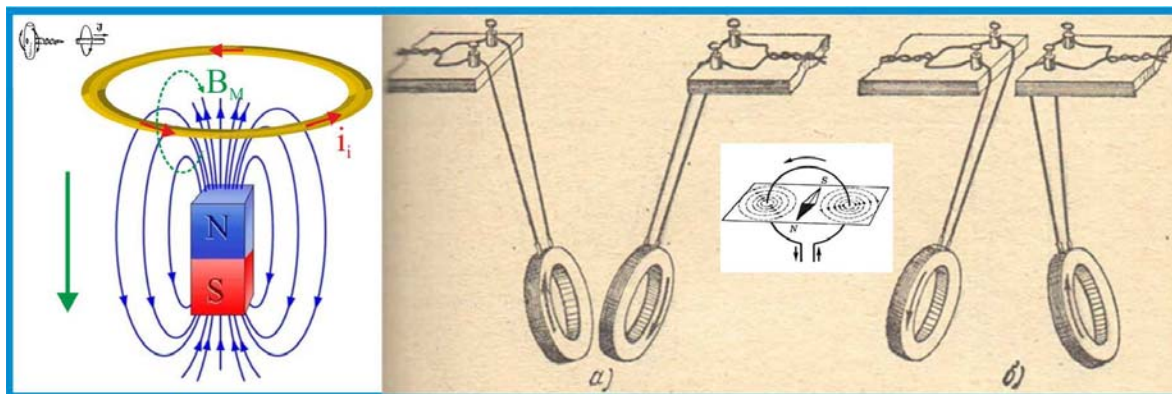
Решение

1. Внутренняя энергия твёрдого тела равна суммарной энергии (кинетической и потенциальной) всех структурных элементов. Кинетическая энергия определяется параметрами теплового движения элементов, а потенциальная – параметрами взаимодействия элементов между собой:  $\rightarrow$  (4);

14. При выдвигании из металлического кольца северного полюса постоянного магнита кольцо притягивается к магниту. Это означает, что
- 1) в кольце возникает индукционный ток, направленный по часовой стрелке при наблюдении со стороны магнита

- 2) в кольце возникает индукционный ток, направленный против часовой стрелки при наблюдении со стороны магнита
- 3) кольцо намагничивается, и возникший магнит обращён к выдвигаемому магниту северным полюсом
- 4) кольцо намагничивается, и возникший магнит обращён к выдвигаемому магниту южным полюсом

### Решение



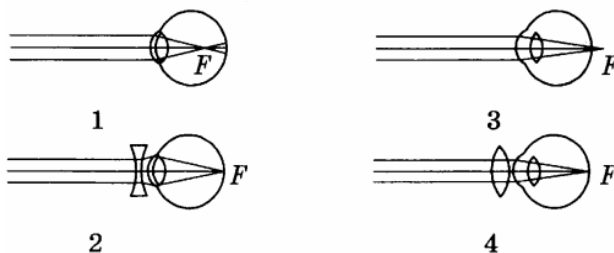
1. Если кольцо притягивается к магниту, то индукционное магнитное поле имеет со стороны магнита южный полюс, тогда индукционный ток должен быть направлен по часовой стрелке, если смотреть со стороны магнита.

15. Резистор 1 с электрическим сопротивлением 3 Ом и резистор 2 с электрическим сопротивлением 6 Ом включены последовательно в цепь постоянного тока. Чему равно отношение количества теплоты, выделяющегося на резисторе 1, к количеству теплоты, выделяющемуся на резисторе 2 за одинаковое время?

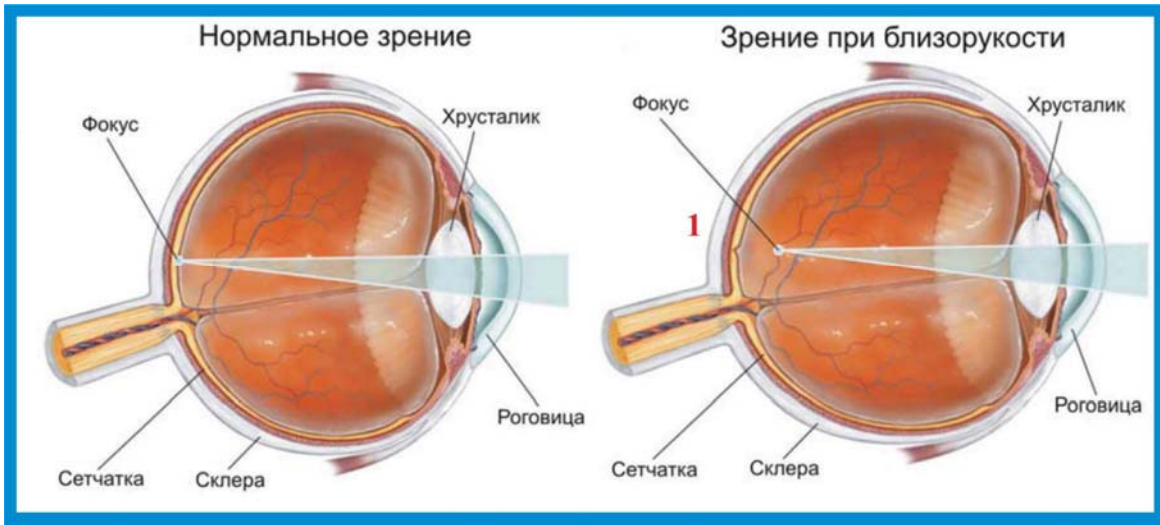
### Решение

$$I_1 = I_2 = I; \left. \begin{array}{l} P_1 = \frac{Q_1}{\tau} = I^2 R_1; \\ P_2 = \frac{Q_2}{\tau} = I^2 R_2; \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{3}{6} = \frac{1}{2};$$

16. На рисунке представлены схемы хода лучей в глазу человека. Случаю близорукого глаза без очков соответствует схема



## Решение

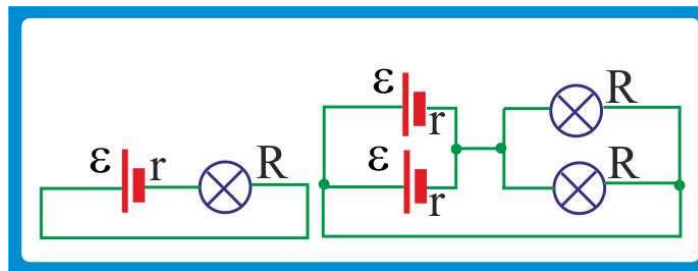


17. К гальваническому элементу была подключена электрическая лампа. Что произойдёт с силой тока через эту лампу, напряжением и мощностью тока на ней при подключении параллельно с первым гальваническим элементом второго такого же элемента и параллельно с первой лампой второй такой же?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличение
- 2) уменьшение
- 3) неизменность

## Решение



1. Сила тока через лампочку:

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{\varepsilon}{R+r}; \\ I_2 &= \frac{\varepsilon}{\frac{r}{2} + \frac{R}{2}} = \frac{4\varepsilon}{R+r}; \end{aligned} \right\} \Rightarrow I_2 = 2I_1; \quad I_x = I_1; \quad \mapsto (3);$$

2. Падение напряжения на лампочке:

$$U_1 = I_1 R; \quad U_x = I_x R; \quad \mapsto (3);$$

3. Мощность тока на лампочке:

$$P_1 = I_1 U_1; \quad P_x = I_x U_x = I_1 U_1 = P_1; \quad \mapsto (3);$$

18. Скорость улетающей от Земли ракеты на высоте  $h$  равна  $v$ . Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ      ФОРМУЛЫ

А) потенциальная энергия

Б) кинетическая энергия

$$1) E_k = \frac{mv^2}{2}$$

$$2) A = Fs \cdot \cos \alpha$$

$$3) E = mgh$$

$$4) E_k = \frac{I\omega^2}{2}$$

### Решение

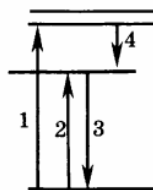
1. Потенциальная энергия ракеты:

$$П = mgh; \quad \mapsto \quad (3)$$

2. Кинетическая энергия ракеты:

$$К = \frac{mv^2}{2}; \quad \mapsto \quad (1);$$

19. На рисунке представлена диаграмма энергетических уровней атома. Какой цифрой обозначен переход, соответствующий поглощению атомами света наименьшей частоты?



### Решение

1. Наименьшая частота соответствует переходу с минимальной разностью энергий уровней, значит это переход – 2.

20. Может ли ядро атома одного химического элемента самопроизвольно превратиться в ядро атома другого химического элемента?

1) может любое ядро

2) не может никакое ядро

3) могут только ядра атомов радиоактивных изотопов

4) могут только ядра атомов, стоящие за ураном в таблице Д.И. Менделеева

### Решение

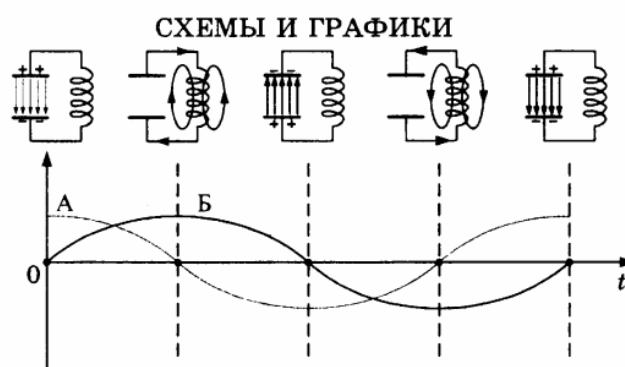
1. Самопроизвольные ядерные превращения возможны только ядер радиоактивных изотопов, вне зависимости от положения в таблице Менделеева Д.И.

21. Укажите условие красной границы фотоэффекта с поверхности тела с работой выхода  $A$  под действием света с частотой  $\nu$ .

Решение

$$\varepsilon_f = h\nu = \frac{m_e v_{\max}^2}{2} + A; \quad v_{\max} = 0; \quad h\nu = A;$$

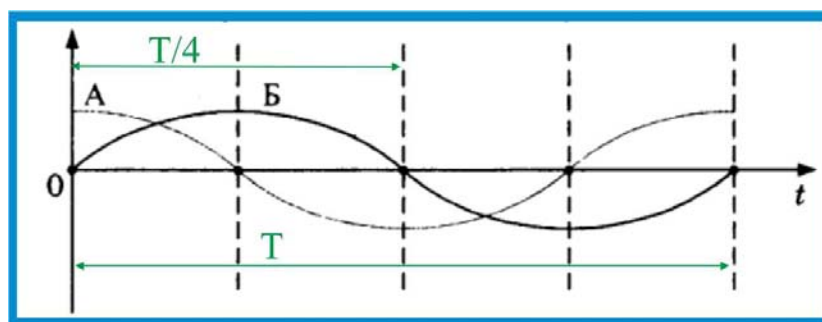
22. Схемы и графики на рисунке иллюстрируют свободные электромагнитные колебания. Колебания в контуре возникли при подключении концов катушки к обкладкам заряженного конденсатора (первая схема слева). Установите соответствие между графиками А и Б и значениями физических величин в момент, равный  $\frac{1}{4}T$ .



**ЗНАЧЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН**

- 1) модуль силы тока в катушке максимален
- 2) модуль напряжения между обкладками конденсатора максимален
- 3) сила тока в катушке равна нулю
- 4) напряжение между обкладками конденсатора равно нулю

Решение



А. Изменение напряжения на конденсаторе:

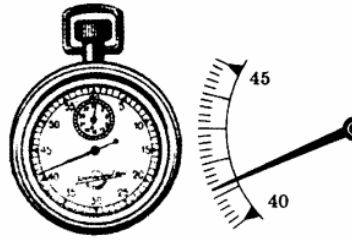
$$u_C = u_0 \sin \omega t = u_0 \sin \frac{2\pi}{T} t; \quad u_{C(T/4)} = u_0 \sin \frac{2\pi}{T} \frac{T}{4} = u_0 \sin 2\pi = 0; \quad \mapsto (4);$$

Б. Изменение силы тока в катушке:

$$i_L = i_0 \cos \frac{2\pi}{T} t; \quad i_{L(T/4)} = i_0 \cos 2\pi = -i_0; \quad \mapsto (1);$$



23. На рисунке показан результат измерений периода колебаний математического маятника. Маятник совершил за это время 10 колебаний.



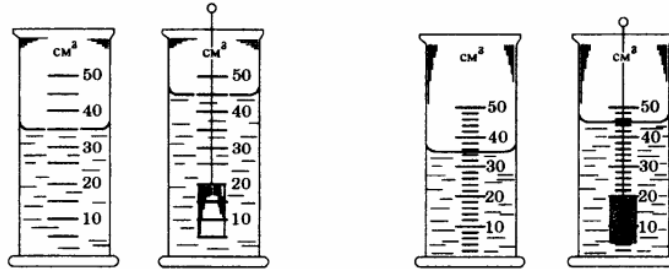
Чему равен период колебаний  $T$  маятника, если за погрешность измерений экспериментатор принял цену деления секундомера?

- 1)  $(4,12 \pm 0,02)$  с                      3)  $(4,12 \pm 0,01)$  с  
2)  $(4,12 \pm 0,2)$  с                      4)  $(4,12 \pm 0,1)$  с

**Решение**

$$T = \frac{\tau}{N} \pm \frac{\delta}{N} = \left( \frac{41,2}{10} \pm \frac{0,2}{10} \right) = (4,12 \pm 0,02) \text{ с};$$

24. Чтобы как можно более точно найти объём тела путём его погружения в воду, учащимся было предложено провести измерения, используя два измерительных цилиндра с водой (см. рис.). Сравнить результаты измерений учащиеся должны были с учётом абсолютных инструментальных погрешностей измерения и абсолютных погрешностей отсчёта. Каждую из учитываемых погрешностей условились считать равной цене деления измерительного цилиндра.



Первый цилиндр

Второй цилиндр

Отвечая на вопрос задания, экспериментаторы получили четыре разных результата.

Из представленных ниже записей выберите верное значение измеренного объёма тела, полученное с наименьшей погрешностью.

- 1) первый цилиндр  $(10 \pm 10)$  см<sup>3</sup>  
2) первый цилиндр  $(10 \pm 5)$  см<sup>3</sup>  
3) второй цилиндр  $(10 \pm 4)$  см<sup>3</sup>  
4) второй цилиндр  $(10 \pm 2)$  см<sup>3</sup>

**Решение**

1. Цена деления меньше у второго цилиндра, поэтому:

$$V_2 = (10 \pm 2) \text{ см}^3; \quad \mapsto (4);$$

25. В лифте, движущемся вверх с ускорением  $2 \text{ м/с}^2$ , находится пассажир массой  $50 \text{ кг}$ . Чему равен модуль силы тяжести, действующей на пассажира?

Решение

$$|\vec{P}| = mg = 50 \cdot 10 = 500 \text{ Н};$$

26. Идеальный газ получил количество теплоты  $300 \text{ Дж}$  и совершил работу  $100 \text{ Дж}$ . Насколько увеличилась при этом внутренняя энергия газа?

Решение

1. В соответствии с первым началом (законом) термодинамики:

$$\delta Q = \Delta U + A; \quad \Delta U = \delta Q - A = 200 \text{ Дж};$$

27. Колебательный контур состоит из конденсатора ёмкостью  $50 \text{ мкФ}$  и катушки индуктивностью  $2 \text{ Гн}$ . Чему равна циклическая частота  $\omega$  свободных электромагнитных колебаний?

Решение

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot 5 \cdot 10^{-5}}} = \frac{1}{10^{-2}} = 100 \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

28. В эксперименте установлено, что при температуре воздуха в бане  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  на стенке стакана с водой начинается конденсация паров воды из воздуха, если снизить температуру стакана до  $29 \text{ }^\circ\text{C}$ . По результатам этих экспериментов определите относительную влажность воздуха. Для решения задачи воспользуйтесь таблицей. При повышении температуры воздуха в комнате конденсация паров воды из воздуха начинается при той же температуре стакана  $29 \text{ }^\circ\text{C}$ . Изменилась ли относительная влажность воздуха?

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

|                             |     |     |      |      |      |       |      |      |
|-----------------------------|-----|-----|------|------|------|-------|------|------|
| $t, \text{ }^\circ\text{C}$ | 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 |

|                             |      |      |      |      |      |      |      |       |
|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| $t, \text{ }^\circ\text{C}$ | 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:

$$\varphi = \frac{p_{\text{н}(29^\circ)}}{p_{\text{н}(19^\circ)}} = \frac{40 \cdot 10^9}{200 \cdot 10^9} = 0,2 \text{ (20\%)};$$

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. В данном случае точка росы не меняется, следовательно и влажность сохраняется

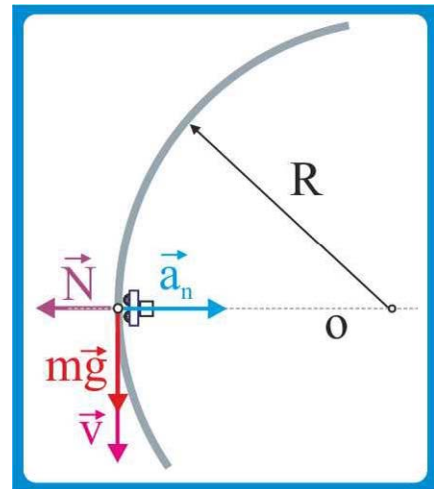
29. В аттракционе человек массой 100 кг совершает «мёртвую петлю» в вертикальной плоскости. Когда вектор скорости был направлен вертикально вниз, сила нормального давления человека на сиденье была 2000 Н. Найдите скорость тележки в этой точке при радиусе круговой траектории 5 м. Ускорение свободного падения  $10 \text{ м/с}^2$ .

### Решение

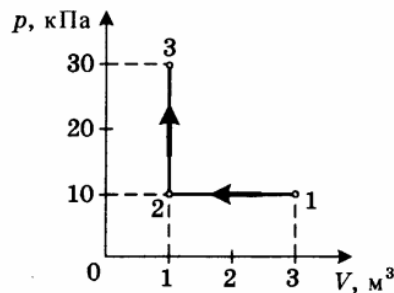
1. Условие прохождения тележки с человеком в точке круговой траектории, когда вектор скорости направлен вертикально вниз (уравнение второго закона Ньютона в проекции на вертикальную ось):

$$N = \frac{mv^2}{R}; \quad v = \sqrt{\frac{NR}{m}};$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 10^3 \cdot 5}{100}} = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$



30. На диаграмме (см. рис.) представлены изменения давления и объёма идеального одноатомного газа. Какое количество теплоты было получено или отдано газом при переходе из состояния 1 в состояние 3?



### Решение

1. Изменение состояния 1 – 2 протекает по изобарной схеме, внешними силами над газом производится работа и изменяется его внутренняя энергия вследствие изменения температуры:

$$A_{12} = p_1 \Delta V = p_1 (V_2 - V_1) = 10^4 (1 - 3) = -2 \cdot 10^4 \text{ Дж};$$

$$T_1 = \frac{p_1 V_1}{\nu R}; \quad T_2 = \frac{p_2 V_2}{\nu R}; \quad \Delta U = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1) = \frac{3}{2} 10^4 (1 - 3) = -3 \cdot 10^4 \text{ Дж};$$

2. Переход 2 – 3 изохорный, работа не совершается, изменяется внутренняя энергия

$$A_{23} = 0; \quad \Delta U_{23} = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) = \frac{3}{2} (p_3 V_3 - p_2 V_2) = \frac{3}{2} (3 \cdot 10^4 \cdot 1 - 1 \cdot 10^4 \cdot 1) = +3 \cdot 10^4 \text{ Дж};$$

$$Q_{123} = A_{12} + \Delta U_{12} + \Delta U_{23} = -2 \cdot 10^4 \text{ Дж};$$

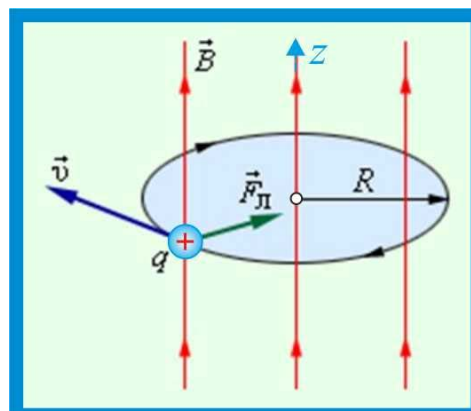
31. В однородном магнитном поле с индукцией  $1,67 \cdot 10^{-5}$  Тл протон движется перпендикулярно вектору индукции  $\vec{B}$  со скоростью 8 км/с. Определите радиус траектории протона.

### Решение

1. Условие нахождения протона на круговой орбите в магнитном поле:

$$qvB = \frac{m_p v_p^2}{R}; \quad R = \frac{m_p v_p}{qB};$$

$$R = \frac{1,67 \cdot 10^{-27} \cdot 8 \cdot 10^8}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1,67 \cdot 10^{-5}} = 5 \text{ м};$$



32. При взрыве термоядерной бомбы освобождается энергия  $8,3 \cdot 10^{16}$  Дж. Эта энергия получается в основном за счёт деления ядер урана-238. При делении одного ядра урана-238 освобождается 200 МэВ, масса ядра равна примерно 238 а.е.м. Вычислите массу ядер урана, испытавших деление при взрыве, и суммарный дефект массы.

### Решение

1. Количество распавшихся ядер урана-238:

$$N = \frac{W_{\Sigma}}{\varepsilon_0} = \frac{8,3 \cdot 10^{16}}{2 \cdot 10^8 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} \approx 2,6 \cdot 10^{27};$$

2. Масса ядра урана-238:

$$m_0 \approx 238 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \approx 3,95 \cdot 10^{-25} \text{ кг};$$

3. Масса ядер урана, испытавших деление при взрыве:

$$M = m_0 N \approx 1 \cdot 10^3 \text{ кг};$$

4. Дефект массы:

$$W_{\Sigma} = \Delta m c^2; \quad \Delta m = \frac{W_{\Sigma}}{c^2} \approx \frac{8,3 \cdot 10^{16}}{9 \cdot 10^{16}} \approx 0,922 \text{ кг};$$

## Вариант 6

1. При прямолинейном движении зависимость пройденного телом пути  $s$  от времени  $t$  имеет вид:  $s = 5 + 2t + 4t^2$ . Скорость тела в момент времени  $t = 2$  с при таком движении равна

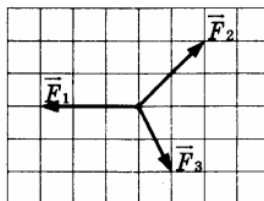
- 1) 25 м/с                      3) 18 м/с  
2) 21 м/с                      4) 10 м/с

### Решение

$$v = \frac{ds}{dt} = 2 + 8t; \quad v_t = 2 + 8t = 2 + 8 \cdot 2 = 18 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

---

2. На рисунке представлены три вектора сил, приложенных к одной точке и лежащих в одной плоскости. Чему равно ускорение этой точки, если модуль силы  $F_1$  равен 3 Н?

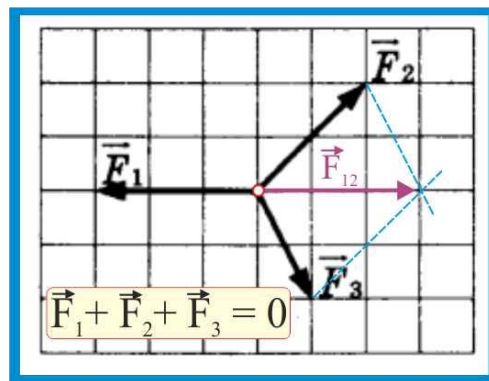


### Решение

1. Действие данной плоской системы сходящихся сил эквивалентно нулю, потому что равна нулю геометрическая сумма заданных сил:

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = 0;$$
$$\sum_{i=1}^3 \vec{F}_i = 0; \Rightarrow \vec{a} = 0;$$

---



3. Груз массой  $m$  на пружине совершает свободные колебания. При этих колебаниях скорость груза периодически достигает максимального значения  $v$ . Груз, пройдя положение равновесия, через четверть периода максимально удалился от положения равновесия. Чему при этом стал равен модуль кинетической энергии груза? Потери энергии в процессе колебаний пренебречь.

### Решение

1. Очевидно в задаче идёт речь о потенциальной энергии, которая в рассматривае-

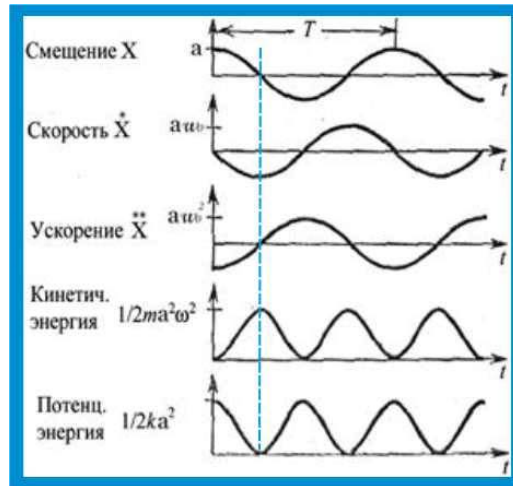
мом положении будет иметь максимальное значение и будет равна максимальному значению кинетической энергии колебаний.

2. На графиках приведены закономерности поведения смещения, скорости, ускорения, кинетической и потенциальной энергии. При максимальном удалении груза от положения равновесия (на величину амплитуды колебаний) потенциальная энергия определится как:

$$\Pi = \frac{kA^2}{2} = \Pi_{\max};$$

3. Сила упругости пружины относится к консервативным силам, для которых справедлив закон сохранения механической энергии:

$$\Pi_{\max} = K_{\max} = \frac{mv_{\max}^2}{2};$$



4. Вагон массой  $m$ , движущийся со скоростью  $v$ , сталкивается с таким же вагоном, движущимся с такой же скоростью в противоположном направлении. Каков модуль суммарного импульса двух вагонов в момент столкновения? Столкновение считать упругим, взаимодействие вагонов с другими телами пренебрежимо мало.

### Решение

1. Закон сохранения импульса в проекции на направление движения первого вагона:

$$mv - mv = 0; \Rightarrow p_{\Sigma} = 0;$$

5. Во сколько раз сила притяжения, действующая на груз массой 10 кг, который поднят от поверхности Земли на высоту, равную радиусу Земли, меньше силы притяжения, действующей на тот же груз на её поверхности?

### Решение

$$\left. \begin{aligned} F_1 &= G \frac{mM}{R^2}; \\ F_2 &= G \frac{mM}{4R^2}; \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{F_1}{F_2} = 4;$$

6. Гиря массой 2 кг подвешена на тонком шнуре. Если её отклонить от положения равновесия на 10 см, а затем отпустить, она совершает свободные колебания, как математический маятник. Что произойдёт с периодом колебаний гири, максимальной потенциальной энергией гири и частотой её колебаний, если начальное отклонение гири будет равно 5 см?

- 1) увеличится  
2) уменьшится  
3) не изменится

### Решение

1. Период колебаний математического маятника:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}},$$

как установлено Галилеем (закон изохронности колебаний) определяется только длиной нити подвеса  $\ell$  и значением ускорения свободного падения, поэтому амплитудой колебаний (в пределах их малости  $A \ll \ell$ ) от амплитуды колебаний не зависит

$$T \neq f(A) - \text{const}; \quad \mapsto \quad (3);$$

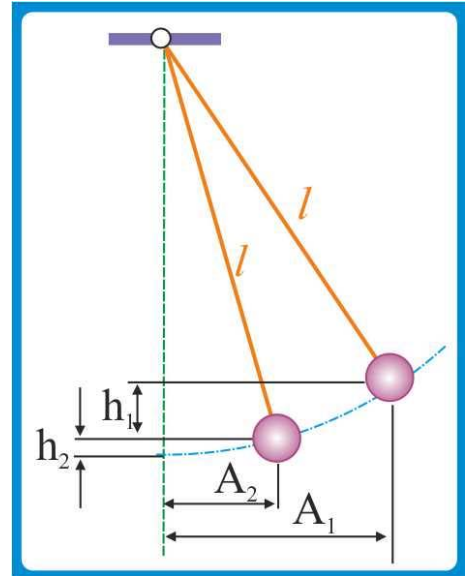
2. Максимально значение потенциальной энергии:

$$\Pi = mgh; \quad h = \ell(1 - \cos \varphi); \quad \varphi_1 > \varphi_2; \quad h_1 > h_2;$$

$$\Pi_1 > \Pi_2; \quad \mapsto \quad (3);$$

3. Частота колебаний гири:

$$\nu = \frac{1}{T}; \quad T - \text{const}; \quad \Rightarrow \quad \nu - \text{const}; \quad \mapsto \quad (3);$$



7. Теннисный мяч брошен вертикально вверх и затем падает. Изменяются ли перечисленные в первом столбце таблицы физические величины во время движения мяча вниз и если изменяются, то как? Влиянием сопротивления воздуха пренебречь.

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) не изменяется
- 2) только увеличивается по модулю
- 3) только уменьшается по модулю
- 4) увеличивается по модулю и изменяется по направлению
- 5) уменьшается по модулю и изменяется по направлению
- 6) увеличивается по модулю, не изменяется по направлению
- 7) уменьшается по модулю, не изменяется по направлению

### Решение

1. Скорость мяча сначала при движении вверх уменьшается от  $v_0$  до 0 в верхней точке траектории, а затем при движении вниз увеличивается от 0 до  $v_0$ , поэтому при движении вниз:

$$v = gt; \quad \mapsto \quad (6);$$

2. Ускорение мяча при движении вниз остаётся постоянным как по модулю так и по направлению, мяч движется с ускорением свободного падения  $g \approx 10 \text{ м/с}^2$

$$\vec{g} - \text{const}; \quad \mapsto \quad (1);$$

3. Кинетическая энергия мяча:

$$K(t) = \frac{mv(t)^2}{2}; \quad v(t) \uparrow; K(t) \uparrow; \quad \mapsto \quad (2);$$

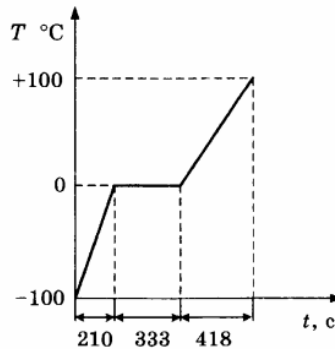
4. Если мяч достиг при подъёме высоты  $h$ , то его координата при спуске будет меняться по закону:

$$y(t) = h - \frac{gt^2}{2}; \quad t \uparrow; y(t) \downarrow; \quad \Pi(t) = mgy(t); \quad \Rightarrow \quad \Pi(t) \downarrow; \quad \mapsto \quad (3);$$

5. Полная механическая энергия мяча:

$$K + \Pi = \text{const}; \quad \mapsto \quad (1);$$

8. На графике представлено, как изменялась с течением времени температура 0,1 кг воды, находившейся в начальный момент в кристаллическом состоянии при температуре  $-100^\circ\text{C}$ , при постоянной мощности теплопередачи 100 Вт.



По графику на рисунке и известным значениям массы воды и мощности теплопередачи определите удельную теплоемкость воды.

- 1) 4180 Дж/(кг · °С)                      3) 2100 Дж/(кг · °С)  
2) 3330 Дж/(кг · °С)                      4) 10 Дж/(кг · °С)

**Решение**

1. Процесс нагревания воды от  $t_1 = 0^\circ\text{C}$  до температуры кипения  $t_2 = 100^\circ\text{C}$  продолжается время  $\tau = 418$  с, поэтому:

$$P\tau = cm\Delta T; \quad c = \frac{P\tau}{m(t_2 - t_1)} = \frac{100 \cdot 418}{0,1 \cdot 100} = 4180 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}};$$

9. Идеальный газ получил количество теплоты 300 Дж, и при этом внутренняя энергия газа увеличилась на 100 Дж. Работа, совершенная газом, равна

- 1) 400 Дж                                      3) -400 Дж  
2) 200 Дж                                      4) -100 Дж

**Решение**

$$\delta Q = \Delta U + \delta A; \quad \Rightarrow \quad \delta A = \delta Q - \Delta U = 200 \text{ Дж};$$

10. Если при сжатии объём идеального газа уменьшился в 2 раза, а давление газа увеличилось в 4 раза, то во сколько раз увеличилась при этом абсолютная температура газа?

**Решение**

$$pV = \nu RT_1; \quad 4p \frac{V}{2} = \nu RT_2; \quad \frac{T_2}{T_1} = 2;$$



11. При быстром движении поршня в цилиндре дизельного двигателя объём воздуха уменьшился. Установите соответствие между физическими величинами, характеризующими процесс сжатия воздуха, перечисленными в первом столбце, и их изменениями во втором столбце.

**ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ ИХ ИЗМЕНЕНИЯ**

|                       |                 |
|-----------------------|-----------------|
| А) давление           | 1) увеличение   |
| Б) температура        | 2) уменьшение   |
| В) внутренняя энергия | 3) неизменность |

**Решение**

А. Давление газа:

$$p = \frac{\nu RT}{V}; \quad V \downarrow; p \uparrow; \quad \mapsto (1);$$

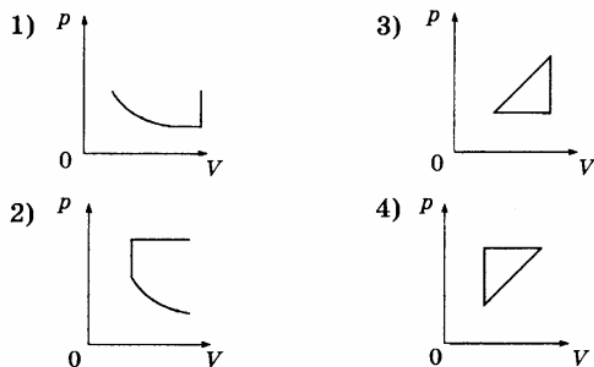
Б. Температура:

$$p = nk_B T; \quad \Rightarrow \quad T = \frac{p}{nk_B}; \quad p \uparrow; T \uparrow; \quad \mapsto (1);$$

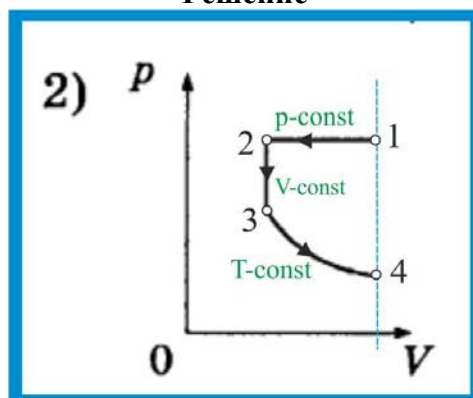
В. Внутренняя энергия газа:

$$\Delta U = \frac{i}{2} \nu R \Delta T; \quad \Delta T \uparrow; \Delta U \uparrow; \quad \mapsto (1);$$

12. В изолированной термодинамической системе идеальный газ сначала охлаждался при постоянном давлении, потом его давление уменьшалось при постоянном объеме, затем при постоянной температуре объем газа увеличился до первоначального значения. Какой из графиков на рисунке в координатных осях  $p$ — $V$  соответствует этим изменениям состояния газа?



**Решение**

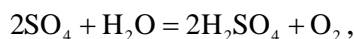


**13. Электрический ток в растворах солей и кислот создаётся упорядоченным движением**

- 1) только положительных ионов
- 2) только отрицательных ионов
- 3) только электронов
- 4) положительных и отрицательных ионов

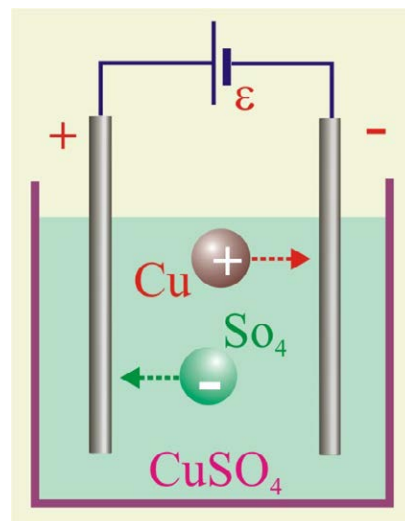
### Решение

1. Химическое действие электрического тока можно наблюдать, пропуская его через водный раствор медного купороса  $\text{CuSO}_4$ , в качестве электродов лучше всего использовать угольные стержни, но можно и из другого проводника, например, тривиальные гвозди. Соединив электроды с аккумуляторной батареей, и выждав некоторое время (несколько минут), можно обнаружить на отрицательном угольном электроде хорошо заметный невооружённым взглядом налёт блестящего слоя меди. На положительном электроде станет выделяться остаток  $\text{SO}_4$ , но он не обнаруживается, потому что в присутствии воды превращается в серную кислоту и молекулярный кислород



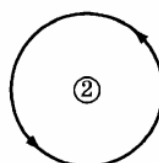
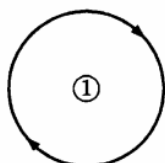
т.е. в растворе появится серная кислота, а на положительном электроде будет выделяться газообразный кислород. При силе тока через раствор более 5 А положительный электрод будет покрыт мелкими пузырьками, которые коагулируя укрупняются и под действием силы Архимеда всплывают на поверхность раствора.

2. Таким образом, электрический в растворах солей, кислот и щелочей, существует за счёт перемещения носителей заряда в виде положительно и отрицательно заряженных ионов.



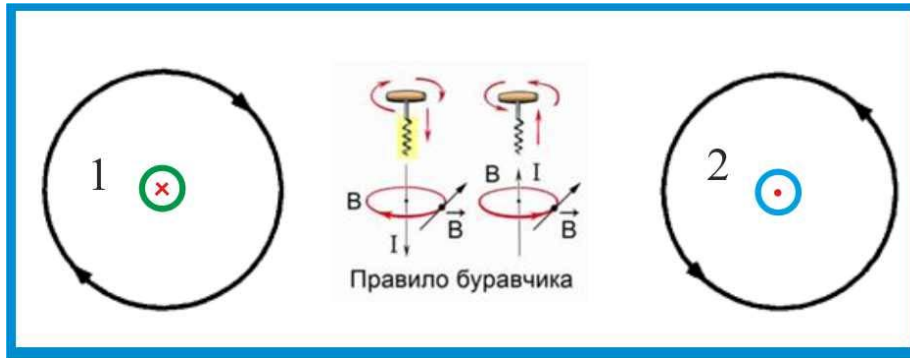
**14. На рисунке представлены магнитные линии поля вокруг двух прямых проводников с постоянным током. Проводники расположены перпендикулярно плоскости рисунка, их сечения изображены кружками в центрах окружностей, изображающих магнитные линии. Каково направление тока в каждом из этих проводов?**

- 1) в 1 — к наблюдателю, в 2 — от наблюдателя
- 2) в 1 — от наблюдателя, в 2 — к наблюдателю
- 3) в 1 и 2 — к наблюдателю
- 4) в 1 и 2 — от наблюдателя



### Решение

1. Направление магнитного поля прямолинейного тока можно определить по правилу буравчика (правого винта):



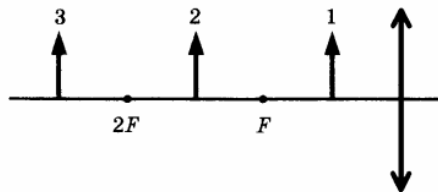
15. К источнику тока с ЭДС 18 В и внутренним сопротивлением 3 Ом подключён резистор с электрическим сопротивлением 6 Ом. Чему равна сила тока?

### Решение

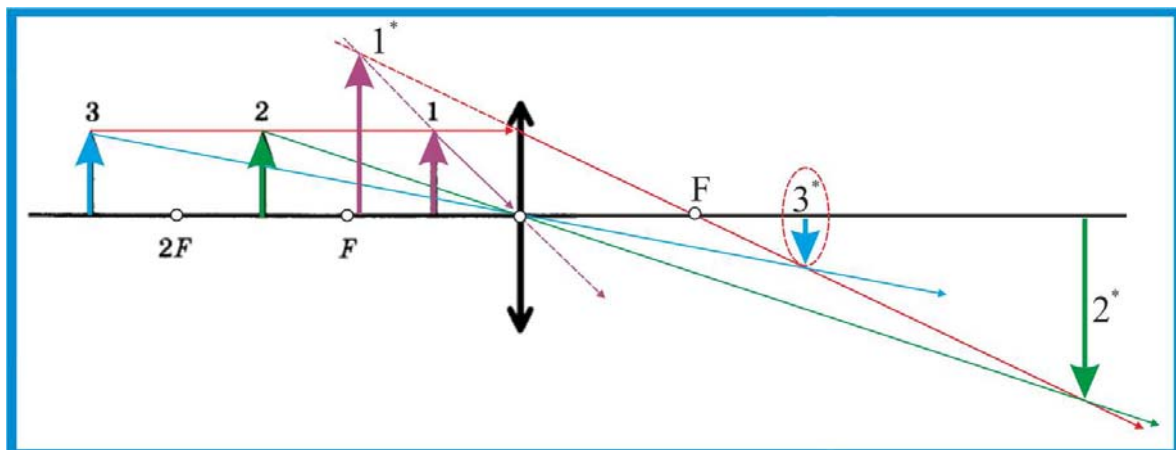
1. В соответствии с законом Ома для полной (замкнутой) цепи:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r} = \frac{18}{6 + 3} = 2 \text{ А};$$

16. На рисунке представлено расположение собирающей линзы, её главной оптической оси, главных фокусов линзы и трёх предметов 1, 2 и 3 перед ней. Изображение какого из этих предметов будет действительным уменьшенным перевернутым?



### Решение

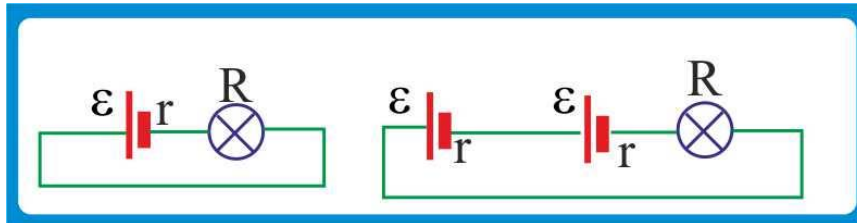


17. К гальваническому элементу была подключена электрическая лампа. Что произойдёт с силой тока в цепи, напряжением на лампе и мощностью тока при подключении последовательно с первым гальваническим элементом второго такого же элемента?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличение                                      3) неизменность  
2) уменьшение

### Решение



1. Сила тока в цепи:

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{\varepsilon}{R+r}; \\ I_2 &= \frac{2\varepsilon}{R+2r} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{I_2}{I_1} = \frac{2(R+r)}{R+2r}; \Rightarrow I_2 > I_1; \mapsto (1);$$

2. Падение напряжения на лампочке:

$$U_R = IR; \quad I_1 > I_2; \quad U_{R(2)} > U_{R(1)}; \quad \mapsto (1);$$

3. Мощность, рассеиваемая на лампочке:

$$P = IU; \quad \Rightarrow \quad P_2 > P_1; \quad \mapsto (1);$$

18. Частица с положительным зарядом  $q$ , двигавшаяся равномерно и прямолинейно с некоторой скоростью  $v$ , влетела в однородное магнитное поле с индукцией  $\vec{B}$  перпендикулярно линиям индукции. Траекторией её движения стала окружность. Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

**ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ**

- А) радиус окружности  
Б) период обращения

**ФОРМУЛЫ**

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

2)  $B = \frac{F_m}{qv}$

3)  $T = \frac{2\pi m}{qB}$

4)  $R = \frac{mv}{qB}$

5)  $R = \frac{v^2}{a}$

## Решение

А. Радиус окружности:

$$qvB = \frac{mv^2}{R}; \Rightarrow R = \frac{mv}{qB}; \mapsto (4);$$

Б. Период обращения:

$$qvB = \frac{mv^2}{R}; \Rightarrow v = \frac{qBR}{m}; \omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{qB}{m}; T = \frac{2\pi m}{qB}; \mapsto (3);$$

**19.** На основании исследования явления рассеяния альфа-частиц при прохождении через тонкие слои вещества Резерфорд сделал вывод, что

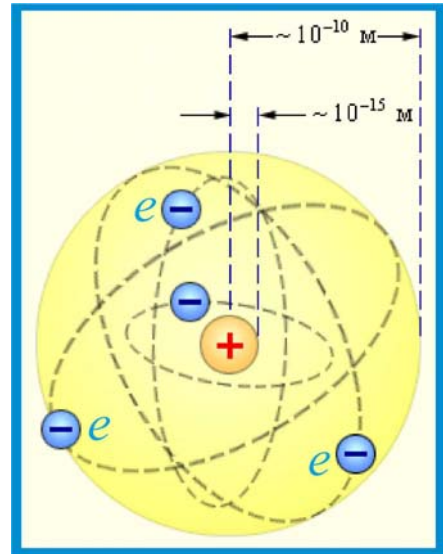
- 1) альфа-частицы являются ядрами атомов гелия
- 2) альфа-распад является процессом самопроизвольного превращения ядра одного химического элемента в ядро другого элемента
- 3) внутри атомов имеются положительно заряженные ядра очень малых размеров, вокруг ядер обращаются электроны
- 4) при альфа-распаде атомных ядер выделяется ядерная энергия, значительно большая, чем в любых химических реакциях

### Решение

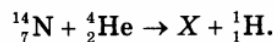
1. при рассеивании  $\alpha$ -частиц атомами золота следовало ожидать, что поток  $\alpha$ - частиц пройдя фольгу, слегка расплывется, и средние углы рассеяния будут составлять несколько градусов. Такое рассеяние действительно наблюдалось, но совершенно неожиданно, вне всяких тогдашних представлений, одна из 20 000 частиц, падающих на фольгу толщиной  $4 \cdot 10^{-7}$  м, возвращалась назад, в сторону источника.

2. Резерфорд по этому поводу писал: « Это было самое невероятное событие, с которым мне когда-либо приходилось сталкиваться. Это было так же невероятно, как если бы вы выстрелили 15 дюймовым (38 см) снарядом в лист папиросной бумаги, а снаряд бы вернулся назад и попал в вас».

Резерфорду потребовалось несколько лет (до 1911 г.), чтобы окончательно разобраться с этим явлением. Он пришёл к выводу, что атом не однороден и имеет нечто очень малое массивное и с положительным зарядом, сосредоточенное в центре. Таким образом, была предложена ядерная модель атома.



**20.** При столкновении  $\alpha$ -частицы с ядром атома азота произошла ядерная реакция:



Ядро какого изотопа X было получено в этой реакции?

- |                        |                            |
|------------------------|----------------------------|
| 1) ${}^{17}_8\text{O}$ | 3) ${}^{19}_9\text{F}$     |
| 2) ${}^{16}_8\text{O}$ | 4) ${}^{20}_{10}\text{Ne}$ |

**Решение**

$$Z_x = 7 + 2 - 1 = 8; \quad A_x = 14 + 4 - 1 = 17; \quad \Rightarrow \quad {}^{17}_8\text{X} \equiv {}^{17}_8\text{O}; \quad \mapsto \quad (1);$$

21. Свет в прозрачной среде с абсолютным показателем преломления  $n$  имеет длину волны  $\lambda$ . Какова длина волны  $\lambda_1$  этого света в вакууме?

**Решение**

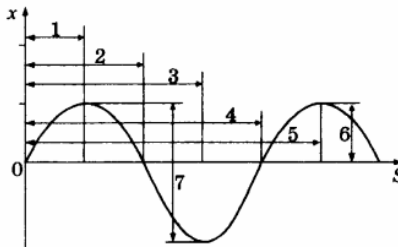
$$v - \text{const}; \quad n = \frac{v_1}{v} = \frac{\lambda_1 v}{\lambda v} = \frac{\lambda_1}{\lambda}; \quad \Rightarrow \quad \lambda_1 = n\lambda;$$

22. График на рисунке представляет зависимость координаты  $x$  точек среды, в которой распространяется волна, от расстояния  $s$  до источника колебаний. Какими стрелками на графике правильно отмечены амплитуда колебаний (А) и длина волны (Б)?

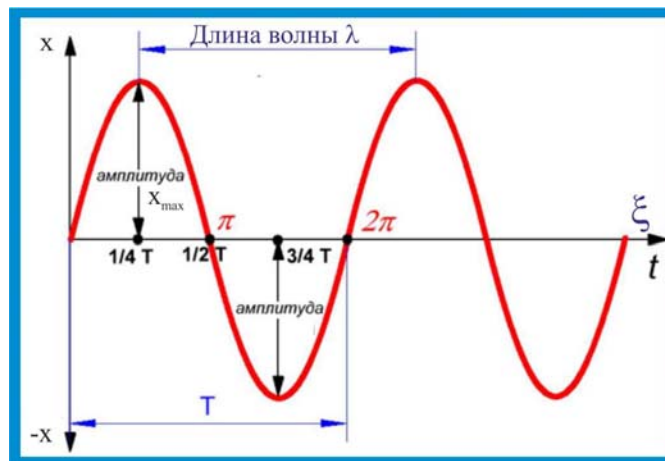
**ФИЗИЧЕСКИЕ  
ВЕЛИЧИНЫ**

- А) амплитуда колебаний  
Б) длина волны

**ГРАФИК**



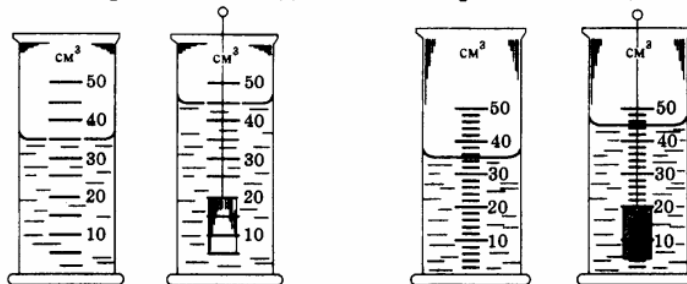
**Решение**



- А. Амплитуда колебаний  $\mapsto$  (6).  
Б. Длина волны  $\mapsto$  (4).

23. Чтобы как можно более точно найти объём тела путём его погружения в воду, учащимся было предложено провести измерения, используя два измерительных цилиндра с водой (см. рис.) Сравнить результаты измерений учащиеся должны были с учётом абсолютных инструментальных погрешностей измерения и абсолютных погрешностей отсчёта. Каждую из учитываемых погрешностей условились

считать равной цене деления измерительного цилиндра.



Первый цилиндр

Второй цилиндр

Отвечая на вопрос задания, экспериментаторы получили четыре разных результата.

Из представленных ниже записей выберите значение измеренного объема тела, полученное с наибольшей погрешностью.

- 1) первый цилиндр  $(10 \pm 10) \text{ см}^3$
- 2) первый цилиндр  $(10 \pm 5) \text{ см}^3$
- 3) второй цилиндр  $(10 \pm 4) \text{ см}^3$
- 4) второй цилиндр  $(10 \pm 2) \text{ см}^3$

### Решение

1. Цена деления больше у первого цилиндра  $\delta = 10 \text{ см}^3$ , поэтому и наибольшая погрешность измерения будет в первом случае:

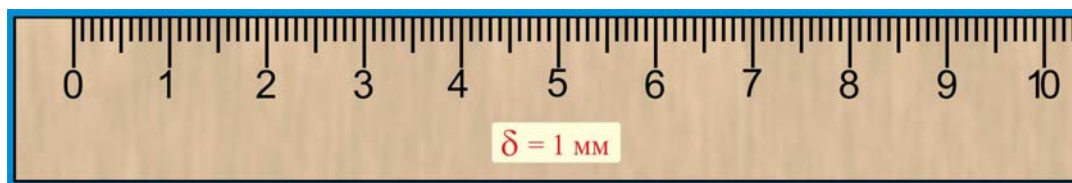
$$V_1 = (10 \pm 10) \text{ см}^3; \mapsto (1);$$

24. Цена деления ученической линейки, показанной на рисунке, равна

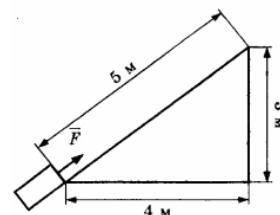
- |           |           |
|-----------|-----------|
| 1) 1 см   | 3) 1 мм   |
| 2) 0,5 см | 4) 0,5 мм |

### Решение

1. На рисунке приведена фотография стандартной слесарной металлической линейки с ценой деления 1 мм



25. Тело массой 2 кг под действием силы  $\vec{F}$  перемещается вверх на наклонной плоскости на расстояние  $l = 5 \text{ м}$ , расстояние тела от поверхности Земли при этом увеличивается на  $h = 3 \text{ м}$ . Вектор силы  $\vec{F}$  равен 30 Н. Какую работу при этом перемещении совершила сила  $\vec{F}$  против действия силы трения? Ускорение свободного падения примите равным  $10 \text{ м/с}^2$ , коэффициент трения  $\mu = 0,5$ .



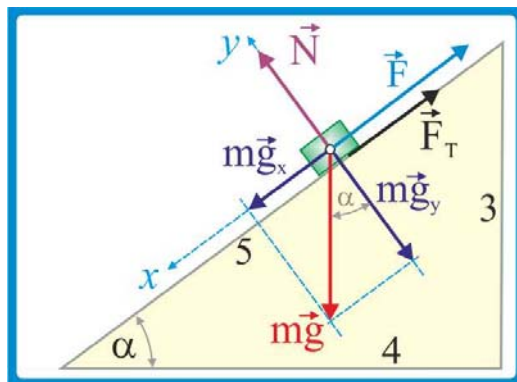
### Решение

$$|\vec{F}_T| = \mu mg \cos \alpha = \mu mg \frac{4}{5};$$

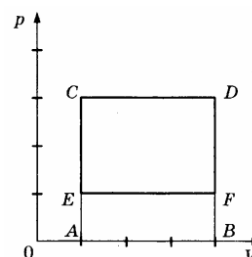
$$A(\vec{F}_T) = F_T l;$$

$$A(\vec{F}_T) = \frac{4}{5} \mu mg l;$$

$$A(\vec{F}_T) = \frac{4}{5} \cdot 0,5 \cdot 2 \cdot 10 \cdot 5 = 40 \text{ Дж};$$



26. На рисунке дан график изменения состояния идеального газа в координатах  $p$ – $V$ .  $C$  — начало цикла. Определите связь между работой  $A'$  газа за один цикл и площадью фигур на данной диаграмме.



### Решение

1. Работа в условных единицах давления и объёма:

$$A_{CD} = p_{CD}(V_D - V_C) = 3(4 - 1) = 9 \text{ у.е.}$$

$$A_{FE} = p_{EF}(V_E - V_F) = 1(1 - 4) = -3 \text{ у.е.}$$

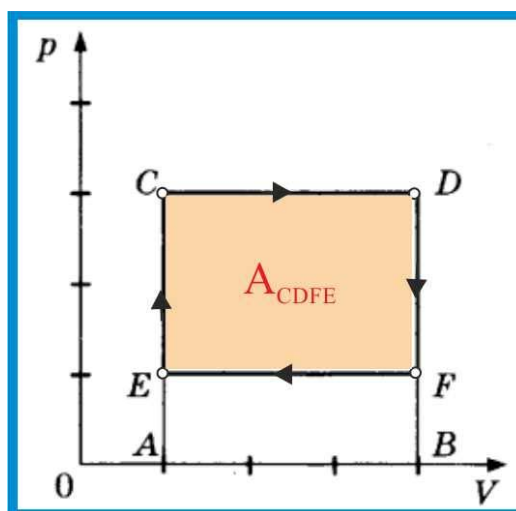
$$A_{CDFE} = A_{CD} + A_{FE} = 6 \text{ у.е.}$$

2. Если рассматривать цикл с геометрических позиций, то:

$$S_{CDFE} = CD \cdot DF = 3 \cdot 2 = 6 \text{ у.е.}$$

т.е. работа цикла численно равна площади фигуры отображающей цикл в  $p - V$  координатах, причём:

$$S_{CDFE} = S_{ACDB} - S_{AEFB} = 6 \text{ у.е.}$$



27. При измерении напряжения на выводах аккумулятора без нагрузки показания вольтметра 12 В, при подключении нагрузки 10 Ом показания вольтметра 10 В. Чему равно внутреннее сопротивление аккумулятора?

### Решение

1. Сила тока в цепи:

$$I = \frac{U_R}{R} = 1 \text{ А};$$

2. Внутреннее сопротивление аккумулятора:

$$I r = \varepsilon - U_R; \Rightarrow r = \frac{\varepsilon - U_R}{I} = \frac{12 - 10}{1} = 2 \text{ Ом};$$



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 снизить температуру стакана до 14 °С. По результатам этих экспериментов определите относительную влажность воздуха. Для решения задачи воспользуйтесь таблицей. Как изменится относительная влажность при повышении температуры воздуха в комнате, если конденсация паров воды из воздуха будет начинаться при той же температуре стакана 14 °С?

**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:

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

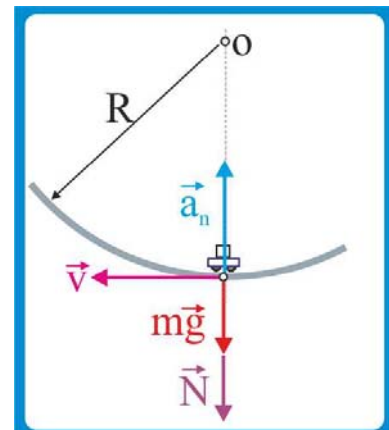
2. Конденсация паров воды наступает в случае совпадения давления насыщенных паров воды при данной температуре с внешним давлением, а поскольку давление насыщенных паров зависит от температуры, то и конденсация может начинаться при соответствующих температурах. В данном случае точка росы не меняется, следовательно и влажность сохраняется

29. В аттракционе человек массой 60 кг движется на тележке по рельсам и совершает «мёртвую петлю» в вертикальной плоскости по круговой траектории радиусом 5 м. Какова сила давления человека на сиденье тележки при скорости прохождения нижней точки 10 м/с? Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с<sup>2</sup>.

### Решение

$$F = mg + N = mg + \frac{mv^2}{R};$$

$$F = 600 + \frac{60 \cdot 100}{5} = 1,8 \cdot 10^3 \text{ Н;}$$



30. На диаграмме представлены изменения давления и объёма идеального одноатомного газа. Какое количество теплоты было получено или отдано газом при переходе из состояния 1 в состояние 3?

**Решение**

1. Переход 1 – 2 изохорный, работа не совершается, изменяется внутренняя энергия

$$A_{12} = 0; \quad \Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1);$$

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1);$$

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} (1 \cdot 10^4 \cdot 1 - 3 \cdot 10^4 \cdot 1) = -3 \cdot 10^4 \text{ Дж};$$

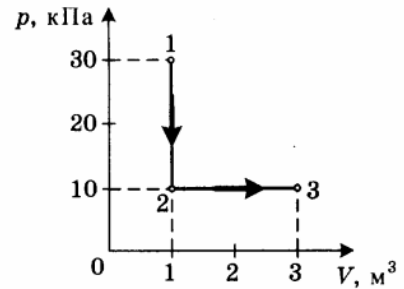
2. Изменение состояния 2 – 3 протекает по изобарной схеме, внешними силами над газом производится работа и изменяется его внутренняя энергия вследствие изменения температуры:

$$A_{23} = p_2 \Delta V = p_2 (V_3 - V_2) = 10^4 (3 - 1) = 2 \cdot 10^4 \text{ Дж};$$

$$T_2 = \frac{p_2 V_2}{\nu R}; \quad T_3 = \frac{p_3 V_3}{\nu R}; \quad \Delta U = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_3) = \frac{3}{2} (p_2 V_2 - p_3 V_3) = \frac{3}{2} 10^4 (3 - 1) = 3 \cdot 10^4 \text{ Дж};$$

3. Количество теплоты:

$$Q_{123} = A_{12} + \Delta U_{12} + \Delta U_{23} = 2 \cdot 10^4 \text{ Дж};$$



31. Катод фотоэлемента с работой выхода  $4,42 \cdot 10^{-19}$  Дж освещается светом частотой  $1,0 \cdot 10^{15}$  Гц. Вылетевшие из катода электроны попадают в однородное магнитное поле с индукцией  $8,3 \cdot 10^{-4}$  Тл перпендикулярно линиям индукции этого поля. Чему равен максимальный радиус окружности  $R$ , по которой движутся электроны?

**Решение**

$$h\nu = \frac{mv^2}{2} + A; \quad v = \sqrt{\frac{2(h\nu - A)}{m}}; \quad e\nu B = \frac{mv^2}{R}; \quad R = \frac{mv}{eB} = \frac{1}{eB} \sqrt{2m(h\nu - A)};$$

$$R \approx \frac{1}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 8,3 \cdot 10^{-4}} \sqrt{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} (6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 10^{15} - 4,42 \cdot 10^{-19})} \approx 4 \text{ мм};$$

32. Бассейн глубиной 4 м заполнен водой, относительный показатель преломления на границе воздух–вода 1,33. Какой кажется глубина бассейна наблюдателю, смотрящему в воду вертикально вниз?

**Решение**

1. Искажённое визуальное восприятие глубины бассейна вызвано особенностями преломления световых лучей на границе воздух – вода. Согласно закону преломления:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{1}{n};$$

2. Разглядывание бассейна по нормали к поверхности означает, что отражённый свет от дна бассейна ограничен при распространении к поверхности узким конусом.

3. Из прямоугольного треугольника ABC возможно определить углы падения и преломления луча, отраженного от истинного дна бассейна

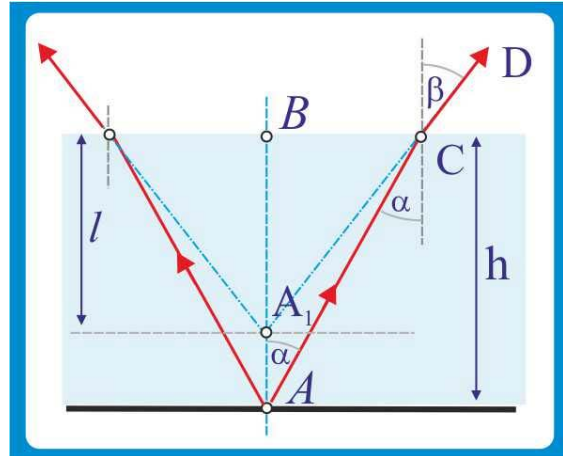
$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{BC}{h}; \quad \operatorname{tg}\beta = \frac{BC}{l};$$

4. Ввиду малости в реальности углов  $\alpha$  и  $\beta$  значение тангенсов приближённо можно заменить значениями синусов:

$$\operatorname{tg}\alpha \approx \sin \alpha; \quad \operatorname{tg}\beta \approx \sin \beta;$$

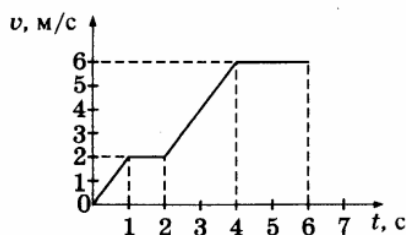
5. Закон преломления в этом случае даёт:

$$\frac{BC}{\frac{h}{\operatorname{tg}\beta}} = n; \quad \Rightarrow \quad l = \frac{h}{n} = \frac{4}{1,33} \approx 3\text{м};$$



## Вариант 7

1. На рисунке представлен график зависимости модуля скорости  $v$  автомобиля от времени  $t$ . Определите по графику путь, пройденный автомобилем в интервале от момента времени 0 с до момента времени 5 с после начала движения.



- 1) 6 м      2) 15 м      3) 17 м      4) 23 м

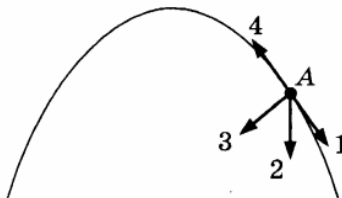
### Решение

$$a_{0-1} = \frac{\Delta v_{0-1}}{\Delta t_{0-1}} = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}; \quad s_{0-1} = \frac{a_{0-1} \Delta t_{0-1}^2}{2} = 1\text{м}; \quad s_{1-2} = v_{1-2} \Delta t_{1-2} = 2\text{м};$$

$$a_{2-4} = \frac{\Delta v_{2-4}}{\Delta t_{2-4}} = \frac{6-2}{2} = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}; \quad s_{2-4} = v_{1-2} \Delta t_{2-4} + \frac{a_{2-4} \Delta t_{2-4}^2}{2} = 4 + 8\text{м}; \quad s_{4-5} = 6\text{м};$$

$$s_{0-5} = s_{0-1} + s_{1-2} + s_{2-4} + s_{4-5} = 17\text{м};$$

2. На рисунке показана траектория движения камня, брошенного под некоторым углом к горизонтальной поверхности земли. В точке А этой траектории вектор ускорения камня обозначен стрелкой 2; траектория движения тела и все векторы лежат в плоскости, перпендикулярной поверхности земли. Сопротивление воздуха пренебрежимо мало. Какое направление имеет вектор равнодействующей всех сил, действующих на камень в системе отсчёта земли? В ответе укажите номер соответствующей стрелки.



### Решение

1. Движение тела, брошенного под углом к горизонту, в отсутствие сил сопротивления происходит под действием только силы тяжести, вектор которой направлен перпендикулярно поверхности земли, т.е. по направлению 2.

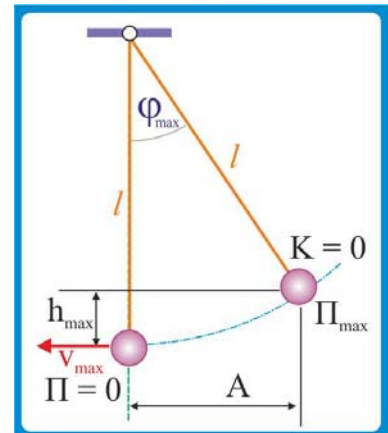
3. Математический маятник начинает совершать свободные колебания из точки максимального удаления от положения равновесия. Чему равна в этот момент кинетическая энергия маятника?

### Решение

1. При максимальном удалении груза от положения равновесия нить подвеса отклоняется на максимальный угол, при этом центр масс груза поднимается относительно нулевого уровня на высоту

$$h = \ell(1 - \cos \varphi_{\max}),$$

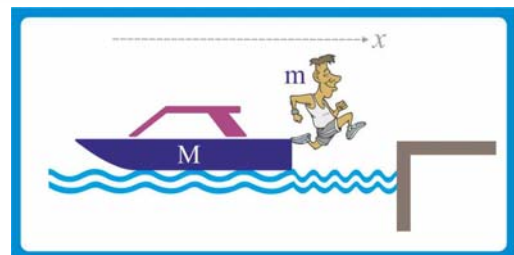
обеспечивая грузу максимальное значение потенциальной энергии и соответственно (по закону сохранения механической энергии) нулевое значение кинетической энергии.



4. Человек массой  $m$  прыгает с горизонтальной скоростью  $v$  относительно земли из неподвижной лодки массой  $M$  на берег. Каков суммарный импульс лодки и человека относительно земли в момент перед отрывом человека от лодки? Сопротивление воды движению лодки пренебрежимо мало.

### Решение

1. В момент перед отрывом человека от лодки они представляют одну механическую систему, в которой сумма внутренних сил равна нулю, что не может изменить её состояние, т.е. общий импульс системы равен нулю, закон сохранения импульса становится справедливым в момент отрыва человека от лодки.



5. Сила 10 Н сообщает телу ускорение 3 м/с<sup>2</sup>. Во сколько раз будет больше сила, сообщающая ускорение 1,5 м/с<sup>2</sup> телу в четыре раза большей массы?

### Решение

$$\left. \begin{array}{l} F_1 = ma_1; \\ F_2 = 4ma_2; \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{F_2}{F_1} = \frac{4a_2}{a_1} = \frac{6}{3} = 2;$$

6. Комета движется по эллиптической орбите вокруг Солнца. Изменяются ли перечисленные в первом столбце таблицы физические величины во время удаления кометы от Солнца и если изменяются, то как? Считаем, что на комету действует только сила тяготения Солнца.
- 1) не изменяется
  - 2) только увеличивается по модулю
  - 3) только уменьшается по модулю
  - 4) увеличивается по модулю и изменяется по направлению

- 5) уменьшается по модулю и изменяется по направлению  
 6) увеличивается по модулю, не изменяется по направлению  
 7) уменьшается по модулю, не изменяется по направлению

|                             |
|-----------------------------|
| Скорость                    |
| Ускорение                   |
| Кинетическая энергия        |
| Потенциальная энергия       |
| Полная механическая энергия |

### Решение

1. Линейная скорость кометы:

$$\frac{mv^2}{r} = G \frac{mM}{r^2}; \quad v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

$$r_1 < r_2; \Rightarrow v_2 < v_1; \mapsto (5);$$

2. Ускорение кометы:

$$a_n = \frac{v^2}{r}; \quad v^2 \downarrow; a_n \downarrow; \mapsto (5);$$

3. Кинетическая энергия спутника скалярная величина:

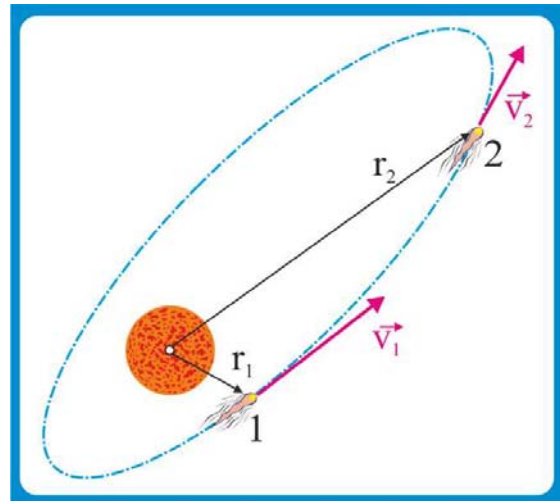
$$K = \frac{mv^2}{2}; \quad v \downarrow; K \downarrow; \mapsto (3)$$

4. Потенциальная энергия кометы:

$$\Pi = mg(R+r); \quad r \uparrow; \Pi \uparrow; \mapsto (2);$$

5. Полная механическая энергия кометы на орбите:

$$K + \Pi = \text{const}; \mapsto (1);$$



|  |   |
|--|---|
| Скорость                                   | 4 |
| Нормальное (центростремительное) ускорение | 4 |
| Кинетическая энергия                       | 2 |
| Потенциальная энергия                      | 3 |
| Полная механическая энергия                | 1 |

7. Спортсмен выполняет на турнике обороты 360°. Изменяются ли перечисленные в первом столбце физические величины во время движения центра масс спортсмена вниз из стойки вверху до прохождения положения равновесия и если изменяются, то как? Установите соответствие между физическими величинами, перечисленными в первом столбце, и возможными видами их изменений, перечисленными во втором столбце. Влиянием сопротивления воздуха пренебречь.

**ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ ИХ ИЗМЕНЕНИЯ**

- |                          |                  |
|--------------------------|------------------|
| А) скорость              | 1) не изменяется |
| Б) ускорение             | 2) увеличивается |
| В) кинетическая энергия  | 3) уменьшается   |
| Г) потенциальная энергия |                  |

**Решение**

1. Скорость при движении центра масс из положения  $C_1$  в положение  $C_2$  увеличивается от нуля до некоторой максимальной величины:

$$v_2 > v_1; \quad \mapsto \quad (2);$$

2. Ускорение в верхней точке траектории равно нулю, а в нижней точке траектории:

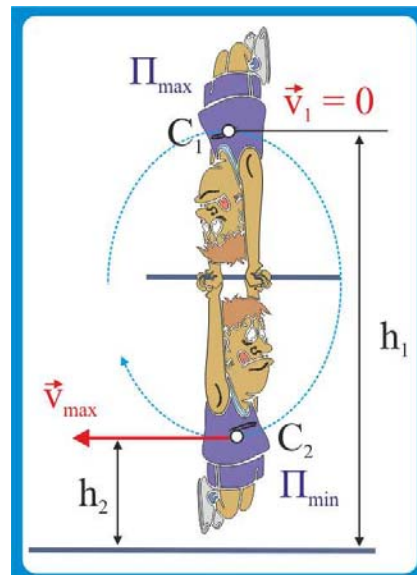
$$a_2 = \frac{v_2^2}{h_1 - h_2}; \quad \Rightarrow \quad a_2 > a_1; \quad \mapsto \quad (2);$$

3. Кинетическая энергия спортсмена в его верхнем положении равна нулю, а в нижнем – имеет максимум:

$$K_1 = 0; \quad K_2 = \frac{mv_2^2}{2}; \quad K_2 > K_1; \quad \mapsto \quad (2);$$

4. Потенциальная энергия:

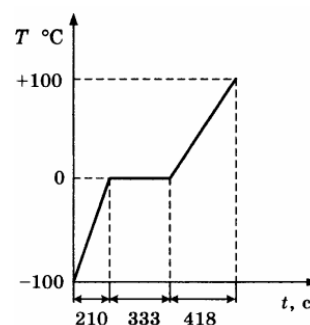
$$\Pi_1 = mgh_1; \quad \Pi_2 = mgh_2; \quad h_1 > h_2; \quad \Rightarrow \quad \Pi_2 < \Pi_1; \quad \mapsto \quad (3);$$



8. На графике представлено, как изменялась с течением времени температура 0,1 кг воды, находившейся в начальный момент в кристаллическом состоянии при температуре  $-100\text{ }^\circ\text{C}$ , при постоянной мощности теплопередачи 100 Вт.

По графику на рисунке определите, сколько секунд длился процесс нагревания жидкой воды.

- 1) 210 с      2) 333 с      3) 418 с      4) 961 с



**Решение**

1. Процесс нагревания воды от  $0\text{ }^\circ\text{C}$  до температуры кипения  $100\text{ }^\circ\text{C}$ , судя по заданному графику, длился  $\tau = 418\text{ с}$ .

9. Идеальный газ отдал количество теплоты 300 Дж, и при этом внутренняя энергия газа увеличилась на 100 Дж. Работа, совершенная газом, равна

- |           |            |
|-----------|------------|
| 1) 400 Дж | 3) -400 Дж |
| 2) 200 Дж | 4) -200 Дж |

**Решение**

1. В соответствии с первым началом термодинамики:

$$-\delta Q = \Delta U + A; \quad \Rightarrow \quad A = -\delta Q + (-\Delta U) = -400\text{ Дж};$$

10. В результате нагревания идеального газа средняя кинетическая энергия теплового движения его молекул увеличилась в 5 раз. Во сколько раз увеличилась при этом абсолютная температура газа?

**Решение**

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_1 &= \frac{3}{2} k_B T; \\ \varepsilon_2 &= \frac{3}{2} k_B 5T; \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} = 5;$$

11. Установите соответствие между физическими величинами, характеризующими адиабатный процесс сжатия воздуха, перечисленными в первом столбце, и их изменениями во втором столбце.

**ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ**      **ИХ ИЗМЕНЕНИЯ**

- |                |                 |
|----------------|-----------------|
| А) давление    | 1) увеличение   |
| Б) объём       | 2) уменьшение   |
| В) температура | 3) неизменность |

**Решение**

А. Давление при адиабатическом процессе:

$$\frac{p_1}{p_2} = \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^\gamma; \quad V_2 < V_1; \Rightarrow p > p_2; \mapsto (1);$$

Б. Объём уменьшается, потому что газ сжимается по условию задачи:  $\mapsto (2)$ .

В. Температура:

$$\frac{T_1}{T_2} = \left( \frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}; \quad p_2 > p_1; \quad T_2 > T_1; \mapsto (2);$$

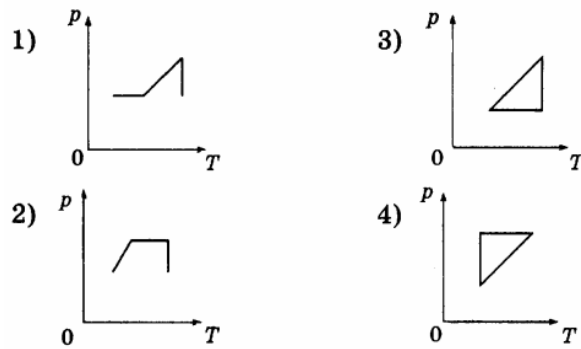
Г. Внутренняя энергия:

$$\Delta U_{12} = \frac{i}{2} \nu R (T_2 - T_1); \quad (T_2 - T_1) > 0; \quad \Delta U_{12} > 0; \mapsto (1);$$

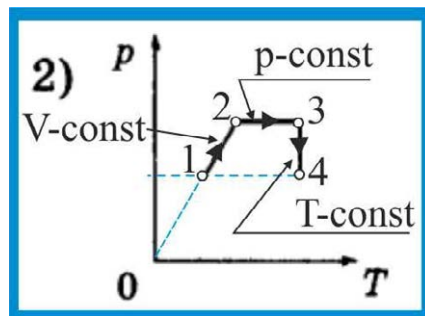
|   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| А | Б | В | Г |
| 1 | 2 | 1 | 1 |

12. Идеальный газ сначала нагревался при постоянном объёме, потом его объём увеличивался при постоянном давлении, затем при постоянной температуре давление газа уменьшилось до первоначального значения. Какой из графиков в координатных осях  $p$ — $T$  на рисунке соответствует этим изменениям состояния газа?





### Решение



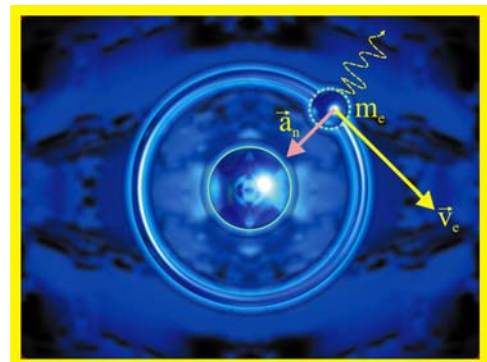
13. В атоме водорода электрон удерживается силами притяжения к протону вследствие

- 1) способности одного электрического заряда мгновенно действовать на любой другой электрический заряд на любом расстоянии
- 2) того, что вокруг каждого электрического заряда существует электрическое поле, способное действовать на электрические поля других зарядов
- 3) того, что вокруг каждого электрического заряда существует электрическое поле, способное действовать на электрические заряды
- 4) гравитационного взаимодействия

### Решение

1. Несмотря на то, что модель атома Резерфорда инициировала целый поток идей о строении атома и особенностях устройства электронных составляющих, этой модели были присущи принципиальные недостатки.

2. Наиболее наглядно это наблюдается на примере самого простого атома водорода, который по представлениям Резерфорда содержит на орбите один единственный электрон, компенсирующий положительный заряд ядра, равный по модулю заряду электрона.



Атом водорода по Резерфорду

3. Электрон, совершая вращение вокруг ядра по круговой или эллиптической орбите, ввиду специфики криволинейного движения обладает центростремительным ускорением  $a_n$ . В соответствие с классической электродинамикой такой ускоренно движущийся электрон неминуемо должен излучать электромагнитную волну, следовательно, движение его будет не круговым или эллиптическим, а спиралевидным, т.е. в конце концов, эта спираль должна закончиться на ядре.

4. Кроме того, модель атома Резерфорда не объясняла, почему атомы излучают только определённые частоты. Когда Резерфорд вершил судьбы мировой науки, поблизости, в статусе ученика обретался молодой датский студент Нильс Бор, которому все эти атомно-ядерные разговоры были чрезвычайно интересны.

5. Наслушавшись научных диспутов между Дж. Дж. Томсоном, Резерфордом и другими титанами физики и ознакомившись с работами Макса Планка, Нильс Бор заподозрил, что между квантовой гипотезой Планка и устройством атома должна быть взаимосвязь, коль квантовая теория так убедительно работает на чёрном теле и фотоэффекте.

6. Бор подозревал, что квантовые представления могли объяснить стабильность атомов. Последовательность рассуждений Нильса Бора была примерно такова. Для начала Бор предположил, что электрон, вопреки классической электродинамике, находясь на стационарной орбите, не излучает. Сила Кулона со стороны ядра:

$$\vec{F}_k = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze \cdot e}{r^3} \vec{r},$$

удовлетворяет закону обратных квадратов, как и гравитационная сила Ньютона

$$\vec{F}_G = G \frac{m_1 m_2}{r^3} \vec{r},$$

т.е. в классическом варианте задача о движении электрона аналогична задаче о движении планет вокруг Солнца, почему, собственно, Резерфорд и пришёл к планетарной модели атома. Потенциальная энергия, обусловленная силой Кулона, определяется как

$$\Pi(r) = -\frac{Ze^2}{r},$$

где  $Ze$  – заряд ядра, принятый Бором как материальная точка. Нормальное ускорение электрона при линейной скорости движения  $v$  равно

$$a_n = \frac{v^2}{r}.$$

7. Условие нахождения электрона на стационарной орбите запишется в виде равенства силы Кулона и силы инерции, так же как при рассмотрении планет, вращающихся вокруг Солнца, с той разницей, что гравитационная сила заменяется силой Кулона

$$\frac{m_e v^2}{r} = k \frac{Ze^2}{r^2}; \Rightarrow m_e v^2 = \frac{Ze^2}{r}.$$

Далее было записано уравнение для суммарной энергии электрона на орбите

$$W = \frac{m_e v^2}{2} + \Pi(r) = -\frac{Ze^2}{2r},$$

уравнение угловой скорости и кинетического момента

$$\omega = \frac{v}{r}, \quad L = m_e v r.$$

8. Таким образом, движение электрона описывалось пятью переменными  $\{r, v, W, \omega, L\}$ , которые связаны четырьмя уравнениями, в основе которых лежит кулоновское взаимодействие  $\mapsto (3)$ .

14. Электромагнитной индукцией называется явление

- 1) возникновения магнитного поля в катушке при пропускании электрического тока через неё
- 2) намагничивания железа с помощью постоянного магнита
- 3) взаимного притяжения разноимённых полюсов магнитов
- 4) возникновения электрического тока в катушке при изменении магнитного поля в ней

Решение

1. Майкл Фарадей, ознакомившись с работами Ампера и его последователей, пришёл к идее обратимости процессов при взаимодействии магнитного поля и электрического тока. В 1831 г. он увлёкся идеей получения электрического тока посредством магнитного поля.

Первые эксперименты были просты и оригинальны. На стальной сердечник были намотаны две катушки  $L_1$  и  $L_2$ , причём первая катушка была подключена к источнику ЭДС  $\varepsilon$ . В цепь второй катушки был включён гальванометр.

Подключая и отключая катушку  $L_1$  к источнику тока, экспериментаторы обнаружили броски стрелки. Стало ясно что во втором контуре, замкнутом на гальванометр ЭДС возникает только в моменты времени, когда магнитная индукция исходного поля либо возрастает, либо уменьшается.

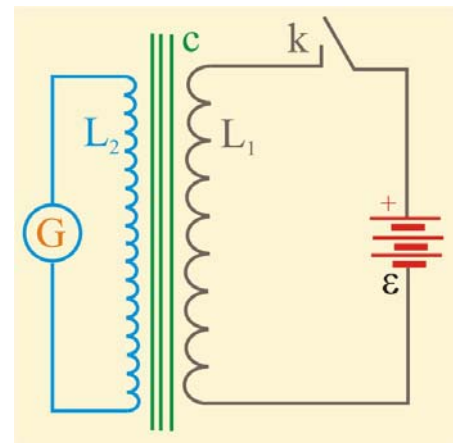
Проверка обнаруженной закономерности была проверена при вдвигании и выдвигании постоянного магнита внутрь многovitковой катушки, замкнутой на гальванометр (рис. 4.2). Перемещение магнита сопровождалось возбуждением тока в катушке, который получил название **индукционного**.

Зафиксированные экспериментально факты индуцирования ЭДС Фарадей объяснил исходя из следующих предпосылок.

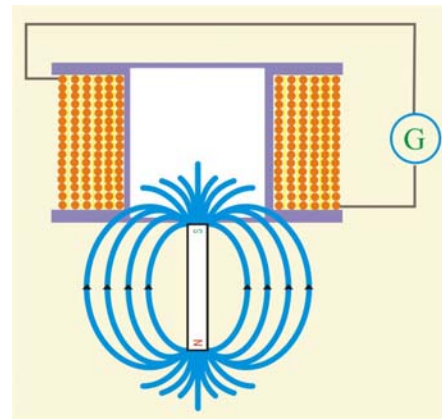
Если магнитное поле изображать посредством линий индукции, то одной из характеристик будет густота линий.

2. Пусть некоторый замкнутый контур, для простоты изображения круговой, движется в магнитном поле, переходя в пространство с большей густотой линий магнитной индукции. Как было показано ранее, магнитное поле имеет вихревой характер, т.е. линии магнитной индукции замкнуты, они не имеют начал и концов.

Линии индукции сцеплены с контуром, поэтому пересечение этих линий должно сопровождаться пересечением плоскости контура этих линий. Если проводник находится в покое, то переменный характер должно иметь магнитное поле.



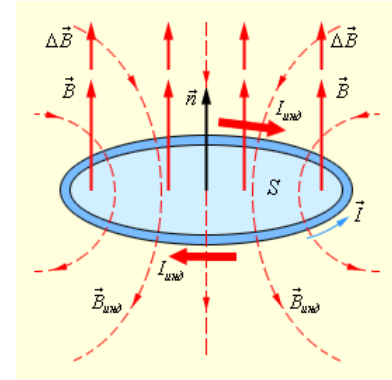
Первые опыты М. Фарадея



Опыт с магнитом

В этой связи Фарадей заключил, что **индукционный ток возникает в проводнике только в том случае, если проводник или какая либо его часть пересекает линии магнитной индукции.**

3. Эмилий Христофорович Ленц применяя к явлению электромагнитной индукции закон сохранения энергии сформулировал следующее правило в соответствии с которым возникающий в проводнике индукционный ток  $I_{\text{инд}}$  приводит к возникновению магнитного поля  $\vec{B}_{\text{инд}}$ , направленного в противоположную сторону исходному полю. Другими словами, **индукционный ток во всех случаях направлен таким образом, что его действие противоположно действию причины, вызвавшей этот ток.**



*Замкнутый контур в магнитном поле*

Правило (закон) Ленца применимо к случаям, когда проводник неподвижен, а изменяется внешнее магнитное поле. Правило Ленца подтверждает лишний раз справедливость закона сохранения энергии. Если предположить, что вторичное индуцированное поле имело бы направление совпадающее с исходным полем, то не существовало бы причин неограниченного возрастания индукционного тока во время всех изменений исходного поля. А на самом деле такового не наблюдается.

Возникновение индукционных токов сопровождается совершением дополнительной работы внешними силами, а силы, вызванные индукционным током, препятствуют движению.

Приведенные выше рассуждения и экспериментальные данные были обобщены в виде закона электромагнитной индукции Майкла Фарадея

4. Пусть прямолинейный проводник длиной  $l$  перемещается с постоянной скоростью  $\vec{v}$  в однородном магнитном поле с индукцией  $\vec{B}$ . За время  $\Delta t$  проводник перемещается пересекая поле на площади

$$\Delta S = \ell v \Delta t,$$

при этом изменение магнитного потока составляет

$$\Delta \Phi_B = B \Delta S.$$

Рассмотрим бесконечно малое перемещение проводника за время  $dt$ , когда магнитный поток изменяется на величину  $d\Phi_B$ , при этом будет совершаться работа, величина которой с учётом правила Ленца запишется следующим образом

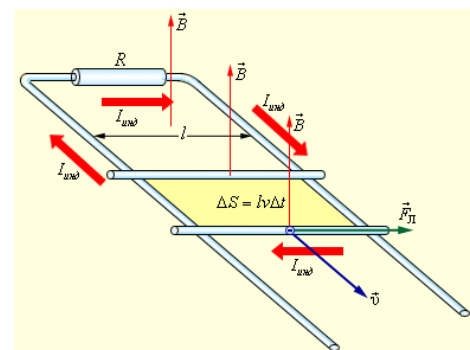
$$\delta A = -I_{\text{инд}} d\Phi_m.$$

Поскольку в уравнение работы входит величина индукционного тока, то очевидно, что она связана с перемещением носителей зарядов. Движение зарядов может возникнуть только при возникновении внутри проводника электрического поля. Для рассматриваемого случая справедливо соотношение

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi_B}{dt}.$$

**5. Уравнение представляет собой математическое выражение закона электромагнитной индукции Майкла Фарадея.**

Рассмотрим причины возникновения ЭДС индукции на микроуровне с позиций классической теории электропроводности металлов. На свободные электроны, хаотиче-



*Возникновение ЭДС индукции*

ски движущиеся в межкуристаллическом пространстве при наличии магнитного поля, действует сила Лоренца

$$F_L = evB.$$

Под действием силы Лоренца произойдет перемещение зарядов, так что на концах проводника возникнет некоторая разность потенциалов  $\Delta\varphi$ . При этом возникшее электрическое поле  $\vec{E}$  будет препятствовать передвижению зарядов.

Их перемещение прекратится когда сила со стороны индуцированного электрического поля  $\vec{F}_E = e\vec{E}$  уравнивает силу Лоренца, т.е.

$$eE = evB, \Rightarrow E = vB.$$

С другой стороны  $\Delta\varphi = El$ , откуда  $E = \Delta\varphi/l$ , что позволяет записать уравнение

$$\Delta\varphi = vB\ell.$$

Представим скорость как  $v = dx/dt$

$$\Delta\varphi = \frac{dx}{dt} B\ell.$$

Сделаем в последнем уравнении ещё одну замену:  $dx \cdot l = dS$ , тогда

$$\Delta\varphi = \frac{BdS}{dt} = \frac{d\Phi_m}{dt}. \quad (4.2)$$

Сравнивая уравнения  $\varepsilon_i$  и  $\Delta\varphi$ , можно видеть, что разность потенциалов на концах разомкнутого проводника равняется по модулю ЭДС электромагнитной индукции.

В уравнение ЭДС электромагнитной индукции не вошли конкретные механические параметры движения, потому что всё определяется только скоростью изменения магнитного потока, причём способ этого изменения не имеет принципиального значения.

Можно перемещать контур, можно его деформировать, меняя площадь, а можно просто увеличивать или уменьшать величину магнитной индукции, во всех случаях в контуре будет возникать ЭДС индукции и индукционный ток  $\mapsto$  (4).

- 15.** При подключении резистора с электрическим сопротивлением 1 кОм к выводам источника тока с ЭДС 12 В сила тока в цепи была равна 6 мА. Чему равна сила тока в цепи при подключении к этому источнику резистора с сопротивлением 3 кОм?

### Решение

1. Внутреннее сопротивление источника тока:

$$I_1 = \frac{\varepsilon}{R_1 + r}; \quad I_1 R_1 + I_1 r = \varepsilon; \quad r = \frac{\varepsilon - I_1 R_1}{I_1} = \frac{\varepsilon}{I_1} - R = \frac{12}{6 \cdot 10^{-3}} - 1 \cdot 10^3 = 1 \cdot 10^3 \text{ Ом};$$

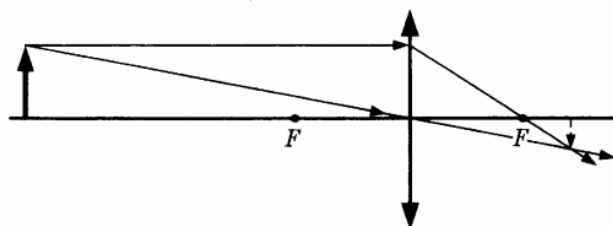
2. Сила тока при подключении резистора с сопротивлением  $R_2$

$$I_2 = \frac{\varepsilon}{R_2 + r} = \frac{12}{4 \cdot 10^3} = 3 \text{ мА};$$

- 16.** На рисунке представлена схема хода лучей при получении изображения предмета с помощью линзы. Эта схема соответствует случаю использования линзы в качестве

- 1) лупы
- 2) объектива фотоаппарата

- 3) очков близоручного человека  
4) объектива проекционного аппарата



Решение



17. К источнику постоянного тока была подключена одна электрическая лампа. Что произойдёт с напряжением на этой лампе, мощностью тока на ней и силой тока в лампе при подключении параллельно с этой лампой второй такой же лампы?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

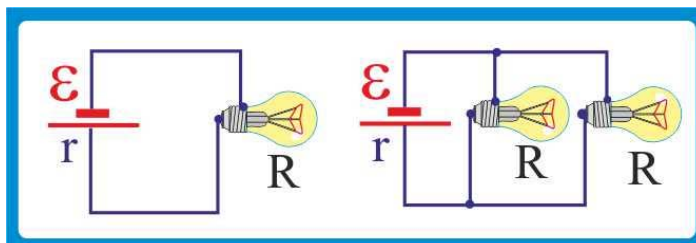
- 1) увеличение
- 2) уменьшение
- 3) неизменность

Решение

1. Сила тока через лампочку:

$$\left. \begin{aligned} I_{R(1)} &= \frac{\varepsilon}{R + r}; \\ I_{R(1,2)} &= \frac{\varepsilon}{\frac{R}{2} + r} \end{aligned} \right\}$$

$$I_{R(2)} = \frac{I_{R(1,2)}}{2}; \Rightarrow I_{R(2)} < I_{R(1)}; \mapsto (2);$$



2. Напряжение на лампочке:

$$U = IR; \quad I_{R(2)} < I_{R(1)}; \Rightarrow U_{R(2)} < U_{R(1)}; \mapsto (2);$$

3. Мощность тока на лампочке:

$$P = IU; \Rightarrow P_{R(2)} < P_{R(1)}; \mapsto (2);$$

**18.** Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым эти величины определяются. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

| ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ                    | ФОРМУЛЫ                        |
|--|--------------------------------|
| А) электрическое напряжение            | 1) $F = G \frac{mM}{r^2}$      |
| Б) сила гравитационного взаимодействия | 2) $U = \frac{A}{q}$           |
| В) давление                            | 3) $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$ |
|  | 4) $U = \frac{q}{C}$           |
|  | 5) $p = \frac{F}{S}$           |

### Решение

А. Электрическое напряжение:

$$A_{12} = (\varphi_1 - \varphi_2)q; \quad A_{12} = Uq; \mapsto U = \frac{A}{q}; \quad (2);$$

Б. Сила гравитационного взаимодействия:

$$F = G \frac{mM}{r^2}; \mapsto (1)$$

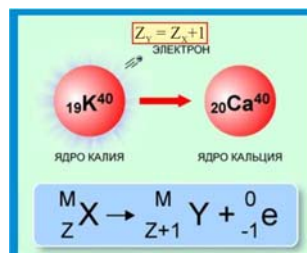
В. Давление:

$$p = \frac{P}{S}; \mapsto (5)$$

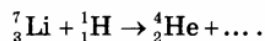
**19.** В результате электронного  $\beta$ -распада ядра атома элемента с зарядовым числом  $Z$  получается ядро атома элемента с зарядовым числом

- |            |            |
|------------|------------|
| 1) $Z - 2$ | 3) $Z - 1$ |
| 2) $Z + 1$ | 4) $Z + 2$ |

### Решение



20. Укажите второй продукт ядерной реакции:



- 1)  ${}^1_0n$       2)  $e$       3)  ${}^1_1\text{H}$       4)  ${}^4_2\text{He}$

Решение

$$Z_x = 3 + 1 - 2 = 2; \quad A_x = 7 + 1 - 4 = 4; \quad {}^4_x \equiv {}^4_2\text{He}; \quad \mapsto (4);$$

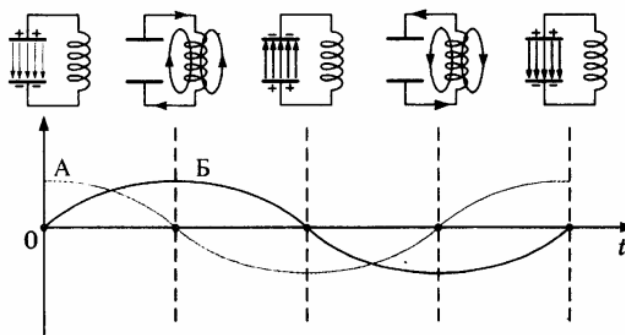
21. При освещении металлической пластины с работой выхода  $A$  монохроматическим светом частотой  $\nu$  происходит фотоэлектрический эффект, максимальная кинетическая энергия освобождаемых электронов равна  $E_{\text{макс}}$ . Каким будет значение максимальной кинетической энергии фотоэлектронов при освещении этим же монохроматическим светом пластины с работой выхода  $2A$ , если фотоэффект происходит?

Решение

$$\left. \begin{aligned} h\nu &= K_{\text{макс}(1)} + A; \\ h\nu &= K_{\text{макс}(2)} + 2A; \end{aligned} \right\} K_{\text{макс}(1)} + A = K_{\text{макс}(2)} + 2A; \quad K_{\text{макс}(2)} = K_{\text{макс}(1)} - A;$$

22. Схемы и графики на рисунке иллюстрируют свободные электромагнитные колебания. Колебания в контуре возникли при подключении концов катушки к обкладкам заряженного конденсатора (первая схема слева). Установите соответствие между графиками А и Б и значениями физических величин в момент, равный  $\frac{1}{2}T$ .

СХЕМЫ И ГРАФИКИ

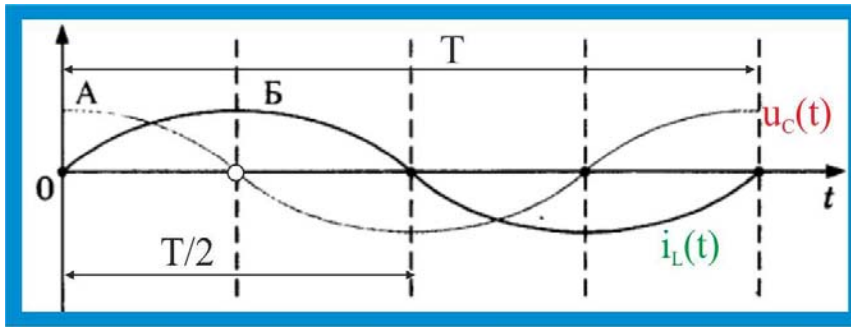


ЗНАЧЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

- 1) модуль силы тока в катушке максимален
- 2) модуль напряжения между обкладками конденсатора максимален
- 3) сила тока в катушке равна нулю
- 4) напряжение между обкладками конденсатора равно нулю



### Решение



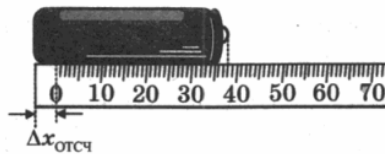
А. Изменение напряжения на конденсаторе:

$$u_C = u_0 \cos \omega t = u_0 \sin \frac{2\pi}{T} t; \quad u_{C(T/2)} = u_0 \cos \frac{2\pi}{T} \frac{T}{2} = u_0 \cos \pi = -u_0; \quad \mapsto (2);$$

Б. Изменение силы тока в катушке:

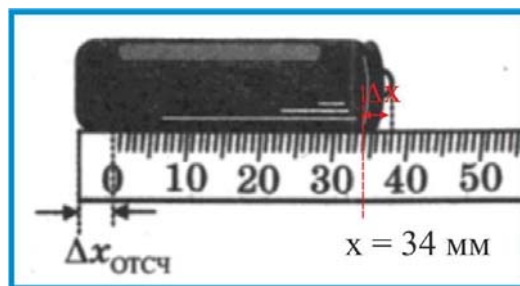
$$i_L = i_0 \sin \frac{2\pi}{T} t; \quad i_{L(T/2)} = i_0 \sin \pi = 0; \quad \mapsto (3);$$

23. На рисунке представлено, как измерялась длина гальванического элемента с помощью измерительной линейки С учётом выявленной погрешности ( $\Delta x_{\text{отсч}} = 4 \text{ мм}$ ) определите, чему равна длина гальванического элемента.

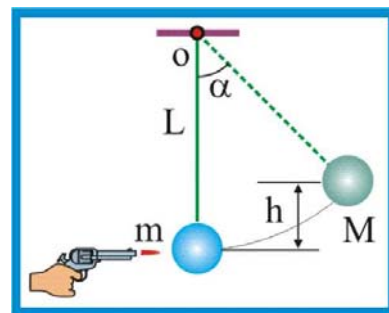


- 1) 42 мм    2) 40 мм    3) 38 мм    4) 34 мм

### Решение



24. Неподвижный маятник в виде прямого тонкого невесомого стержня длины  $L = 1 \text{ м}$  и различных шаров массой  $M = 1 \text{ кг}$  обстреливают пулями массой  $m = 10 \text{ г}$ , летящими горизонтально со скоростью  $v = 50 \text{ м/с}$ . Зарегистрированы три случая: 1) пуля застряла в шаре; 2) пуля пробила шар и вылетела из него со скоростью  $v_1 = v/5$ ; пуля отскочила от шара со скоростью  $v_2 = v/2$ . Определите углы отклонения стержня от положения равновесия.



### Решение

1. Рассмотрим случай, когда пуля остаётся в шаре. Закон сохранения импульса в этом случае будет иметь вид

$$mv = (M + m)u_1, \Rightarrow u_1 = \frac{mv}{M + m} \cong 0,5M/c,$$

где  $u$  – скорость шара с застрявшей пулей. Закон сохранения энергии представится в следующем виде

$$(m + M)gL(1 - \cos \alpha) = \frac{(m + M)u_1^2}{2},$$

откуда

$$\cos \alpha = 1 - \frac{u_1^2}{2Lg}, \quad \alpha = \arccos \left( 1 - \frac{u_1^2}{2Lg} \right) \cong 9^\circ.$$

2. Когда на пути пули располагается шар, который она пробивает насквозь, закон сохранения импульса записывается следующим образом

$$mv = Mu_2 + mv_1, \Rightarrow u_2 = \frac{m(v - v_1)}{M} \cong 0,4 \frac{M}{c},$$

где  $v_1 = v/5$  – скорость пули после пролёта шара. Подстановка значения скорости шара даёт  $\alpha = 7,2^\circ$ .

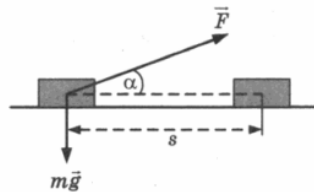
3. Абсолютно упругое взаимодействие пули с шаром характеризуется следующим уравнением закона сохранения импульса

$$mv = Mu_3 + mv_2, \Rightarrow u_3 = \frac{m(v - 0,5v)}{M} \cong 0,25 \frac{M}{c},$$

что соответствует углу отклонения  $\alpha \cong 4,5^\circ$ .

---

25. Брусок массой  $m$  перемещается на расстояние  $s$  по прямой на горизонтальной поверхности под действием силы  $\vec{F}$ , направленной под углом  $\alpha$  к горизонту. Коэффициент трения равен  $\mu$ . Чему равна работа силы тяжести бруска на этом пути?



### Решение

$$A(m\vec{g}) = mg \cos(m\vec{g}; \vec{s}); \quad (m\vec{g}; \vec{s}) = \frac{\pi}{2}; \quad \cos \frac{\pi}{2} = 0; \Rightarrow A(m\vec{g}) = 0;$$

---

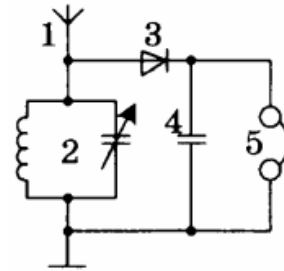
26. Идеальный газ получил количество теплоты 100 Дж, и при этом внутренняя энергия газа уменьшилась на 100 Дж. Чему равна работа, совершённая внешними силами над газом?

### Решение

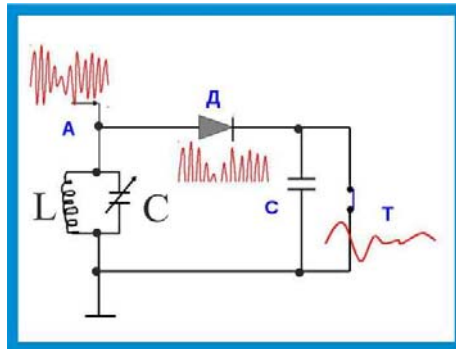
$$\delta Q = -\Delta U - \delta A; \quad \delta A = -(\delta Q + \Delta U) = -200 \text{ Дж};$$

---

27. На рисунке изображена схема детекторного приёмника. С помощью какого элемента приёмника осуществляется детектирование колебаний?



**Решение**



28. В эксперименте установлено, что при температуре воздуха в комнате 27 °С на стенке стакана с холодной водой начинается конденсация паров воды из воздуха, если снизить температуру стакана до 16 °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 16 °С. Изменилась ли относительная влажность воздуха?

**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:

$$\varphi = \frac{p_{\text{н}(16^\circ)}}{p_{\text{н}(27^\circ)}} = \frac{18 \cdot 10^9}{36 \cdot 10^9} = 0,5 (50\%);$$

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. В данном случае точка росы не меняется, следовательно и влажность сохраняется

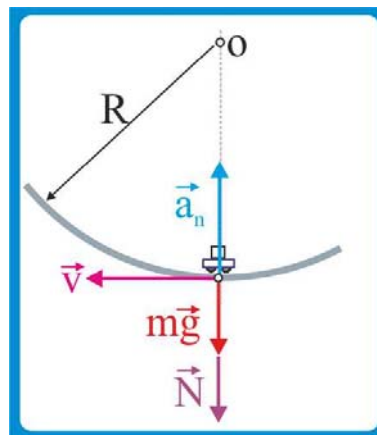
29. В аттракционе человек массой 70 кг движется на тележке по рельсам и совершает «мёртвую петлю» в вертикальной плоскости. С какой скоростью двигалась тележка в нижней точке круговой траектории радиусом 5 м, если в этой точке сила давления человека на сиденье тележки была равна 2100 Н? Ускорение свободного падения 10 м/с<sup>2</sup>.

**Решение**

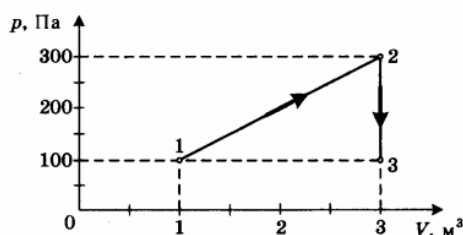
$$F = mg + N = mg + \frac{mv^2}{R};$$

$$F - mg = \frac{mv^2}{R}; \quad R\left(\frac{F}{m} - g\right) = v^2;$$

$$v = \sqrt{R\left(\frac{F}{m} - g\right)} = \sqrt{5\left(\frac{2100}{70} - 10\right)} = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$



30. На диаграмме представлены изменения давления и объёма идеального одноатомного газа. Какое количество теплоты было получено или отдано газом при переходе из состояния 1 в состояние 3?



**Решение**

1. На переходе 1 – 2 совершается работа и изменяется внутренняя энергия газа:

$$A_{12} = \frac{\Delta p_{12} \Delta V_{12}}{2} = 400 \text{ Дж};$$

$$T_1 = \frac{p_1 V_1}{\nu R}; \quad T_2 = \frac{p_2 V_2}{\nu R}; \quad \Delta U_{12} = \frac{3}{2}(p_2 V_2 - p_1 V_1) = \frac{3}{2}(900 - 100) = 1200 \text{ Дж};$$

2. На переходе 2 – 3 работа не совершается, изменяется внутренняя энергия:

$$\Delta U_{23} = \frac{3}{2}(p_3 V_3 - p_2 V_2) = \frac{3}{2}(300 - 900) = -900 \text{ Дж};$$

3. Количество полученной газом теплоты:

$$Q_{123} - A_{12} + \Delta U_{12} + \Delta U_{23} = 700 \text{ Дж};$$

31. При коротком замыкании выводов гальванического элемента сила тока в цепи равна 2 А. При подключении к выводам гальванического элемента электрической лампы электрическим сопротивлением 3 Ом сила тока в цепи

равна 0,5 А. По результатам этих экспериментов определите ЭДС гальванического элемента.

**Решение**

$$\left. \begin{array}{l} I_1 = \frac{\varepsilon}{r}; \\ I_2 = \frac{\varepsilon}{R+r}; \end{array} \right\} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} r = \frac{\varepsilon}{I_1}; \\ I_2 = \frac{\varepsilon}{R + \frac{\varepsilon}{I_1}}; \end{array} \right\} I_2 R + \frac{I_2}{I_1} \varepsilon = \varepsilon; \quad \varepsilon = \frac{I_2 R}{1 - \frac{I_2}{I_1}} = \frac{0,5 \cdot 3}{1 - 0,25} = 2\text{В};$$


---

- 32.** Фотокатод с работой выхода  $4,42 \cdot 10^{-19}$  Дж освещается светом с длиной волны 300 нм. Вылетевшие из катода электроны попадают в однородное магнитное поле индукцией  $7,87 \cdot 10^{-4}$  Тл перпендикулярно вектору индукции. Чему равен максимальный радиус окружности  $R$ , по которой движутся электроны?

**Решение**

$$\frac{hc}{\lambda} = \frac{mv^2}{2} + A; \quad v = \sqrt{\frac{2\left(\frac{hc}{\lambda} - A\right)}{m}}; \quad evB = \frac{mv^2}{R}; \quad R = \frac{mv}{eB} = \frac{1}{eB} \sqrt{2m\left(\frac{hc}{\lambda} - A\right)};$$

$$R \approx \frac{1}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 7,87 \cdot 10^{-4}} \sqrt{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \left( \frac{2 \cdot 10^{-25}}{3 \cdot 10^{-7}} - 4,42 \cdot 10^{-19} \right)} \approx 5\text{мм};$$


---

## Вариант 8

1. При прямолинейном движении зависимость пройденного телом пути  $s$  от времени  $t$  имеет вид:  $s = 4t + t^2$ . Скорость тела в момент времени  $t = 2$  с при таком движении равна

- 1) 12 м/с    3) 6 м/с  
2) 8 м/с    4) 4 м/с

**Решение**

$$v = \frac{ds}{dt} = 4 + 2t; \quad \tau = 2\text{с}; \quad v_\tau = 8 \frac{\text{м}}{\text{с}}; \quad \mapsto \quad (2)$$

2. Под действием одной силы  $\vec{F}_1$  тело движется с ускорением  $4 \text{ м/с}^2$ . Под действием другой силы  $\vec{F}_2$ , направленной противоположно силе  $\vec{F}_1$ , ускорение тела равно  $3 \text{ м/с}^2$ . С каким ускорением будет двигаться тело при одновременном действии сил  $\vec{F}_1$  и  $\vec{F}_2$ ?

**Решение**

$$\left. \begin{array}{l} \sum_{i=1}^{i=2} \vec{F}_i = ma; \\ F_1 = ma_1; \\ F_2 = ma_2; \end{array} \right\} F_1 - F_2 = ma_3 = m(a_1 - a_2); \quad a_3 = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}^2};$$

3. Первая гиря массой  $4 \text{ кг}$ , подвешенная на стальной пружине, совершает свободные колебания с периодом  $2 \text{ с}$ . С каким периодом будет совершать свободные колебания вторая гиря массой  $1 \text{ кг}$ , подвешенная вместо первой на этой же пружине? Потерями энергии в процессе колебаний пренебречь.

**Решение**

$$\left. \begin{array}{l} T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{4m}{k}}; \\ T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}; \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{T_1}{T_2} = 2; \quad \Rightarrow T_2 = \frac{T_1}{2} = 1\text{с};$$

4. Вагон массой  $m$ , движущийся со скоростью  $v$ , сталкивается с неподвижным вагоном массой  $2m$ . Каким суммарным импульсом обладают два вагона в момент столкновения? Взаимодействие вагонов с другими телами пренебрежимо мало.

**Решение**

1. Закон сохранения импульса в проекции на направление движения:

$$mv = (m + 2m)u;$$

$$u = \frac{mv}{2m + m}; \quad p = (m + 2m)u = mv;$$

5. Во сколько раз меньше сила гравитационного притяжения, действующая на тело на расстоянии  $R\sqrt{2}$  от центра планеты радиусом  $R$ , чем у поверхности планеты?

Решение

$$\left. \begin{aligned} F_1 &= G \frac{mM}{2R^2}; \\ F_2 &= G \frac{mM}{R^2}; \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{F_1}{F_2} = 2;$$

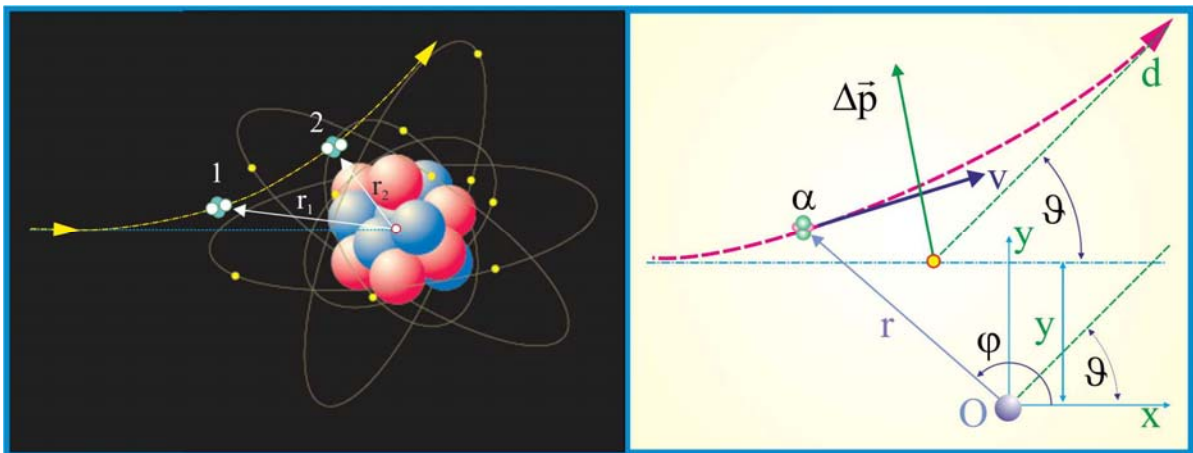
6. Положительно заряженная альфа-частица, испущенная радиоактивным ядром, движется по направлению к атомному ядру, вектор скорости направлен под некоторым углом к прямой, соединяющей частицу с ядром. Изменяются ли перечисленные в первом столбце таблицы физические величины во время приближения частицы к ядру и если изменяются, то как?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) не изменяется
- 2) увеличивается
- 3) уменьшается
- 4) увеличивается по модулю и изменяется по направлению
- 5) уменьшается по модулю и изменяется по направлению
- 6) увеличивается по модулю, не изменяется по направлению
- 7) уменьшается по модулю, не изменяется по направлению

|                      |
|----------------------|
| Скорость             |
| Ускорение            |
| Кинетическая энергия |

Решение



1. Пусть  $\alpha$  – частица на большом от ядра расстоянии движется со скоростью  $v$ , направленной под некоторым углом к линии, соединяющей ядро и частицу.

Обозначим через  $y$  наименьшее расстояние между направлением вектора скорости  $\alpha$  – частиц и центром атома  $O$ , в котором расположен его положительный заряд  $Ze$ . Величина  $y$  называется прицельным расстоянием.

2. При наличии центральных электростатических сил взаимодействия между  $\alpha$  – частицей и зарядом  $Ze$ , которые являются консервативными,  $\alpha$  – частица движется по гиперболе. Вблизи положительно заряженного ядра на  $\alpha$  т – частицу действует сила

$$F_k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2Ze^2}{r^2}.$$

3. Наименьшее расстояние  $y_0$ , на которое может сблизиться  $\alpha$  – частица с ядром, например, как опытах Резерфорда, золота ( $Z = 79$ ), возможно найти сравнивая кинетическую и потенциальную энергию взаимодействующих объектов. Связывая систему отсчёта с центром масс системы ядро - частица, и пренебрегая кинетической энергией ядра атома золота, можно записать

$$K + \Pi = \text{const}; \Rightarrow \frac{mv^2}{2} \approx \frac{Ze \cdot 2e}{4\pi\epsilon_0 r};$$

4. Скорость  $\alpha$ -частицы по мере приближения к ядру:

$$\Pi \uparrow; K \downarrow; \Rightarrow v \downarrow; \mapsto (5)$$

5. Ускорение  $\alpha$ -частицы при приближении к ядру:

$$a = \frac{F_k}{m_\alpha}; F_k \uparrow; a \uparrow; \mapsto (4);$$

6. Кинетическая энергия частицы по мере сближения с ядром:

$$K \downarrow; \mapsto (3);$$

7. Изменяются ли перечисленные в первом столбце таблицы физические величины для Марса, миновавшего афелий, и если изменяются, то как? Афелий — точка орбиты Марса, самая удалённая от Солнца. Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) не изменяется
- 2) только увеличивается по модулю
- 3) только уменьшается по модулю
- 4) увеличивается по модулю и изменяется по направлению
- 5) уменьшается по модулю и изменяется по направлению
- 6) увеличивается по модулю, не изменяется по направлению
- 7) уменьшается по модулю, не изменяется по направлению

|                             |  |
|-----------------------------|--|
| Скорость                    |  |
| Ускорение                   |  |
| Кинетическая энергия        |  |
| Потенциальная энергия       |  |
| Полная механическая энергия |  |



### Решение

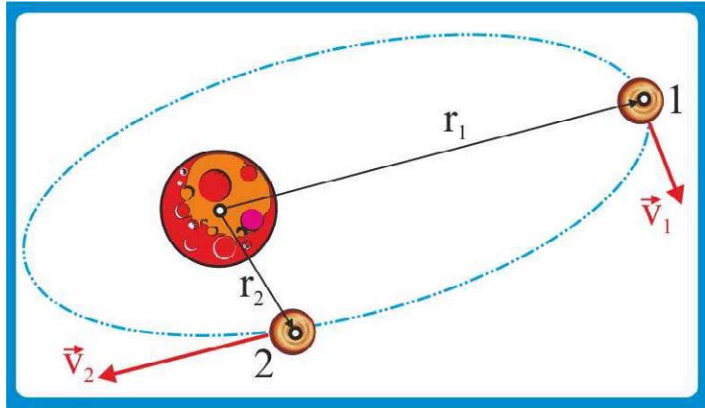
1. Линейная скорость Марса:

$$\frac{mv^2}{r} = G \frac{mM}{r^2}; \quad v = \sqrt{\frac{GM}{r}};$$

$$r_1 > r_2; \Rightarrow v_2 > v_1; \mapsto (4);$$

2. Ускорение Марса:

$$a_n = \frac{v^2}{r}; \quad v^2 \uparrow; a_n \uparrow; \mapsto (4);$$



3. Кинетическая энергия спутника скалярная величина:

$$K = \frac{mv^2}{2}; \quad v \uparrow; K \uparrow; \mapsto (2)$$

4. Потенциальная энергия Марса:

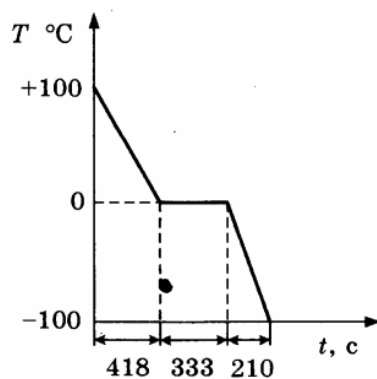
$$\Pi = mg(R + r); \quad r \downarrow; \Pi \downarrow; \mapsto (3);$$

5. Полная механическая энергия Марса на орбите:

$$K + \Pi = \text{const}; \mapsto (1);$$

|  |   |
|--|---|
| Скорость                                   | 4 |
| Нормальное (центростремительное) ускорение | 4 |
| Кинетическая энергия                       | 2 |
| Потенциальная энергия                      | 3 |
| Полная механическая энергия                | 1 |

8. На графике представлено, как изменялась с течением времени температура 0,1 кг воды, находившейся в начальный момент в жидком состоянии при температуре +100 °С, при постоянной мощности теплоотвода 100 Вт.



По графику на рисунке и известным значениям массы воды и мощности теплоотвода определите удельную теплоту кристаллизации воды.

- 1) 418 000 Дж/кг                      3) 210 000 Дж/кг  
2) 333 000 Дж/кг                      4) 1000 Дж/кг

### Решение

1. Процесс кристаллизации воды длится  $\tau = 333$  с

$$m\lambda = P\tau; \Rightarrow \lambda = \frac{P\tau}{m} = \frac{100 \cdot 333}{0,1} = 3,3 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}};$$

9. Идеальный газ отдал количество теплоты 300 Дж, и при этом внутренняя энергия газа уменьшилась на 100 Дж. Работа, совершенная газом, равна
- |           |            |
|-----------|------------|
| 1) 400 Дж | 3) -400 Дж |
| 2) 200 Дж | 4) -200 Дж |

**Решение**

$$-\delta Q = -\Delta U + A; \Rightarrow A = \Delta U - \delta Q = -200 \text{ Дж};$$

10. Во сколько раз уменьшится средняя квадратичная скорость теплового движения молекул идеального газа при уменьшении абсолютной температуры в 4 раза?

**Решение**

$$\left. \begin{aligned} v_1 &= \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}; \\ v_2 &= \sqrt{\frac{3RT}{4\mu}}; \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{v_1}{v_2} = 2;$$

11. Установите соответствие между физическими величинами, характеризующими процесс изотермического расширения воздуха, перечисленными в первом столбце, и их изменениями во втором столбце.

**ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ    ИХ ИЗМЕНЕНИЯ**

- |                       |                 |
|-----------------------|-----------------|
| А) давление           | 1) увеличение   |
| Б) объём              | 2) уменьшение   |
| В) температура        | 3) неизменность |
| Г) внутренняя энергия |                 |

**Решение**

$$T = \text{const}; \left. \begin{aligned} p_1 V_1 &= \nu R T_1; \\ p_2 V_2 &= \nu R T_2; \end{aligned} \right\} \Rightarrow pV = \text{const};$$

А. Давление:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2; \Rightarrow p_2 = \frac{p_1 V_1}{V_2}; \quad V_2 > V_1; \Rightarrow p_2 < p_1; \quad \mapsto (2)$$

Б. Объём:

$$V_2 > V_1; \quad (\text{газ расширяется}) \mapsto (1);$$

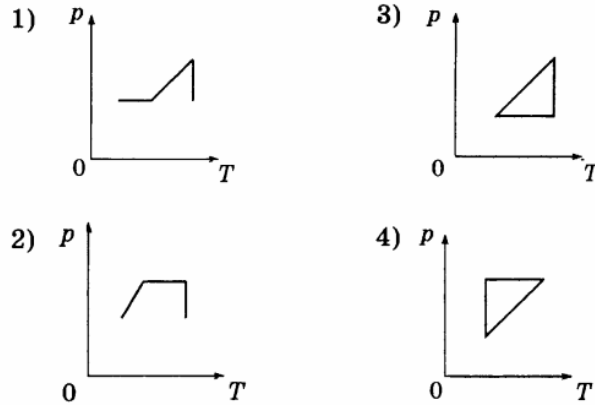
В. Температура:

$$T = \text{const}; \quad \mapsto (3);$$

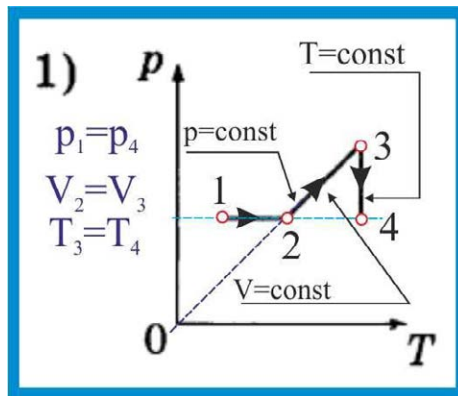
Г. Внутренняя энергия:

$$\Delta U_{12} = \frac{i}{2} \nu R (T_2 - T_1); \quad T_2 - T_1 = 0; \Rightarrow \Delta U_{12} = 0;$$

12. В изолированной термодинамической системе идеальный газ сначала нагревался при постоянном давлении, потом его давление увеличивалось при постоянном объёме, затем при постоянной температуре давление газа уменьшилось до первоначального значения. Какой из графиков в координатных осях  $p-T$  на рисунке соответствует этим изменениям состояния газа?



**Решение**



13. Мяч был брошен с поверхности земли вертикально вверх. Он достиг высшей точки траектории и затем упал на землю. Сопротивлением воздуха пренебрегаем. В какой момент времени движения полная механическая энергия мяча имела максимальное значение?
- 1) в момент начала движения вверх
  - 2) в момент достижения верхней точки траектории
  - 3) в момент падения на землю
  - 4) в течение всего времени полёта полная механическая энергия была одинакова

**Решение**

1. Движение мяча как вверх, так и вниз протекает под действием силы тяжести, которая относится к консервативному классу сил, что делает правомерным применения закона сохранения механической энергии:

$$T + \Pi = \text{const}; \quad \mapsto \quad (4);$$

14. При движении вверх брошенного вертикально камня на пути 1 м его кинетическая энергия уменьшилась на 4 Дж. Какую работу совершила сила тяжести на этом пути и как изменилась потенциальная энергия камня?

- 1) работа силы тяжести равна +4 Дж, изменение потенциальной энергии камня +4 Дж
- 2) работа силы тяжести равна -4 Дж, изменение потенциальной энергии камня +4 Дж
- 3) работа силы тяжести равна +4 Дж, изменение потенциальной энергии камня -4 Дж
- 4) работа силы тяжести равна -4 Дж, изменение потенциальной энергии камня -4 Дж

**Решение**

1. В соответствии с теоремой об изменении кинетической энергии:

$$\frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} = A_{12};$$

2. Работа силы тяжести:

$$A(m\vec{g}) = |\vec{m\vec{g}}|r \cos \pi; \quad \cos \pi = -1; \quad \Rightarrow \quad K_2 - K_1 = -4 \text{ Дж}; \quad \mapsto \quad (2)$$

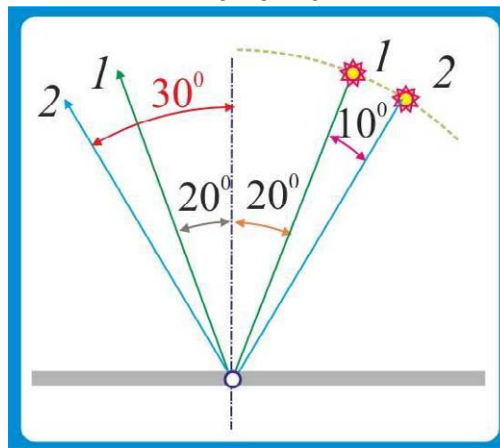
15. В процессе электролиза соляной кислоты при постоянном значении силы тока в цепи за 2 минуты ионы водорода принесли на катод положительный заряд 60 Кл, ионы хлора принесли на анод отрицательный заряд 60 Кл. Чему равна сила тока в цепи в этом процессе?

**Решение**

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{60}{120} = 0,5 \text{ А};$$

16. При падении узкого пучка света на зеркало угол отражения был равен  $20^\circ$ . При увеличении угла падения луча на зеркало на  $10^\circ$  чему стал равен угол его отражения?

**Решение**

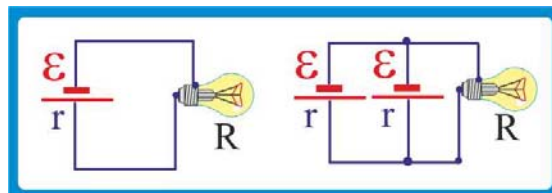


17. К гальваническому элементу была подключена электрическая лампа. Что произойдет с силой тока в цепи, напряжением на лампе и мощностью тока при подключении параллельно с первым гальваническим элементом второго такого же элемента?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличение
- 2) уменьшение
- 3) неизменность

### Решение



1. Сила тока в цепи:

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{\varepsilon}{R + r}; \\ I_2 &= \frac{\varepsilon}{R + \frac{r}{2}}; \end{aligned} \right\} \Rightarrow I_2 > I_1; \mapsto (1)$$

2. Напряжение на лампе:

$$U_R = IR; \Rightarrow U_{R(2)} > U_{R(1)}; \mapsto (1);$$

3. Мощность, выделяемая на лампе:

$$P = IU; \Rightarrow P_2 > P_1; \mapsto (1);$$

18. Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым эти величины определяются.

К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

| ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ   | ФОРМУЛЫ                    |
|-----------------------|----------------------------|
| А) количество теплоты | 1) $Q = cm\Delta t$        |
| Б) длина волны        | 2) $\vec{F} = m\vec{a}$    |
| В) сила               | 3) $\lambda = vT$          |
|                       | 4) $\lambda = \frac{Q}{m}$ |
|                       | 5) $\vec{p} = m\vec{v}$    |

### Решение

- А. Количество теплоты:

$$Q = cm\Delta t; \mapsto (1);$$

- Б. Длина волны:

$$\lambda = vT; \mapsto (3);$$

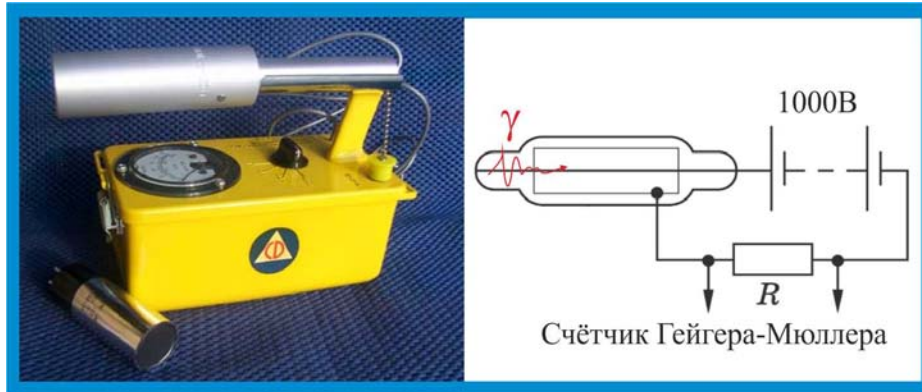
- В. Сила:

$$\vec{F} = m\vec{a}; \mapsto (2);$$

19. В каком из перечисленных ниже приборов для регистрации ядерных излучений прохождение быстрой заряженной частицы вызывает появление импульса электрического тока в газе?

- 1) в счётчике Гейгера
- 2) в камере Вильсона
- 3) в фотоэмульсии
- 4) в сцинтилляционном счётчике

### Решение



20. Для какой цели в ядерных реакторах применяются замедлители?

- 1) замедление нейтронов уменьшает вероятность деления ядер урана  $^{238}_{92}\text{U}$
- 2) замедление нейтронов увеличивает вероятность деления нейтронами ядер  $^{235}_{92}\text{U}$
- 3) замедление нейтронов увеличивает вероятность деления ядер урана  $^{238}_{92}\text{U}$
- 4) замедление нейтронов уменьшает вероятность деления нейтронами ядер  $^{235}_{92}\text{U}$

### Решение

### Расщепление ядра

**Столкновение нейтрона с ядром**

7 МэВ

нейтрон

$^{235}_{92}\text{U}$

$\gamma$ -излучение

- Поскольку нейтрон не заряжен, для сближения с ядром ему не нужна высокая скорость.

- В области действия ядерных сил ( $10^{-12}$  м), нейтрон «падает» на ядро. При этом выделяется энергия около 7 МэВ.

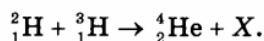
Первичный нейтрон

Вторичные нейтроны

Нейтроны 3-го поколения

Нейтроны 4-го поколения

21. При высоких температурах возможен синтез ядер гелия из ядер изотопов водорода:



Какая частица  $X$  освобождается при осуществлении такой реакции?

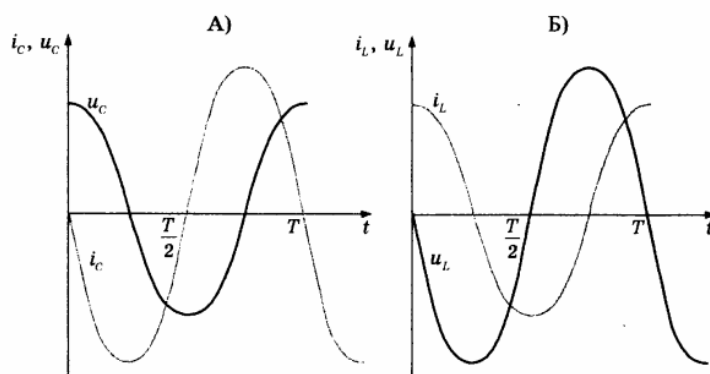
- 1) нейтрон                                      3) протон  
2) нейтрино                                    4) электрон

**Решение**

$$Z_X = 1 + 1 - 2 = 0; \quad A_X = 2 + 3 - 4 = +1; \quad \Rightarrow \quad {}^1_0X \equiv {}^1_0n; \quad \rightarrow (1);$$

22. На графиках А и Б показаны изменения в зависимости от времени силы тока и напряжения на конденсаторе и на катушке в цепи переменного тока. Установите соответствие между графиками А и Б и соотношениями фаз колебаний напряжения и силы тока.

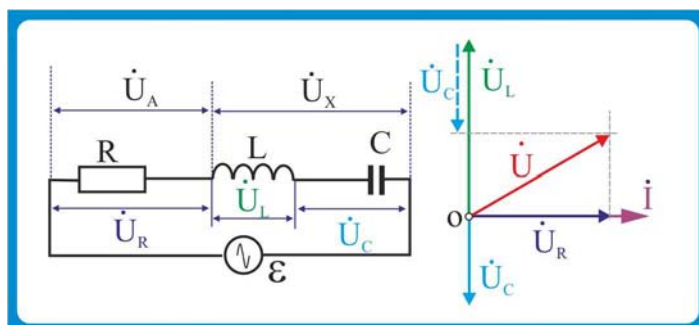
**ГРАФИКИ**



**СООТНОШЕНИЕ ФАЗ КОЛЕБАНИЙ**

- 1) колебания напряжения на конденсаторе отстают по фазе от колебаний силы тока в цепи на  $\pi/2$
- 2) колебания напряжения на конденсаторе опережают по фазе колебания силы тока в цепи на  $\pi/2$
- 3) колебания напряжения на катушке опережают по фазе колебания силы тока на  $\pi/2$
- 4) колебания напряжения на катушке отстают по фазе от колебаний силы тока на  $\pi/2$

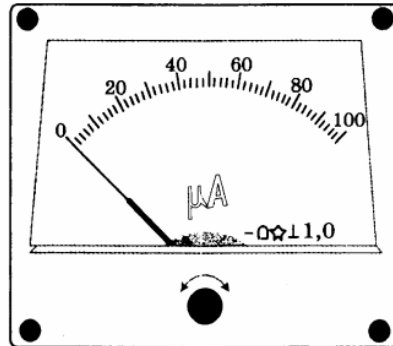
**Решение**



А. Колебания напряжения на конденсаторе отстают по фазе от колебаний силы тока в цепи на  $\varphi = \pi/2$ .

Б. Колебания напряжения на катушке опережают по фазе колебания силы тока на  $\varphi = \pi/2$ .

23. Надпись 1,0 на шкале микроамперметра показывает, что это прибор класса точности 1,0. Класс точности прибора показывает максимально возможную инструментальную относительную погрешность в процентах при отклонении стрелки на всю шкалу.



Определите максимальную абсолютную погрешность  $\Delta_{\text{инстр}}$  этого прибора и цену деления прибора.

- 1)  $\Delta_{\text{инстр}} = 1 \text{ мкА} , 20 \text{ мкА}$
- 2)  $\Delta_{\text{инстр}} = 0,5 \text{ мкА} , 10 \text{ мкА}$
- 3)  $\Delta_{\text{инстр}} = 1 \text{ мкА} , 2 \text{ мкА}$
- 4)  $\Delta_{\text{инстр}} = 0,5 \text{ мкА} , 1 \text{ мкА}$

#### Решение

$$\Delta_{\text{инстр}} = 1 \text{ мкА (по классу точности); } \delta = 2 \text{ мкА; } \mapsto (3)$$

24. На рисунке представлена электрическая цепь из фотозлемента и микроамперметра для измерения силы тока. Включение соответствует использованию верхней шкалы прибора. Увеличенное изображение части шкалы прибора дано на рисунке справа вверху.

Определите по показаниям прибора силу тока в цепи, учитывая, что погрешность измерения равна половине цены деления микроамперметра.

- 1)  $I = 11,25 \pm 2,5 \text{ мкА}$
- 2)  $I = 2,25 \pm 2,5 \text{ мкА}$
- 3)  $I = 11,25 \pm 1,25 \text{ мкА}$
- 4)  $I = 2,25 \pm 1,25 \text{ мкА}$

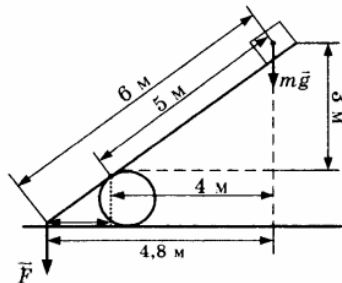


#### Решение

$$I = (2,25 \pm 1,25) \text{ мкА; } \mapsto (3)$$



25. Под действием силы тяжести  $m\vec{g}$  груза и силы  $\vec{F}$  рычаг, представленный на рисунке, находится в равновесии. Расстояния между точками приложения сил и точкой опоры, а также проекции этих расстояний на вертикальную и горизонтальную оси указаны на рисунке. Модуль силы тяжести, действующей на груз, равен 30 Н. Чему равен модуль силы  $\vec{F}$ ?

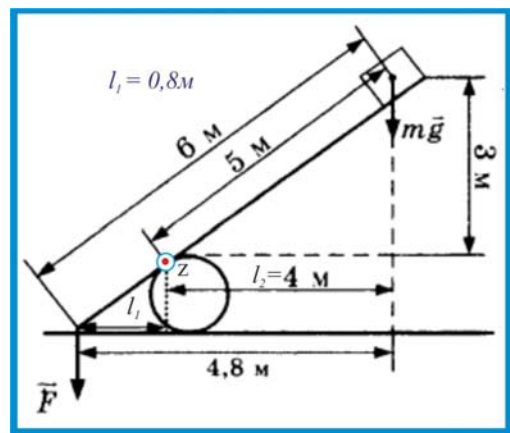


### Решение

1. Рычаг находится в равновесии в том случае, если алгебраическая сумма моментов приложенных к нему сил относительно произвольной оси равна нулю. В данном случае целесообразно в качестве оси выбрать ось  $z$  проходящую через точку опоры рычага перпендикулярно плоскости чертежа, в этом случае:

$$\sum_{i=1}^{i=2} M_z(\vec{F}_i) = 0; \quad F\ell_1 = mg\ell_2 = 0;$$

$$F\ell_1 = mg\ell_2; \quad \Rightarrow \quad F = \frac{mg\ell_2}{\ell_1} = \frac{30 \cdot 4}{0,8} = 150 \text{ Н};$$



26. Идеальный газ отдал количество теплоты 100 Дж, и при этом внутренняя энергия газа уменьшилась на 100 Дж. Чему равна работа, совершённая газом?

### Решение

$$-\delta Q = -\Delta U + A; \quad \Rightarrow \quad A = -200 \text{ Дж};$$

27. При параллельном включении активного сопротивления, катушки и конденсатора в цепь переменного тока амплитуда колебаний силы тока через активное сопротивление оказалась 0,4 А, через конденсатор 0,3 А, через катушку 0,6 А. Считая конденсатор и катушку идеальными, определите амплитуду колебаний силы тока в общей цепи.

### Решение

$$i_{LC} = i_L - i_C = 0,3 \text{ А}; \quad i_0 = \sqrt{i_R^2 + i_{LC}^2} = \sqrt{0,09 + 0,16} = 0,5 \text{ А};$$

28. 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 27 °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**

|                             |     |     |      |      |      |       |      |      |
|-----------------------------|-----|-----|------|------|------|-------|------|------|
| <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:

$$\varphi = \frac{p_{н(27^{\circ})}}{p_{н(29^{\circ})}} = \frac{36 \cdot 10^9}{40 \cdot 10^9} = 0,9 \text{ (90\%)};$$

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.

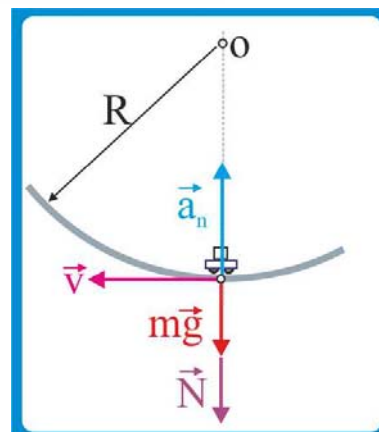
29. В аттракционе человек массой 60 кг движется на тележке по рельсам и совершает «мёртвую петлю» в вертикальной плоскости. Каков радиус круговой траектории, если в нижней точке при движении тележки со скоростью 10 м/с сила давления человека на сиденье тележки была равна 1800 Н? Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с<sup>2</sup>.

**Решение**

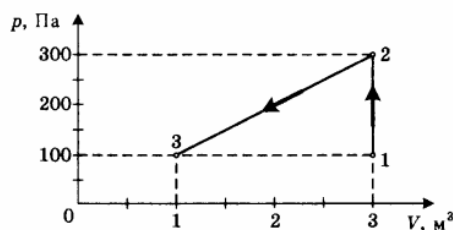
$$F = mg + N = mg + \frac{mv^2}{R};$$

$$F - mg = \frac{mv^2}{R}; \quad R \left( \frac{F}{m} - g \right) = v^2;$$

$$R = \frac{v^2}{\frac{F}{m} - g} = \frac{100}{\frac{1800}{60} - 10} = 5\text{м};$$



30. На диаграмме представлены изменения давления и объёма идеального одноатомного газа. Какое количество теплоты было получено или отдано газом при переходе из состояния 1 в состояние 3?



### Решение

1. На переходе 1 – 2 работы не совершается ( $V = \text{const}$ ), изменяется внутренняя энергия газа:

$$A_{12} = 0; \quad \Delta U_{12} = \frac{3}{2}(p_2 V_2 - p_1 V_1) = \frac{3}{2}(900 - 300) = 900 \text{ Дж};$$

2. Изменение состояния 1 – 2 сопровождается изменением внутренней энергии и совершением работы:

$$A_{23} = \frac{\Delta p \Delta V}{2} = -200 \cdot 2 = -400 \text{ Дж};$$

$$\Delta U_{23} = \frac{3}{2}(p_3 V_3 - p_2 V_2) = \frac{3}{2}(100 - 900) = -1200 \text{ Дж};$$

3. Количество теплоты:

$$Q_{123} = A_{12} + \Delta U_{12} + A_{23} + \Delta U_{23} = -700 \text{ Дж};$$


---

31. Ядро изотопа водорода  ${}^2_1\text{H}$  — дейтерия — движется в однородном магнитном поле индукцией  $3,34 \cdot 10^{-5}$  Тл перпендикулярно вектору  $\vec{B}$  индукции по окружности радиусом 10 м. Определите скорость ядра.

### Решение

$$\frac{mv^2}{R} = qvB; \quad v = \frac{qBR}{m} = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 3,34 \cdot 10^{-5} \cdot 10}{2 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27}} = 1,61 \cdot 10^4 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$


---

32. Мировое потребление энергии человечеством составляет примерно  $4 \cdot 10^{20}$  Дж в год. Если будет возможно освобождение собственной энергии вещества, сколько килограмм вещества потребуется расходовать человечеству в сутки для удовлетворения современных потребностей в энергии?

### Решение

$$E = mc^2; \quad \Rightarrow \quad m = \frac{E}{c^2} \approx \frac{4 \cdot 10^{20}}{9 \cdot 10^{16}} \approx 4,44 \cdot 10^3 \text{ кг}; \quad m_x = \frac{m}{365} \approx 12,2 \text{ кг};$$


---



3. Сила притяжения между шарами с массами  $m_1$  и  $m_2$ , помещёнными на расстояние  $R$  между их центрами, равна  $F$ . Чему равна сила притяжения между шарами с массами  $2m_1$  и  $4m_2$ , если расстояние между их центрами равно  $2R$ ?

**Решение**

$$\left. \begin{aligned} F &= G \frac{m_1 m_2}{R}; \\ F_x &= G \frac{2m_1 4m_2}{4R}; \end{aligned} \right\} \Rightarrow F_x = 2F;$$

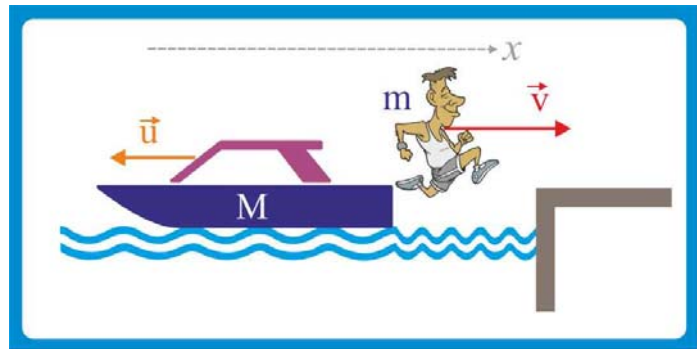
4. Человек массой  $m$  прыгает с горизонтально направленной скоростью  $v$  относительно земли из неподвижной лодки массой  $M$  на берег. Чему равна скорость лодки относительно земли в момент отрыва человека от лодки, если сопротивление воды движению лодки пренебрежимо мало?

**Решение**

1. Закон сохранения импульса в проекции на направление прыжка человека:

$$mv - Mu = 0;$$

$$u = \frac{mv}{M};$$



5. Во сколько примерно раз сила гравитационного притяжения Венеры к Солнцу больше, чем сила гравитационного притяжения Земли к Солнцу? Масса Земли примерно в 1,2 раза больше массы Венеры, расстояние Земли от Солнца примерно в 1,4 раза больше, чем расстояние Венеры от Солнца.

**Решение**

$$\left. \begin{aligned} F_{B-C} &= G \frac{m_B m_C}{R_{B-C}}; \\ F_{3-C} &= G \frac{1,2 m_B m_C}{1,96 R_{B-C}}; \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{F_{B-C}}{F_{3-C}} = \frac{1,96}{1,2} \approx 1,63;$$

6. Люстра подвешена к потолку на крючке. Установите соответствие между силами, перечисленными в первом столбце таблицы, и следующими характеристиками:

- 1) приложена к люстре
- 2) приложена к крючку
- 3) направлена вертикально вниз
- 4) направлена вертикально вверх

|                     |
|---------------------|
| Сила тяжести люстры |
|---------------------|

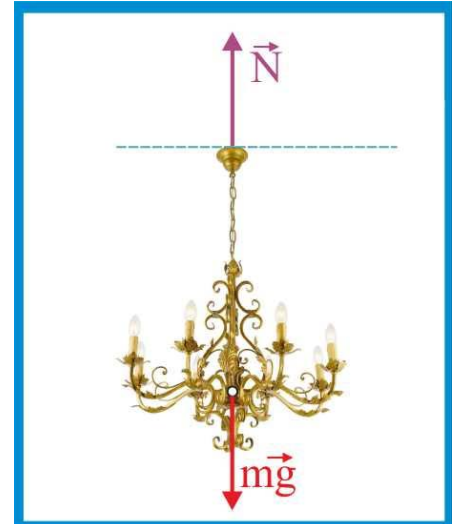
|                  |
|------------------|
| Сила веса люстры |
|------------------|

### Решение

1. Сила тяжести люстры приложена к центру масс люстры и направлена вертикально вниз.

2. Сила веса люстры приложена к крючку крепления и направлена вертикально вверх.

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| Сила тяжести люстры $m\vec{g}$ | 1,3 |
| Сила веса люстры $\vec{N}$     | 2,4 |



7. Марс движется вокруг Солнца по эллиптической орбите. Изменяются ли перечисленные в первом столбце таблицы физические величины для Марса, миновавшего перигелий, и если изменяются, то как? Перигелий — точка орбиты Марса, самая приближённая к Солнцу.

Скорость

Ускорение

Кинетическая энергия

Потенциальная энергия

Полная механическая энергия

- 1) не изменяется
- 2) только увеличивается по модулю
- 3) только уменьшается по модулю
- 4) увеличивается по модулю и изменяется по направлению
- 5) уменьшается по модулю и изменяется по направлению
- 6) увеличивается по модулю, не изменяется по направлению
- 7) уменьшается по модулю, не изменяется по направлению

### Решение

1. Линейная скорость Марса:

$$\frac{mv^2}{r} = G \frac{mM}{r^2}; \quad v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

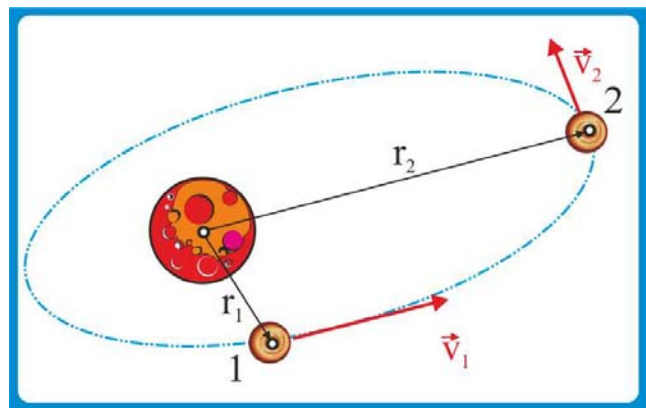
$$r_1 < r_2; \Rightarrow v_2 < v_1; \mapsto (5);$$

2. Ускорение Марса:

$$a_n = \frac{v^2}{r}; \quad v \downarrow; r \uparrow; a_n \downarrow; \mapsto (5)$$

3. Кинетическая энергия спутника скалярная величина:

$$K = \frac{mv^2}{2}; \quad v \downarrow; K \downarrow; \mapsto (3)$$





**Решение**

$$\left. \begin{aligned} p_1 &= nk_B T_1; \\ \frac{p_1}{7} &= nk_B T_2; \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{T_1}{T_2} = 7;$$

- 11.** Установите соответствие между физическими величинами, характеризующими изохорный процесс охлаждения воздуха, перечисленными в первом столбце, и их изменениями во втором столбце.

**ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ    ИХ ИЗМЕНЕНИЯ**

- |                       |                 |
|-----------------------|-----------------|
| А) давление           | 1) увеличение   |
| Б) объём              | 2) уменьшение   |
| В) температура        | 3) неизменность |
| Г) внутренняя энергия |                 |

**Решение**

$$V = \text{const}; \Rightarrow \left. \begin{aligned} p_1 V &= \nu R T_1; \\ p_2 V &= \nu R T_2; \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2};$$

А. Давление:

$$p_2 = p_1 \frac{T_2}{T_1}; \quad T_2 < T_1; \Rightarrow p_2 < p_1; \quad \mapsto (2);$$

Б. Объём:

$$V = \text{const}; \quad \mapsto (3)$$

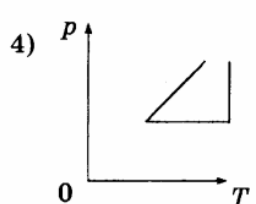
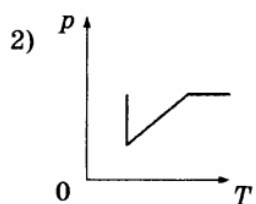
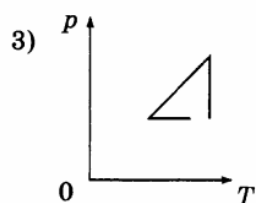
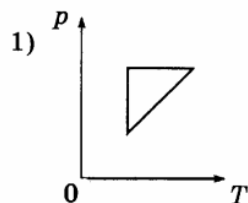
В. Температура:

$$T_2 < T_1; \quad \mapsto (2)$$

Г. Внутренняя энергия:

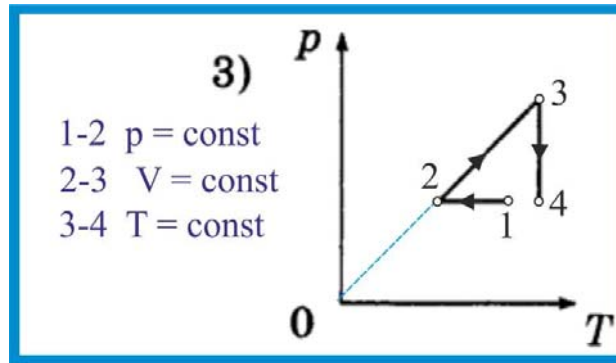
$$\Delta U = \frac{i}{2} \nu R (T_2 - T_1); \quad (T_2 - T_1) < 0; \Rightarrow \Delta U \downarrow; \quad \mapsto (2);$$

- 12.** В изолированной термодинамической системе идеальный газ сначала охлаждался при постоянном давлении, потом его давление увеличивалось при постоянном объёме, затем при постоянной температуре давление газа уменьшилось до первоначального значения. Какой из графиков в координатных осях  $p-T$  на рисунке соответствует этим изменениям состояния газа?





### Решение



13. Электризация нейтральных тел при соприкосновении объясняется тем, что

- 1) при соприкосновении тел возникают одноименные электрические заряды и распределяются между этими телами
- 2) от тела с большим электрическим зарядом часть зарядов переходит к телу с меньшим электрическим зарядом
- 3) часть электронов с оболочек атомов одного из тел переходит к атомам другого тела, тела приобретают при этом одноименные заряды
- 4) часть электронов с оболочек атомов одного из тел переходит к атомам другого тела, тела приобретают при этом разноименные заряды

### Решение

**Электризация** представляет собой процесс, в результате которого тела приобретают способность участвовать в электромагнитных взаимодействиях, т.е. приобретает электрический заряд.

**Электризация тел** – процесс перераспределения электрических зарядов, входящих в состав тела. При электризации не происходит возникновения новых зарядов, а имеет место их перераспределение между телами или разными частями одного и того же тела. При этом, безусловно, справедлив закон сохранения заряда.

#### Виды электризации тел:

1. **Электризация за счёт электропроводности** происходит при контакте двух проводников с различными зарядами. Так, например, при контакте заряженного и нейтрального тела происходит частичное перераспределение свободных электронов между телами. Если заряженное тело несло отрицательный заряд, то электроны частично мигрируют на незаряженное тело, если заряженное тело имело первоначально положительный заряд, то на него перейдёт часть электронов с незаряженного тела;
2. **Электризация трением** возникает при механическом контакте перемещающихся друг относительно друга нейтральных тел, когда электроны одного тела переходят на другое. В результате электризации трением тела получают одинаковые по модулю и противоположные по знаку электрические заряды.

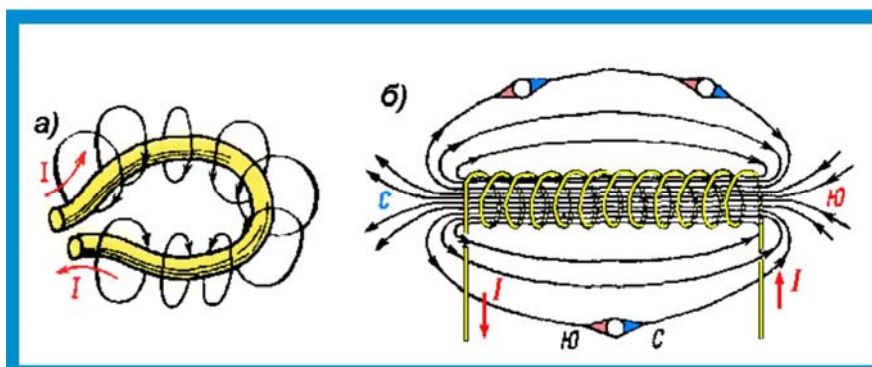
Электризация трением является причиной возникновения, так называемого, «статического электричества», разряды которого наблюдаются при расчёсывании в темноте сухих волос.

3. **Электризация через влияние** происходит за счёт индуцирования (наведения) электрического заряда полем. Если к нейтральному проводнику поднести заряженное тело (без прямого контакта) то свободные заряды нейтрального проводника придут под действием поля в движение и в одном конце тела появится избыток электронов, а в другом их недостаток. Разрезав в целом электрически нейтральное тело, можно получить два разноимённо заряженных тела.

14. При пропускании постоянного тока через катушку вокруг неё возникло магнитное поле. Оно обнаруживается по действию на магнитную стрелку и по способности намагничивать железный стержень, вставленный в катушку. В каком случае это магнитное поле исчезнет?

- 1) если убрать из катушки стальной стержень
- 2) если убрать магнитную стрелку
- 3) если убрать стальной стержень и магнитную стрелку
- 4) если выключить электрический ток в катушке

#### Решение



1. Индукция магнитного поля, создаваемого прямолинейной катушкой длины  $\ell$  с числом витков  $N$

$$B = \mu_0 \frac{NI}{\ell},$$

откуда видно, что магнитное поле исчезнет со всеми своими эффектами при равенстве нулю, протекающего по катушке тока, следовательно, верным является утверждение 4.

15. Резисторы сопротивлениями 3 Ом, 6 Ом и 9 Ом включены последовательно в цепь постоянного тока. Чему равно отношение работ электрического тока, совершённых при прохождении тока через эти резисторы за одинаковое время?

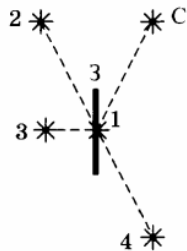
#### Решение

$$A_1 = q_1 U_1; \quad A_2 = q_2 U_2; \quad A_3 = q_3 U_3; \quad q_1 = q_2 = q_3; \quad U = IR; \quad I_1 = I_2 = I_3;$$

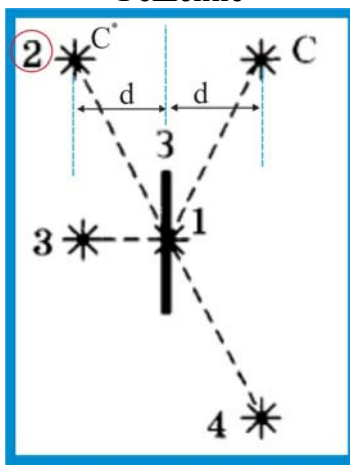
$$A_1 : A_2 : A_3 = R_1 : R_2 : R_3 = 1 : 2 : 3;$$

16. Если источник света С находится перед плоским зеркалом З (см. рис.), то его изображение в зеркале находится в точке

- 1) 1
- 2) 2
- 3) 3
- 4) 4



Решение



17. К источнику постоянного тока была подключена одна электрическая лампа. Что произойдёт с напряжением на этой лампе, мощностью тока на ней и силой тока в общей цепи при подключении последовательно с этой лампой второй такой же лампы?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличение
- 2) уменьшение
- 3) неизменность

Решение

1. Сила тока через лампочку:

$$I_1 = \frac{\varepsilon}{R+r}; \quad I_2 < I_1; \quad \mapsto (2);$$

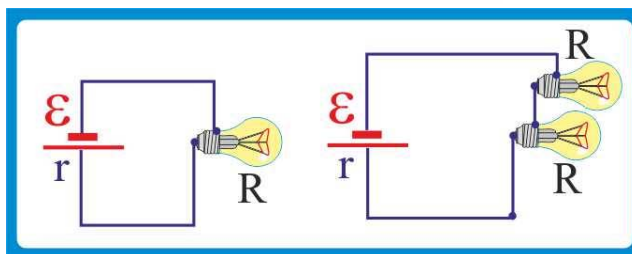
$$I_2 = \frac{\varepsilon}{2R+r};$$

2. Падение напряжения на лампочке:

$$U = IR; \quad \Rightarrow U_2 < U_1; \quad \mapsto (2);$$

3. Мощность, выделяющаяся на лампочке:

$$P = IU; \quad \Rightarrow P_2 < P_1; \quad \mapsto (2);$$



18. Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым эти величины определяются. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

| ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ                 | ФОРМУЛЫ                        |
|-------------------------------------|--------------------------------|
| А) скорость равномерного движения   | 1) $F = G \frac{mM}{r^2}$      |
| Б) сила кулоновского взаимодействия | 2) $D = \frac{1}{F}$           |
|                                     | 3) $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$ |
|                                     | 4) $v = \frac{s}{t}$           |
|                                     | 5) $v = at$                    |

### Решение

А. Скорость равномерного движения:

$$v = \frac{s}{t}; \quad \mapsto \quad (4);$$

Б. Сила кулоновского взаимодействия:

$$F_K = k \frac{q_1 q_2}{r^2}; \quad \mapsto \quad (3);$$

19. Изменится ли масса системы из одного свободного протона и одного свободного нейтрона после соединения их в атомное ядро?

- 1) не изменится
- 2) увеличится
- 3) уменьшится
- 4) сначала увеличится, затем вернётся к первоначальному значению

### Решение

1. Ядра всех элементов составлены из одинаковых протонов и нейтронов, это давало основание до поры считать, что для определения массы ядра достаточно сложить массы всех, входящих в ядро, частиц. В классической физике аддитивность массы не вызывала сомнений в виду полнейшей очевидности. Применительно к ядру всё оказалось сложнее. Было установлено, что масса ядра не равна в точности сумме масс нуклонов.

2. Чтобы удалить протон или нейтрон из сложного устойчивого ядра, необходимо затратить некоторую энергию. Убыль энергии при объединении частиц в ядро эквивалентна, согласно соотношению Хевисайда  $E = mc^2$ , уменьшению массы.

3. Масса образующегося ядра меньше суммарной массы составляющих его частиц. Например, наибольшая потеря массы получается при образовании атома гелия. Сумма масс частиц  $He_2^4$  равна: 2 протона + 2 нейтрона + 2 электрона = 1 атом гелия =  $(2 \cdot 1,00727 + 2 \cdot 1,00865 + 2 \cdot 0,00055 = 4,03294 \text{ а.е.м.})$ , а по табличным данным масса атома гелия равна 4,00261 а.е.м. Атомная масса гелия оказывается на 0,3033 а.е.м. меньше. Такая характерная особенность наблюдается для любого нуклида. Масса целого атома

всегда получается **меньшей суммы масс составляющих его частей**. Это явление называется дефектом масс.

4. Данный эффект имеет совершенно простое и очевидное объяснение. Ядра атомов представляют собой сложные образования, возникшие в процессе зарождения Солнечной системы.

Ядра существующих в настоящее время элементов образовались путем слияния элементарных частиц. Как и в большинстве, самопроизвольно протекающих процессов, это объединение сопровождалось минимизацией энергии; часть энергии при этом высвобождалась.

Поскольку чудеса в Мире встречаются редко, то и в данном случае источником энергии могли быть только объединяющиеся частицы. Высвобождение энергии неизбежно должно было привести к уменьшению их массы.

Количественно точная величина этого «изъятия» в каждом отдельном случае вновь определяется из соотношения Хевисайда. Оценим энергетический эквивалент массы для ядра гелия, которое представляет собой, по сути,  $\alpha$  - частицу

$$E = \Delta mc^2 \cong 28,2 \text{ МэВ.}$$

Для сравнения отметим, что количество тепла, выделяющегося при сгорании одного моля топлива, примерно в миллион раз меньше.

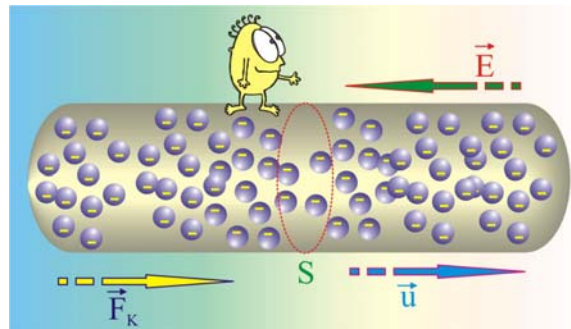
---

**20. Электрический ток в металлах создаётся упорядоченным движением**

- 1) положительных ионов
- 2) отрицательных ионов
- 3) электронов
- 4) положительных и отрицательных ионов и электронов

### Решение

1. Проводники являются таковыми по причине наличия в них большого числа носителей заряда, способных относительно легко перемещаться в пределах рассматриваемого образца. Металлы, как правило, являются хорошими проводниками тепла и электрического тока именно благодаря свободным электронам. Если металлический проводник поместить в однородное электрическое поле напряжённостью  $\vec{E}$ , то на каждый свободный электрон ( $e \cong 1,6 \cdot 10^{-19}$



Кл,  $m_e \cong 1 \cdot 10^{-30}$  кг), в классическом представлении, будет действовать элементарная сила Кулона. Как и всякий материальный объект, электрон начнёт двигаться в направлении, противоположном направлению вектора напряжённости поля (элементарный заряд электрона принято считать отрицательным).

---

**21. Каким зарядовым числом обладает атомное ядро, возникшее в результате  $\alpha$ -распада ядра атома элемента с зарядовым числом  $Z$ ?**

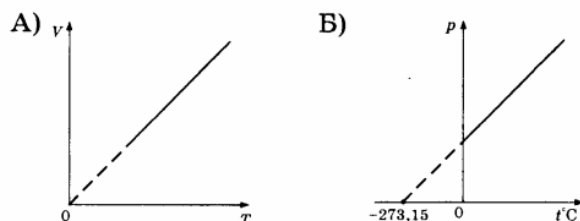
### Решение

$$Z_x = Z - 2;$$

---

22. Установите соответствие между графиками процессов в идеальном газе и формулами, которыми они описываются ( $p$  — давление,  $V$  — объём,  $T$  — абсолютная температура,  $t$  — температура по шкале Цельсия). К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

### ГРАФИКИ



### ФОРМУЛЫ

- 1)  $p_t = p_0(1 + \alpha t)$ ,  $V = \text{const}$
- 2)  $V_t = V_0(1 + \alpha t)$ ,  $p = \text{const}$
- 3)  $pV = \text{const}$ ,  $T = \text{const}$
- 4)  $V_t = V_0\alpha T$ ,  $p = \text{const}$
- 5)  $p_t = p_0\alpha T$ ,  $V = \text{const}$

### Решение

А. Зависимость объёма от абсолютной температуры при  $p = \text{const}$

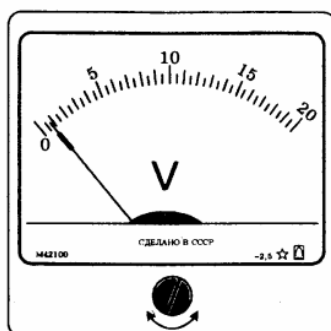
$$V(T) = V_0\alpha T; \quad \mapsto \quad (4);$$

Б. Зависимость давления от температуры:

$$p(t) = p_0(1 + \alpha t); \quad V = \text{const}; \quad \mapsto \quad (1);$$

23. Надпись 2,5 справа внизу на шкале вольтметра показывает, что это прибор класса точности 2,5. Класс точности прибора показывает максимально возможную инструментальную относительную погрешность при отклонении стрелки на всю шкалу.

Определите максимальную абсолютную инструментальную погрешность  $\Delta_{\text{инстр}}$  этого прибора и цену деления прибора.

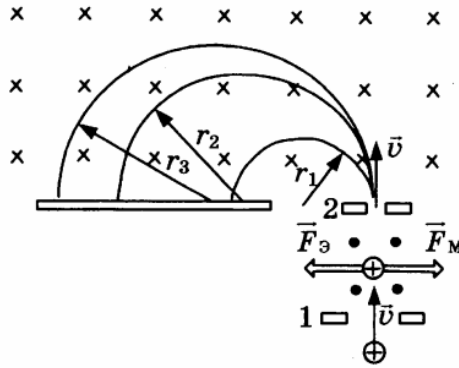


- 1)  $\Delta_{\text{инстр}} = 0,5 \text{ В}$ , 5 В
- 2)  $\Delta_{\text{инстр}} = 0,25 \text{ В}$ , 1 В
- 3)  $\Delta_{\text{инстр}} = 0,5 \text{ В}$ , 0,5 В
- 4)  $\Delta_{\text{инстр}} = 0,25 \text{ В}$ , 0,25 В

### Решение

$$\Delta_{\text{инстр}} = 0,5\text{В}; \quad \delta = 0,5\text{В}; \quad \mapsto \quad (3);$$

24. На рисунке приведена схема масс-спектрометра и показаны траектории ионов. Из перечисленных ниже условий выберите необходимые для измерения массы иона.



1. Магнитное поле должно быть однородным с известной индукцией  $\vec{B}$ .
  2. Должно быть известно значение скорости  $v$ , перпендикулярной вектору индукции.
  3. Необходимо измерить радиус окружности, по которой ион движется.
- 1) все три условия                      3) только второе и третье  
2) только первое и третье            4) только первое и второе

**Решение**

1. Условие нахождения частицы в магнитном поле на круговой траектории при условии перпендикулярности вектора скорости вектору магнитной индукции:

$$qvB = \frac{mv^2}{R}; \Rightarrow m = \frac{qBR}{v}; \Rightarrow m = f(B_{\perp}; v; R); \mapsto (1);$$

25. Гири массой 4 кг, подвешенная на стальной пружине, совершает свободные колебания с периодом 2 с. С каким периодом будет совершать свободные колебания гири массой 1 кг, подвешенная на этой пружине?

**Решение**

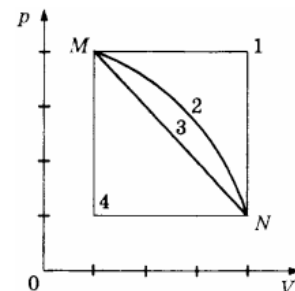
1. Коэффициент упругости пружины:

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}; \Rightarrow \frac{T_1^2}{4\pi^2} = \frac{m}{k}; \Rightarrow k = \frac{4\pi^2 m}{T_1^2} \approx \frac{158}{4} \approx 39,4 \frac{\text{Н}}{\text{м}};$$

2. Период колебаний гири с массой  $m = 1$  кг:

$$T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{m_2}{k}} \approx 6,28\sqrt{\frac{1}{39,4}} \approx 1\text{с};$$

26. Переход газа из состояния  $N$  в состояние  $M$  (см. рис.) совершается различными способами: 1, 2, 3, 4. При каком способе работа над газом максимальна?



## Решение

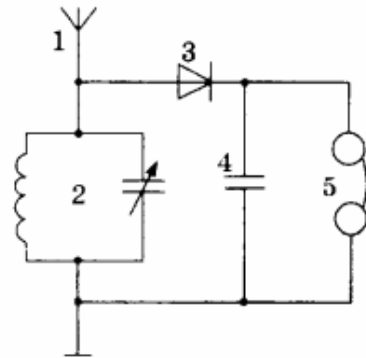
1. Работа численно равна площади фигуры образованной заданным графиком процесса и осью объёмов:

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV; \quad A = p(V)\Delta V; \quad \Delta V = \text{const}; \quad \bar{p}_1 > \bar{p}_2 > \bar{p}_3; \quad \Rightarrow \quad A_1 > A_2 > A_3; \quad \mapsto \quad (1);$$

27. На рисунке изображена схема детекторного приёмника. С помощью какого элемента приёмника производится приём модулированных сигналов от различных радиостанций?

### Решение

1. На приёмной антенне 1 падающая модулированная электромагнитная волна создаёт разность потенциалов, т.е. антенна является, по сути, приёмным устройством.



28. 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. При понижении температуры воздуха в комнате конденсация паров воды из воздуха начинается при той же температуре стакана 25 °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:

$$\varphi = \frac{p_{n(25^\circ)}}{p_{n(29^\circ)}} = \frac{32 \cdot 10^9}{40 \cdot 10^9} = 0,8 \text{ (80\%);}$$

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, в частности при  $t = 25^\circ\text{C}$ .



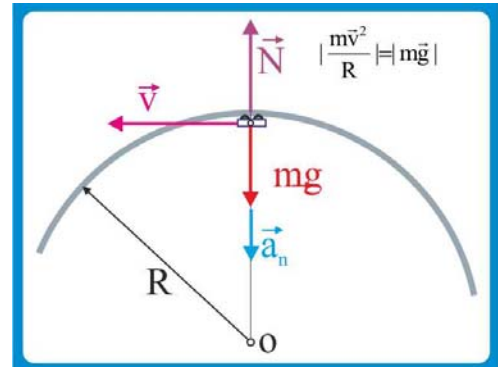
29. В аттракционе человек массой 70 кг движется на тележке по рельсам и совершает «мёртвую петлю» в вертикальной плоскости. Каков радиус круговой траектории, если в верхней точке сила давления человека на сиденье тележки равна 700 Н при скорости движения тележки 10 м/с? Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с<sup>2</sup>.

**Решение**

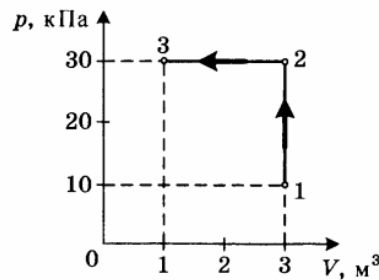
$$F = N - mg = \frac{mv^2}{R} - mg;$$

$$F + mg = \frac{mv^2}{R}; \quad R \left( \frac{F}{m} + g \right) = v^2;$$

$$R = \frac{v^2}{\frac{F}{m} + g} = \frac{100}{\frac{700}{70} + 10} = 5 \text{ м};$$



30. На диаграмме представлены изменения давления и объёма идеального одноатомного газа. Какое количество теплоты было получено или отдано газом при переходе из состояния 1 в состояние 3?



**Решение**

1. Переход 1 – 2 изохорный – работа равна нулю, есть изменение внутренней энергии:

$$A_{12} = 0; \quad \Delta U_{12} = \frac{3}{2}(p_2 V_2 - p_1 V_1) = \frac{3}{2}(9 \cdot 10^4 - 3 \cdot 10^4) = 9 \cdot 10^4 \text{ Дж};$$

2. Переход 2 – 3 изобарный – совершается работа и изменяется внутренняя энергия:

$$A_{23} = \frac{p \Delta V}{2} = -\frac{3 \cdot 10^4 \cdot 2}{2} = -6 \cdot 10^6 \text{ Дж};$$

$$\Delta U_{23} = \frac{3}{2}(p_3 V_3 - p_2 V_2) = \frac{3}{2}(3 \cdot 10^6 - 9 \cdot 10^6) = -9 \cdot 10^6;$$

1. Суммарное количество отданной газом теплоты:

$$Q_{123} = A_{12} + \Delta U_{12} + A_{23} + \Delta U_{23} = -6 \cdot 10^6 \text{ Дж} = -6 \text{ МДж};$$

31. При коротком замыкании выводов аккумулятора сила тока в цепи равна 12 А. При подключении к выводам аккумулятора электрической лампы электрическим сопротивлением 5 Ом сила тока в цепи равна 2 А. По результатам этих экспериментов определите внутреннее сопротивление аккумулятора.

**Решение**

$$\left. \begin{array}{l} I_1 = \frac{\varepsilon}{r}; \\ I_2 = \frac{\varepsilon}{R+r}; \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{I_1}{I_2} = \frac{r+R}{r}; \quad I_2 R + I_2 r = I_1 r; \quad r = \frac{I_2 R}{I_1 - I_2} = \frac{10}{10} = 1 \text{ Ом};$$

---

- 32.** Электрон влетает в однородное магнитное поле с индукцией  $4 \cdot 10^{-4}$  Тл перпендикулярно линиям индукции этого поля и движется по окружности радиуса  $R = 10$  мм. Вычислите скорость электрона.

**Решение**

$$\frac{mv^2}{R} = qvB; \quad v = \frac{qBR}{m} = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 4 \cdot 10^{-4} \cdot 10^{-2}}{9,1 \cdot 10^{-31}} \approx 7 \cdot 10^5 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

---



### Решение

$$\left. \begin{aligned} F_{3-C} &= G \frac{m_3 m_C}{R_{3-C}^2}; \\ F_{M-C} &= G \frac{m_3 m_C}{R_{M-C}^2}; \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{F_{3-C}}{F_{M-C}} = \frac{9}{\left(\frac{R_{3-C}}{R_{M-C}}\right)^2} = \frac{9}{0,66^2} \approx 21;$$

6. Брусок движется равномерно вверх по поверхности наклонной плоскости. Установите для силы трения соответствие между параметрами силы, перечисленными в левом столбце таблицы, и свойствами вектора силы:

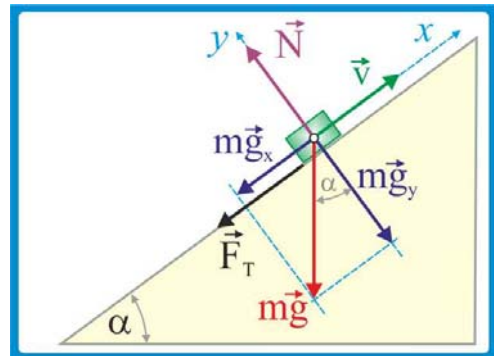
- 1) перпендикулярно поверхности наклонной плоскости
- 2) вертикально вниз
- 3) против направления вектора скорости
- 4) вертикально вверх
- 5) обратно пропорционально площади поверхности бруска
- 6) пропорционально силе нормального давления
- 7) обратно пропорционально силе нормального давления
- 8) пропорционально площади поверхности бруска
- 9) не зависит от площади поверхности бруска

### Решение

1. Модуль силы трения, действующей на наклонной плоскости:

$$|\vec{F}_T| = -\mu N = -\mu mg \cos \alpha;$$

модуль силы трения не зависит от площади соприкасающихся поверхностей, вектор силы трения направлен в сторону противоположную вектору скорости.



|                     |   |
|---------------------|---|
| Направление вектора | 3 |
| Модуль вектора      | 6 |

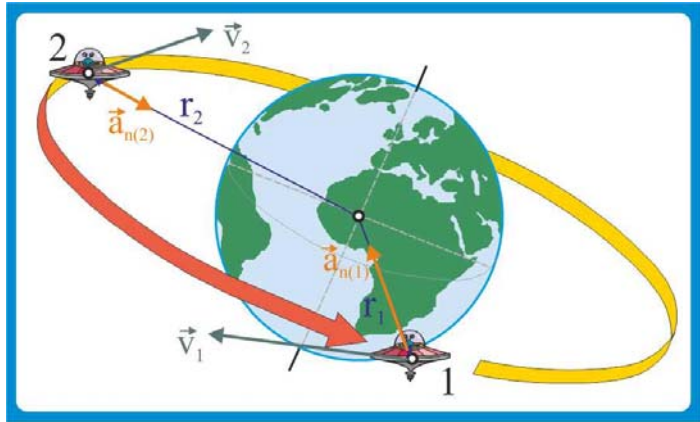
7. Искусственный спутник движется по эллиптической орбите вокруг Земли. Изменяются ли перечисленные в первом столбце таблицы физические величины во время удаления спутника от Земли и если изменяются, то как?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) не изменяется
- 2) только увеличивается по модулю
- 3) только уменьшается по модулю
- 4) увеличивается по модулю и изменяется по направлению
- 5) уменьшается по модулю и изменяется по направлению

- 6) увеличивается по модулю, не изменяется по направлению  
 7) уменьшается по модулю, не изменяется по направлению

**Решение**



1. Линейная скорость спутника на круговой орбите:

$$\frac{mv^2}{r} = G \frac{mM}{r^2}; \quad v = \sqrt{\frac{GM}{r}};$$

$$r_1 < r_2; \Rightarrow v_2 < v_1; \mapsto (5);$$

2. Ускорение спутника:

$$a_n = \frac{v^2}{r}; \quad v \downarrow; r \uparrow; a_n \downarrow; \mapsto (5)$$

3. Кинетическая энергия спутника скалярная величина:

$$K = \frac{mv^2}{2}; \quad v \downarrow; K \downarrow; \mapsto (3)$$

4. Потенциальная энергия спутника:

$$\Pi = mg(R + r); \quad r \uparrow; \Pi \uparrow; \mapsto (2);$$

5. Полная механическая энергия спутника на орбите:

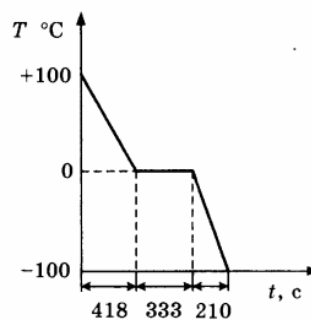
$$K + \Pi = \text{const}; \mapsto (1);$$

|  |   |
|--|---|
| Скорость                                   | 5 |
| Нормальное (центростремительное) ускорение | 5 |
| Кинетическая энергия                       | 3 |
| Потенциальная энергия                      | 2 |
| Полная механическая энергия                | 1 |

8. На графике представлено, как изменялась с течением времени температура 0,1 кг воды, находившейся в начальный момент в жидком состоянии при температуре +100 °С, при постоянной мощности теплоотвода 100 Вт.

По графику на рисунке и известным значениям массы воды и мощности теплопередачи определите удельную теплоёмкость воды.

- 1) 4180 Дж/(кг · °С)  
 2) 3330 Дж/(кг · °С)  
 3) 2100 Дж/(кг · °С)  
 4) 10 Дж/(кг · °С)

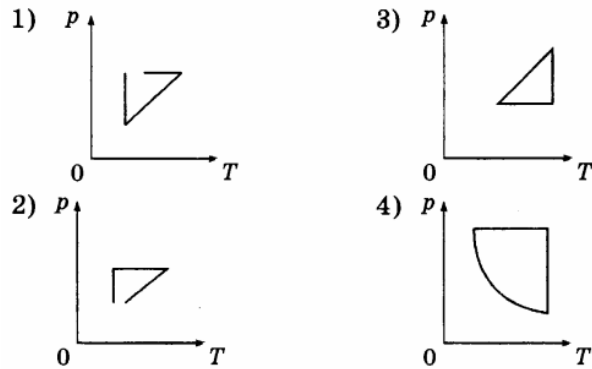


**Решение**

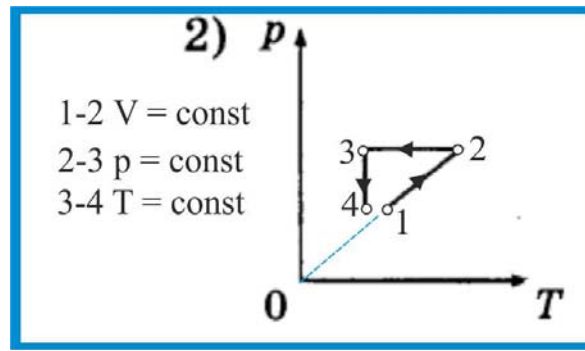
$$P\tau = cm\Delta T; \Rightarrow c = \frac{P\tau}{m\Delta T} = \frac{100 \cdot 418}{0,1 \cdot 100} = 4180 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ \text{C}};$$



постоянной температуре давление газа уменьшилось до первоначального значения. Какой из графиков на рисунке соответствует этим изменениям состояния газа?



### Решение



13. Если тело движется по окружности с постоянной по модулю скоростью, то равнодействующая всех приложенных к нему сил

- 1) не равна нулю, постоянна по модулю и направлению
- 2) не равна нулю, постоянна по модулю, но её направление изменяется со временем
- 3) равна нулю
- 4) равна нулю или постоянна по модулю и направлению

### Решение

1. Движение тела по круговой траектории с постоянной по модулю скоростью является ускоренным движением, т.к. во времени меняется направление вектора скорости, так, например условие нахождения тела на круговой орбите в поле гравитационных сил, описывается уравнением:

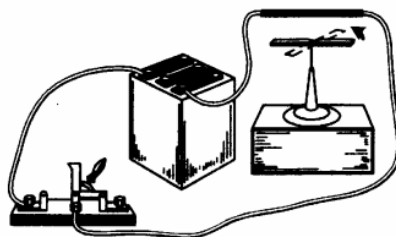
$$G \frac{m_1 m_2}{r^2} = \frac{m_2 v^2}{r};$$

т.е. равнодействующая не равна нулю, постоянна по модулю и изменяется по направлению.

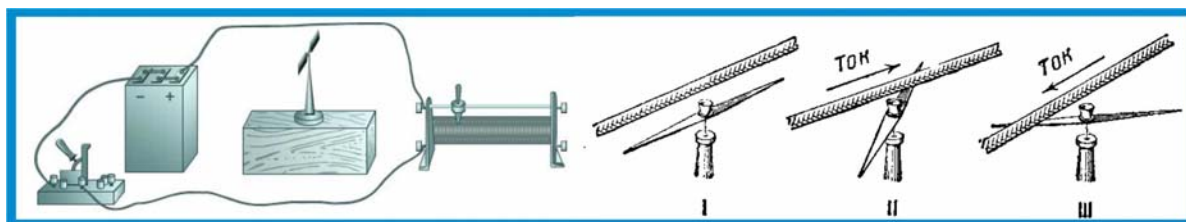
2. Если использовать принцип Даламбера о фиктивных силах инерции, то геометрическая сумма силы инерции и гравитационной силы в любой точке орбиты должна быть эквивалентна нулю.

14. На рисунке представлен вариант выполнения опыта Эрстеда. В опыте Эрстеда было обнаружено, что при пропускании электрического тока через проводник магнитная стрелка вблизи проводника поворачивается и после нескольких колебаний устанавливается

- 1) северным полюсом к проводнику с током
- 2) южным полюсом к проводнику с током
- 3) в направлении протекания тока в проводнике
- 4) перпендикулярно проводнику с током



Решение

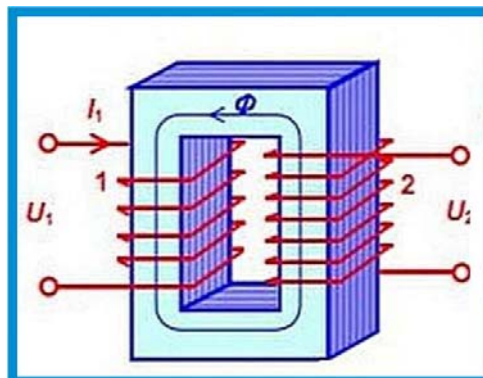


1. При достаточном превосходстве магнитного поля проводника по сравнению с магнитным полем Земли магнитная стрелка расположится перпендикулярно направлению прямолинейного проводника, а каким полюсом повернётся стрелка к проводнику, зависит от направления тока в проводнике.

15. Число витков в первичной обмотке трансформатора в 2 раза больше числа витков в его вторичной обмотке. Какова амплитуда колебаний напряжения на концах вторичной обмотки трансформатора в режиме холостого хода при амплитуде колебаний напряжения на концах первичной обмотки 50 В?

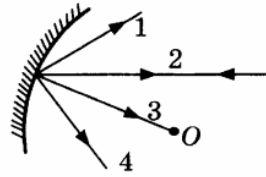
Решение

$$U_1 N_1 = U_2 N_2; \quad U_2 = \frac{U_1 N_1}{N_2} = 25 \text{ В};$$

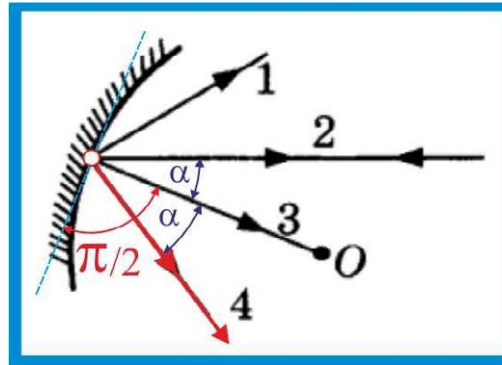




16. Луч света падает на зеркальную поверхность цилиндра, ось цилиндра проходит через точку  $O$  (см. рис.). В каком направлении пойдёт отражённый луч?



Решение



17. К гальваническому элементу была подключена электрическая лампа. Что произойдёт с силой тока в общей цепи, напряжением на этой лампе и мощностью тока на ней при подключении последовательно с первым гальваническим элементом второго такого же элемента и последовательно с первой лампой второй такой же?

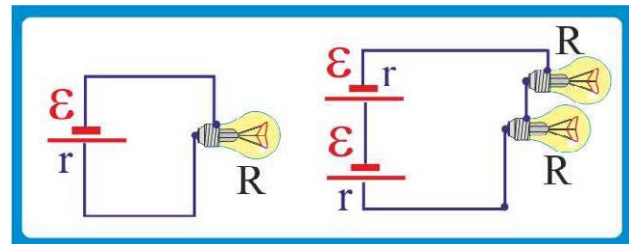
Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличение                      3) неизменность  
2) уменьшение

Решение

1. Сила тока:

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{\varepsilon}{R + r}; \\ I_2 &= \frac{2\varepsilon}{2R + 2r}; \end{aligned} \right\} \Rightarrow I_1 = I_2; \mapsto (3);$$



2. Напряжение на контрольной лампочке:

$$U = IR; \quad I_1 = I_2; \quad R_1 = R_2 = R; \Rightarrow U_1 = U_2; \mapsto (3);$$

3. Мощность тока на лампе:

$$P = IU; \Rightarrow P_1 = P_2; \mapsto (3);$$

18. Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым эти величины определяются.

### ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- А) скорость равноускоренного движения  
 Б) оптическая сила линзы

### ФОРМУЛЫ

- 1)  $F = G \frac{mM}{r^2}$   
 2)  $D = \frac{1}{F}$   
 3)  $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$   
 4)  $v = \frac{s}{t}$   
 5)  $v = at$

### Решение

А. Скорость равноускоренного движения:

$$v = at; \quad \mapsto \quad (5);$$

Б. Оптическая сила линзы:

$$D = \frac{1}{F}; \quad \mapsto \quad (2);$$

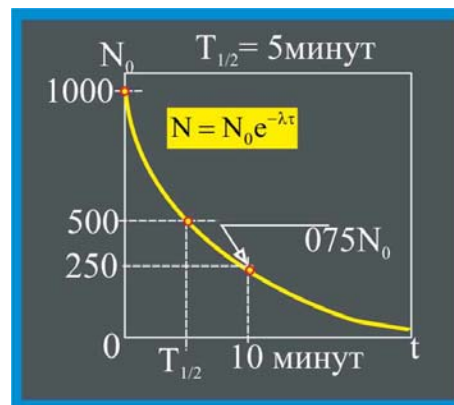
**19.** В начальный момент времени было 1000 атомных ядер изотопа с периодом полураспада 5 минут. Сколько ядер этого изотопа останется нераспавшимися через 10 минут?

- 1) 0  
 2) точно 250  
 3) примерно 250  
 4) примерно 750

### Решение

1. В соответствии с законом радиоактивного распада за два полупериода полураспада останутся не распавшимися примерно 250 ядер. Приближённое количество определяется вследствие вероятностного характера процесса

$$N = N_0 e^{-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t}; \quad N = \frac{N_0}{2^{\frac{t}{T_{1/2}}}}$$



**20.** Сумма масс ядра изотопа кислорода  ${}^{18}_8\text{O}$  и протона  ${}^1_1\text{p}$  меньше суммы масс ядра изотопа фтора  ${}^{18}_9\text{F}$  и нейтрона  ${}^1_0\text{n}$ . Возможна ли в принципе ядерная реакция  ${}^{18}_8\text{O} + {}^1_1\text{p} \rightarrow {}^{18}_9\text{F} + {}^1_0\text{n}$ ?

- 1) реакция невозможна  
 2) возможна только с поглощением энергии  
 3) возможна только с выделением энергии  
 4) возможна как с поглощением энергии, так и с выделением энергии

### Решение

1. Реакция возможна с поглощением энергии ввиду отрицательного значения разности дефекта масс.

**21.** На рисунке представлена диаграмма энергетических уровней атома. Какой цифрой обозначен переход, соответствующий испусканию атомом света наименьшей частоты?

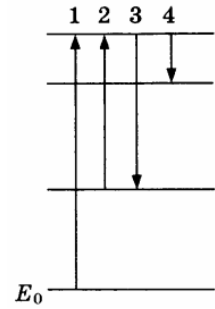
### Решение

1. Так как:

$$\varepsilon_f = h\nu,$$

то минимальной частоте испускаемого  $\gamma$ -кванта будет соответствовать минимальная энергия между энергетическими уровнями атома, что соответствует переходу:

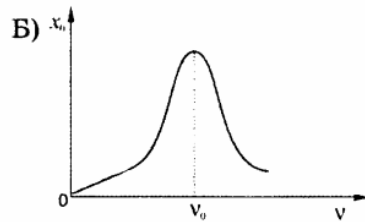
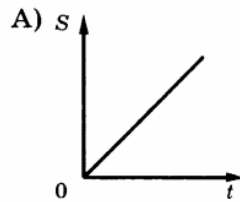
$$\Delta E_{\min} = E_m - E_n; \quad \mapsto \quad (4);$$



**22.** На графиках А и Б показаны зависимости одних физических величин от других физических величин.

Установите соответствие между графиками А и Б и перечисленными ниже видами зависимости.

#### ГРАФИКИ



#### ВИДЫ ЗАВИСИМОСТИ

- 1) зависимость объёма от давления газа при постоянной температуре
- 2) зависимость пути от времени при равномерном движении
- 3) зависимость амплитуды вынужденных колебаний от частоты изменений вынуждающей силы постоянной амплитуды
- 4) зависимость потенциальной энергии системы взаимодействующих молекул от расстояния между молекулами

### Решение

А. Зависимость пути от времени при равномерном движении и нулевой начальной скорости:

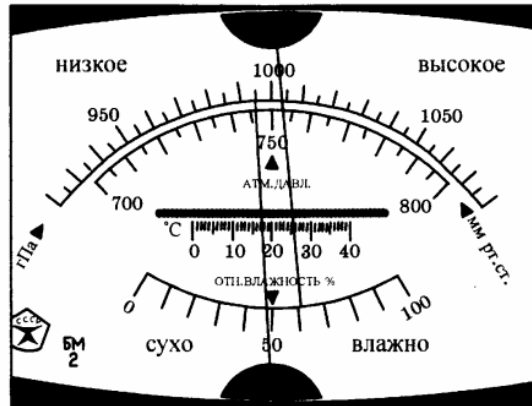
$$S = vt; \quad \mapsto \quad (2);$$

Б. Резонансная кривая вынужденных колебаний: зависимость амплитуды вынужденных колебаний от частоты вынуждающей силы:

$$x_0 = f(\nu); \quad \mapsto \quad (3);$$

23. На рисунке показана шкала универсального прибора, измеряющего величину атмосферного давления, температуру и влажность.

Снимите показания барометра и гигрометра.



- 1) атмосферное давление равно  $\approx 995$  гПа, влажность воздуха равна  $\approx 61\%$
- 2) атмосферное давление равно  $\approx 1003$  гПа, влажность воздуха равна  $\approx 61\%$
- 3) атмосферное давление равно  $\approx 995$  гПа, влажность воздуха равна  $\approx 48\%$
- 4) атмосферное давление равно  $\approx 1003$  гПа, влажность воздуха равна  $\approx 48\%$

#### Решение

Атмосферное давление  $p_a \approx 995$  гПа, влажность воздуха  $\varphi \approx 61\%$ .

24. На рисунке показаны опыты по исследованию зависимости показаний термометра от внешних условий. Лампа используется в качестве «Солнца». Листы бумаги используются для изменений условий нагревания термометра.



В каком опыте термометр наиболее точно измеряет температуру воздуха?

- 1) в первом
- 2) во втором
- 3) в третьем
- 4) опыты дадут примерно один и тот же результат

## Решение

1. Термометры предназначены для измерения температуры окружающей среды, в данном случае воздуха за счёт теплообмена ртути с воздухом, чему более всего удовлетворяет условие измерения 1, т.к. при этом экранируется радиационный теплообмен за счёт излучения.



25. Тело массой 2 кг под действием силы  $\vec{F}$  перемещается вверх по наклонной плоскости на расстояние  $l = 5$  м, расстояние тела от поверхности Земли при этом увеличивается на  $h = 3$  м. Вектор силы  $\vec{F}$  направлен параллельно наклонной плоскости, модуль силы  $\vec{F}$  равен 30 Н. Какую работу при этом перемещении совершила сила тяжести? Ускорение свободного падения примите равным  $10$  м/с<sup>2</sup>, коэффициент трения  $\mu = 0,5$ .

## Решение

1. Пусть материальная точка заданной массы  $m$  движется под действием постоянной силы в плоскости чертежа по криволинейной траектории. Сила в данном случае является главным вектором системы сил, приложенных к точке. Для материальной точки возможно записать второй закон Ньютона в векторной форме

$$\vec{F} = m\vec{a}; \quad \vec{a} = m \frac{d\vec{v}}{dt}.$$

2. Умножим правую и левую части уравнения на бесконечно малое перемещение  $d\vec{r}$

$$\vec{F}d\vec{r} = m \cdot d\vec{v} \frac{d\vec{r}}{dt} = m\vec{v}d\vec{v}.$$

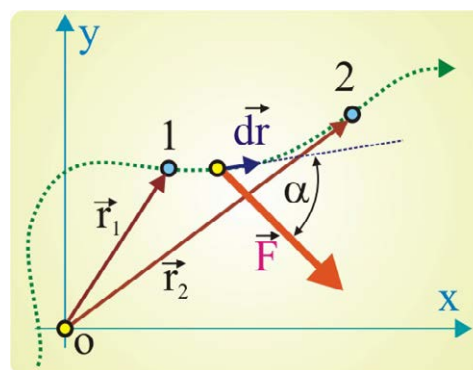
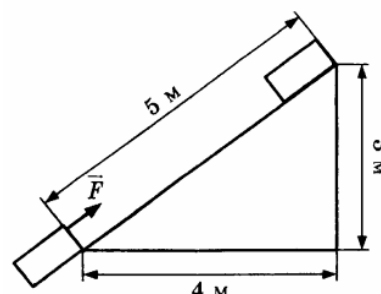
3. Величина,  $\vec{F}d\vec{r}$  называется элементарной работой силы  $\vec{F}$  на перемещении  $d\vec{r}$

$$\delta A = \vec{F}d\vec{r} = Fdr \cos \alpha, \quad [\text{Нм} \equiv \text{Дж}]$$

где  $\alpha$  – угол между вектором силы и вектором перемещения. Из последнего следует, что элементарная работа, определяемая скалярным произведением векторов, так же является скалярной величиной.

4. Введение в рассмотрение элементарной работы обусловлено необходимостью вычислений работы при движении точки по криволинейным траекториям, когда невозможно однозначно определить угол между перемещением и силой. В этом случае участок траектории, например 1 – 2, разбивается на бесконечное число элементарных участков протяжённостью  $d\vec{r}$  каждый, для которых угол легко определяется ввиду их прямолинейности. На каждом участке вычисляется элементарная работа, а затем работы суммируются

$$A_{1 \rightarrow 2} = \delta A_1 + \delta A_2 + \dots + \delta A_n = \sum_{k=1}^{k=n} \delta A_k.$$



5. Элементарная работа, как следует из последнего уравнения в зависимости от величины угла  $\alpha$  может быть, при прочих равных условиях, положительной, отрицательной или равной нулю.

6. Полная работа на конечном перемещении определится при устремлении  $d\vec{r} \rightarrow 0$ , что приводит к криволинейному интегралу

$$A_{1 \rightarrow 2} = \int_L \vec{F} d\vec{r}.$$

7. Этот криволинейный интеграл даёт возможность определять работу  $A$  силы  $\vec{F}$  при перемещении точки по траектории  $L$ . Таким образом, работа в общем случае зависит от вида кривой.

8. Так, например, при перемещении точки по траекториям  $1a2$  и  $1b2$  одной и той же силой будут производиться разные работы. Численно, полная работа, исходя из геометрического смысла интеграла, равна площади, ограниченной кривой и горизонтальной осью, поэтому в рассматриваемом случае разность работ  $A_{1a2} - A_{1b2}$  будет равна разности площадей соответствующих криволинейных трапеций.

9. В природе, в ряде случаев, встречаются силы, работа которых не зависит от вида траектории, а определяется только конечным и начальным положением точки. Такие силы называются потенциальными или консервативными.

10. Работа потенциальной силы на любой замкнутой траектории равна нулю

$$\oint_L \vec{F} d\vec{r} = 0;$$

11. Если сила постоянна во времени, то уравнения для вычисления работы упростятся, причём для практического использования целесообразно перейти к координатной форме их записи. Так как:

$$\vec{F} = \vec{i}F_x + \vec{j}F_y + \vec{k}F_z; \quad d\vec{r} = \vec{i}dx + \vec{j}dy + \vec{k}dz,$$

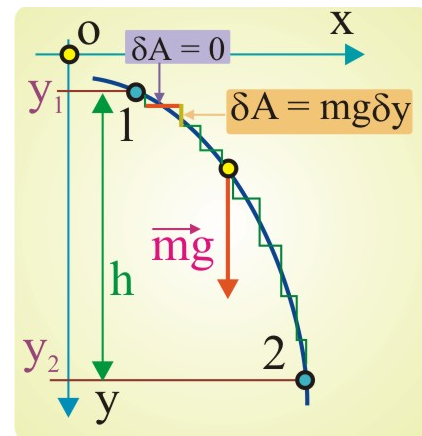
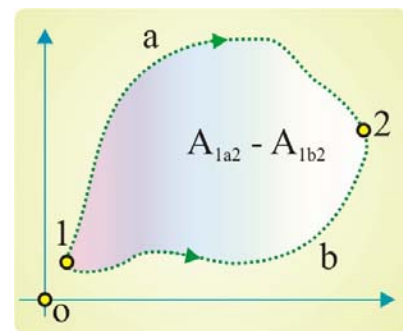
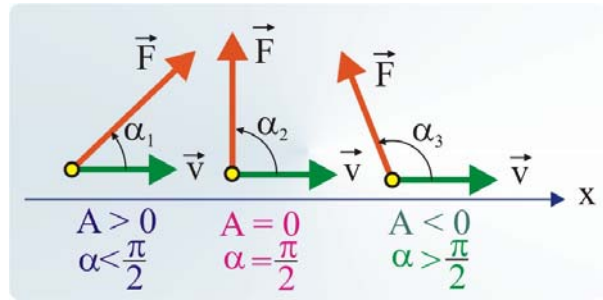
то уравнение работы можно переписать в координатной форме:

$$A_{1 \rightarrow 2} = \int_{x_1}^{x_2} F_x dx + \int_{y_1}^{y_2} F_y dy + \int_{z_1}^{z_2} F_z dz.$$

12. Воспользуемся уравнением для вычисления работы силы тяжести. Пусть точка известной массы перемещается по произвольной траектории в плоскости  $\{oxy\}$  из начального положения 1 в конечное положение 2. Определим проекцию силы тяжести на координатные оси

$$(mg)_x = 0; \quad (mg)_y = mg.$$

13. Если криволинейную траекторию аппроксимировать большим количеством вертикальных и горизонтальных прямых, то очевидно что элементарная работа



силы тяжести на горизонтальных перемещениях будет равна нулю, т.е. на перемещении вдоль оси  $ox$  от  $x_1$  до  $x_2$  суммарная работа так же будет нулевой.

Подставляя значение проекций силы тяжести в (4.6) получим,

$$A_{1 \rightarrow 2} = \int_{y_1}^{y_2} F_y dy = \int_{y_1}^{y_2} mg dy;$$

$$A_{1 \rightarrow 2} = mg(y_2 - y_1) = mgh; \quad A_{2 \rightarrow 1} = -mgh = -60 \text{ Дж};$$

14. Как видно из полученного уравнения, работа силы тяжести не зависит от того, по какой траектории перемещается точка, а определяется исключительно значением  $h = y_2 - y_1$ , или  $h = y_1 - y_2$  другими словами сила тяжести является потенциальной.

26. Идеальный газ получил количество теплоты 300 Дж, и при этом внутренняя энергия газа увеличилась на 100 Дж. Чему равна работа, совершённая газом?

#### Решение

$$\delta Q = \Delta U + A; \quad \Rightarrow \quad A = \delta Q - \Delta U = 200 \text{ Дж};$$

27. В колебательном контуре из конденсатора и катушки индуктивностью 0,5 Гн происходят свободные электромагнитные колебания с циклической частотой  $\omega = 1000 \text{ с}^{-1}$ . Амплитуда колебаний силы тока в контуре 0,01 А. Чему равна амплитуда колебаний напряжения на катушке?

#### Решение

1. Индуктивное сопротивление катушки:

$$R_L = \omega L = 500 \text{ Ом};$$

2. Амплитудное значение напряжения на катушке:

$$u_{L(m)} = i_m R_L = 5 \text{ В};$$

28. В эксперименте установлено, что при температуре воздуха в комнате 29 °С на стенке стакана с холодной водой начинается конденсация паров воды из воздуха, если понизить температуру стакана до 7 °С. По результатам этих экспериментов определите относительную влажность воздуха. Для решения задачи воспользуйтесь таблицей. При повышении 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

|                             |      |      |      |      |      |       |      |       |
|-----------------------------|------|------|------|------|------|-------|------|-------|
| $t, \text{ }^\circ\text{C}$ | 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  |
| $t, \text{ }^\circ\text{C}$ | 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:

$$\varphi = \frac{p_{н(7^{\circ})}}{p_{н(29^{\circ})}} = \frac{10 \cdot 10^9}{40 \cdot 10^9} = 0,25 \text{ (25\%);}$$

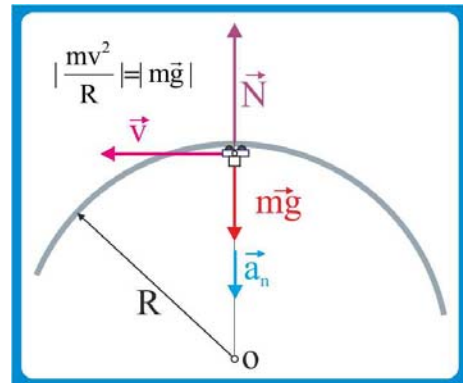
2. Конденсация паров воды наступает в случае совпадения давления насыщенных паров воды при данной температуре с внешним давлением, а поскольку давление насыщенных паров зависит от температуры, то и конденсация может начинаться при соответствующих температурах, в частности при  $t = 7^{\circ}\text{C}$ . А поскольку температура точки росы не изменилась, то и влажность осталась прежней

- 29.** В аттракционе человек движется на тележке по рельсам и совершает «мёртвую петлю» в вертикальной плоскости. С какой скоростью должна двигаться тележка в верхней точке круговой траектории радиусом 6,4 м, чтобы в этой точке сила давления человека на сиденье тележки была равна 0 Н? Ускорение свободного падения  $10 \text{ м/с}^2$ .

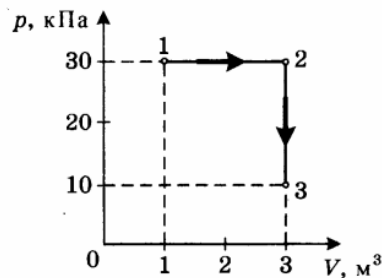
### Решение

1. Сила давления человека на сиденье тележки будет равна нулю при условии

$$\left| \frac{mv^2}{R} \right| = |mg|; \Rightarrow v = \sqrt{gR} = 8 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$



- 30.** На диаграмме представлены изменения давления и объёма идеального одноатомного газа. Какое количество теплоты было получено или отдано газом при переходе из состояния 1 в состояние 3?



### Решение

$$A_{12} = p_1 \Delta V_{12} = 3 \cdot 10^4 \cdot 2 = 6 \cdot 10^4 \text{ Дж}; \quad \Delta U_{12} = \frac{3}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1) = \frac{3}{2} (9 \cdot 10^4 - 3 \cdot 10^4) = 9 \cdot 10^4 \text{ Дж};$$

$$A_{23} = 0; \quad \Delta U_{23} = \frac{3}{2} (p_3 V_3 - p_2 V_2) = \frac{3}{2} (3 \cdot 10^4 - 9 \cdot 10^4) = -9 \cdot 10^4 \text{ Дж};$$

$$Q_{123} = 6 \cdot 10^4 \text{ Дж};$$



31. В однородном магнитном поле, индукция которого  $1,67 \cdot 10^{-5}$  Тл, протон движется перпендикулярно вектору магнитной индукции  $\vec{B}$  по окружности радиусом 5 м. Определите скорость протона.

Решение

$$\left| \frac{mv^2}{R} \right| = |qvB|; \Rightarrow v = \frac{qBR}{m} = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1,67 \cdot 10^{-5} \cdot 5}{1,67 \cdot 10^{-27}} \approx 8150 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

32. Определите, какая частица X образуется при осуществлении ядерной реакции  ${}^1_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + X$ .

Используя таблицы в начале книги и таблицу масс атомных ядер, вычислите энергию, освобождающуюся при осуществлении этой ядерной реакции.

Массы атомных ядер

| Атомный номер | Название элемента | Символ изотопа          | Масса атомного ядра изотопа |                 |
|---------------|-------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------|
| 1             | водород           | ${}^1_1\text{H}$        | $1,6726 \cdot 10^{-27}$ кг  | 1,00727 а.е.м.  |
| 1             | водород           | ${}^2_1\text{H}$        | $3,3437 \cdot 10^{-27}$ кг  | 2,01355 а.е.м.  |
| 1             | водород           | ${}^3_1\text{H}$        | $5,0075 \cdot 10^{-27}$ кг  | 3,01550 а.е.м.  |
| 2             | гелий             | ${}^3_2\text{He}$       | $5,0066 \cdot 10^{-27}$ кг  | 3,01493 а.е.м.  |
| 2             | гелий             | ${}^4_2\text{He}$       | $6,6449 \cdot 10^{-27}$ кг  | 4,00151 а.е.м.  |
| 13            | алюминий          | ${}^{27}_{13}\text{Al}$ | $44,7937 \cdot 10^{-27}$ кг | 26,97441 а.е.м. |
| 15            | фосфор            | ${}^{30}_{15}\text{P}$  | $49,7683 \cdot 10^{-27}$ кг | 29,97008 а.е.м. |

1. Энергия ядерной реакции  ${}^1_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + X$ :

$$\sum_1^2 m_1 = m_{{}^1_1\text{H}} + m_{{}^2_1\text{H}} \approx 3,02082 \text{ а.е.м.}$$

$$\sum_1^2 m_2 = m_{{}^3_2\text{He}} \approx 3,01493 \text{ а.е.м.}$$

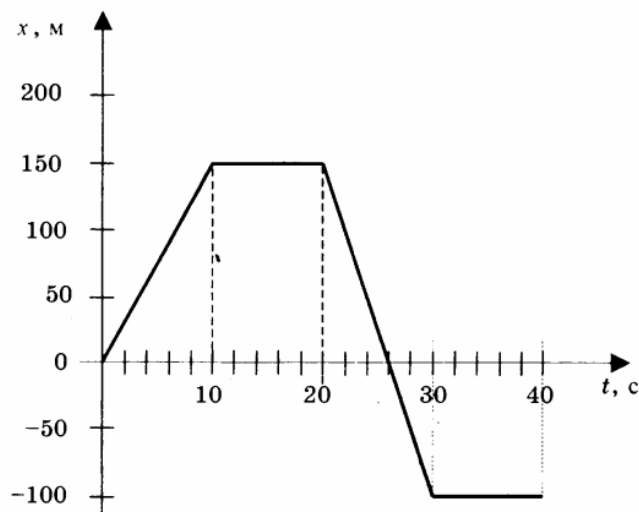
$$\sum_1^2 m_1 > \sum_1^2 m_2; \Rightarrow \sum_1^2 m_1 - \sum_1^2 m_2 \approx 5,89 \cdot 10^{-3} \text{ а.е.м.}$$

$$Q = c^2 \left( \sum_1^2 m_2 - \sum_1^2 m_1 \right) \approx 9 \cdot 10^{16} \cdot 5,89 \cdot 10^{-3} \cdot 1,6606 \cdot 10^{-27} \approx 8,05557 \cdot 10^{-13} \text{ Дж};$$

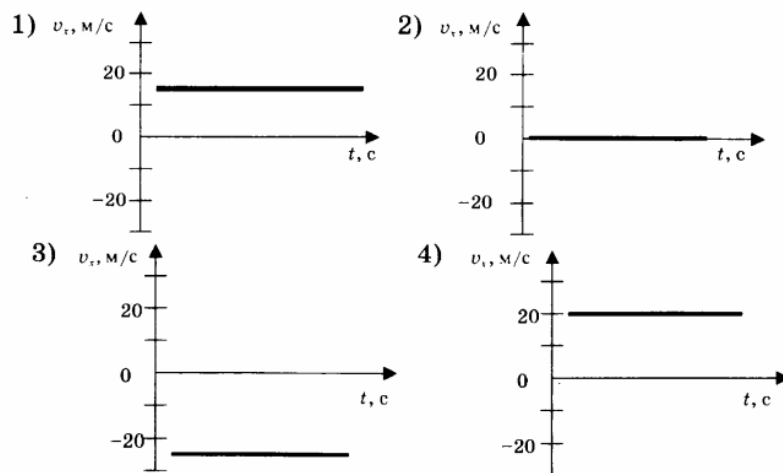
$$Q \approx \frac{8,05557 \cdot 10^{-13}}{1,6 \cdot 10^{-19}} \approx 5 \text{ МэВ};$$

## Вариант 11

1. На рисунке приведён график зависимости координаты прямолинейно движущегося тела от времени.



Проекция скорости тела в интервале времени от 14 до 20 с представлена на графике



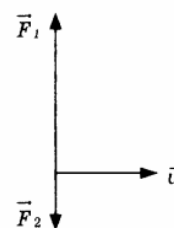
### Решение

1. В течение заданного промежутка времени координата тела не меняется, следовательно, его скорость равна нулю, что соответствует графику 2.

2. К телу, движущемуся горизонтально со скоростью  $\vec{v}$  в инерциальной системе отсчета, приложены две вертикальные силы  $\vec{F}_1$  и  $\vec{F}_2$ , как показано на рисунке.

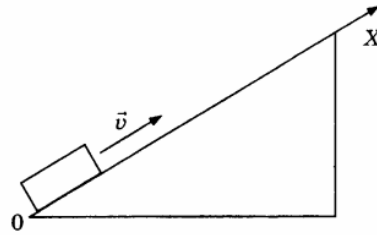
Как направлено ускорение тела в этой системе отсчета?

- 1)  $\uparrow$    2)  $\rightarrow$    3)  $\downarrow$    4)  $\nearrow$





7. Бруску, находящемуся на наклонной плоскости, в момент  $t = 0$  сообщили направленную вдоль оси  $X$  скорость (см. рис.). Графики А и Б представляют собой зависимости физических величин, характеризующих движение бруска, от времени.

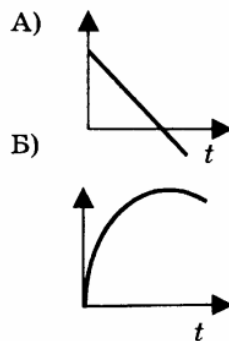


Установите соответствие между графиками и физическими величинами, зависимости которых от времени эти графики могут представлять.

К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

**ГРАФИКИ**

**ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ**



- 1) потенциальная энергия
- 2) кинетическая энергия
- 3) проекция ускорения на ось  $X$
- 4) проекция скорости на ось  $X$

**Решение**

А. Зависимость скорости движения тела от времени:

$$v_1 = v_0 - at; \quad v_2 = at; \quad \mapsto \quad (4);$$

Б. Зависимость потенциальной энергии от времени:

$$\Pi = mgh; \quad h(t) = x(t) \sin \alpha = \left[ v_0 t - \frac{at^2}{2} \right] \sin \alpha; \quad \mapsto \quad (1);$$

8. Нагретый стальной брусок А привели в соприкосновение со стальным холодным бруском Б меньшего размера. В процессе установления теплового равновесия брусок А отдал количество теплоты  $Q$ . Брусок Б

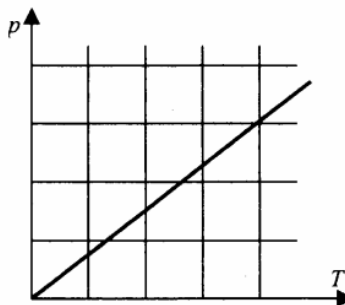
- 1) отдал количество теплоты  $Q_1 < Q$
- 2) получил количество теплоты  $Q_1 < Q$
- 3) отдал количество теплоты  $Q_1 = Q$
- 4) получил количество теплоты  $Q_1 = Q$

**Решение**

1. Пренебрегая тепловыми потерями, можно считать что "холодный" брусок получит теплоту в количестве необходимом для наступления теплового равновесия:

$$Q_1 \approx Q; \quad \mapsto \quad (4);$$

9. На  $pT$ -диаграмме представлен процесс изменения состояния идеального одноатомного газа неизменной массы. В этом процессе газ получил 20 кДж теплоты.



- Выберите утверждение, соответствующее этому процессу.
- 1) Работа газа равна нулю.
  - 2) Работа газа равна 20 кДж.
  - 3) Работа внешних сил равна 20 кДж.
  - 4) Работа внешних сил равна 5 кДж.

### Решение

1. Идеальный газ изменяет состояние по изохорной схеме  $V = \text{const}$ :

$$A = p\Delta V; \quad \Delta V = 0; \quad \Rightarrow \quad A = 0; \quad \mapsto (1);$$

10. Относительная влажность воздуха в сосуде под поршнем составляет 25%. Какой станет относительная влажность этого воздуха при уменьшении объёма под поршнем в 2 раза при постоянной температуре?

### Решение

1. Масса водяного пара при изменении объёма остаётся постоянной, при этом плотность увеличивается, следовательно, пропорционально увеличивается влажность:

$$\varphi_2 = 2\varphi_1 = 50\%;$$

11. Идеальный одноатомный газ в сосуде под подвижным поршнем охладил, уменьшив его температуру в 1,5 раза, и затем, зафиксировав поршень, добавили в сосуд количество газа, равное первоначальному. Как при этом изменились объём газа и его внутренняя энергия?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- |                |                  |
|----------------|------------------|
| 1) увеличилась | 3) не изменилась |
| 2) уменьшилась |                  |

### Решение

1. Поскольку поршень зафиксирован, то:

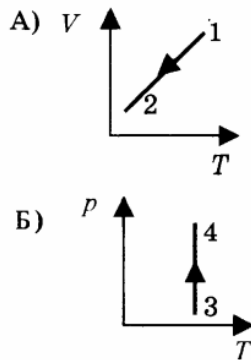
$$V = \text{const}; \quad \mapsto (3);$$

2. Внутренняя энергия: тут возможны варианты. Если предположить, что газ добавляют с температурой в 1,5 раза выше температуры газа, находящегося в сосуде, то температура смеси увеличится примерно в 0,75 раза, плюс ещё и масса газа под поршнем возрастёт, поэтому внутренняя энергия газа увеличится:

$$U_2 > U_1; \quad \mapsto (1);$$

12. На рисунках изображены графики процессов 1–2 и 3–4, происходящих с постоянным количеством идеального одноатомного газа. Установите соответствие между изображёнными в первом столбце графиками процессов и утверждениями, соответствующими этим процессам.

ГРАФИКИ



УТВЕРЖДЕНИЯ

- 1) газ совершает положительную работу, внутренняя энергия газа не изменяется
- 2) над газом совершают работу, внутренняя энергия газа уменьшается
- 3) газ совершает отрицательную работу, внутренняя энергия газа не изменяется
- 4) над газом совершают работу, внутренняя энергия газа увеличивается

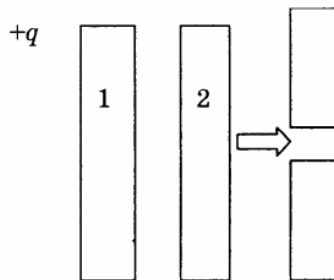
А. Приведен график изохорного процесса  $p = \text{const}$ :

$$A_{12} = p(V_2 - V_1); \quad V_1 > V_2; \Rightarrow p(V_2 - V_1) = -A_{12}; \quad \mapsto (2);$$

Б. Процесс изотермический  $T = \text{const}$ :

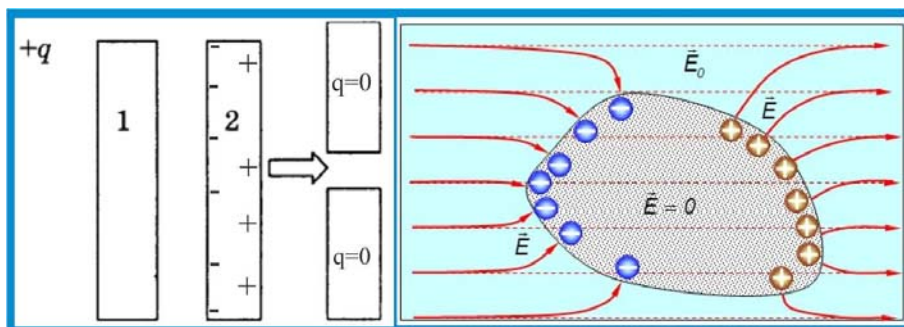
$$A_{3,4} = p_3 V_3 \ln \frac{p_3}{p_4}; \quad p_4 > p_3; \Rightarrow \ln \frac{p_3}{p_4} < 0; \quad \Delta U = 0; \quad \mapsto (3);$$

13. Металлическую пластину 1 зарядили положительно и поднесли к незаряженной металлической пластине 2. Если после этого пластину 2 разрезать горизонтально и раздвинуть ее верхнюю и нижнюю части, то о знаках зарядов верхней и нижней частей пластины 2 можно утверждать следующее:

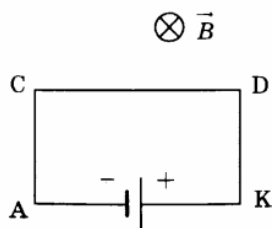


- 1) заряд верхней части положительный, нижней части отрицательный
- 2) заряд верхней части отрицательный, нижней части положительный
- 3) заряд обеих частей отрицательный
- 4) заряд обеих частей равен нулю

Решение



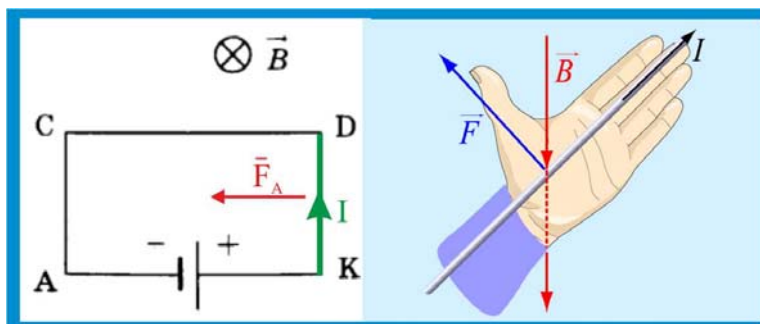
14. На рисунке показан проволочный прямоугольник АСДК, подключённый к источнику тока и помещённый в однородное магнитное поле с индукцией  $B$ , направленной перпендикулярно плоскости рисунка.



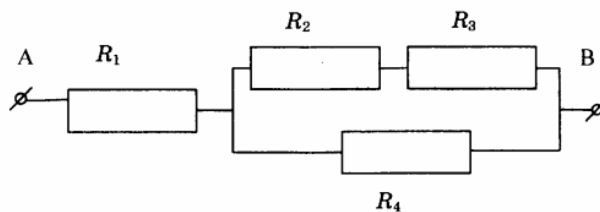
Сила, действующая со стороны магнитного поля на проводник ДК, направлена

- 1) вверх      2) вниз      3) влево      4) вправо

### Решение



15. В представленной на рисунке электрической схеме сопротивления всех резисторов  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 30$  Ом. Напряжение между точками А и В  $U_{AB} = 25$  В.



Чему равно напряжение на резисторе  $R_1$ ?

### Решение

1. Общее сопротивление цепи:

$$R_{23} = R_2 + R_3 = 60 \text{ Ом}; \quad R_{234} = \frac{R_{23}R_4}{R_{23} + R_4} = \frac{60 \cdot 30}{90} = 20 \text{ Ом}; \quad R_{1234} = R_1 + R_{234} = 50 \text{ Ом};$$

2. Сила тока через резистор  $R_1$ :

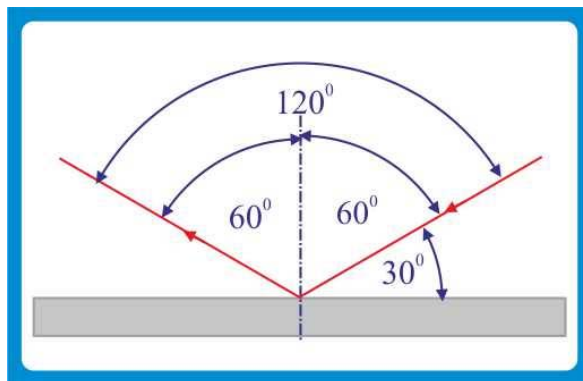
$$I_1 = \frac{U_{AB}}{R_{1234}} = 0,5 \text{ А};$$

3. Падение напряжения на резисторе  $R_1$ :

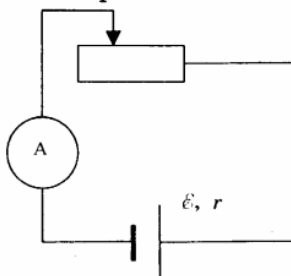
$$U_1 = I_1 R_1 = 15 \text{ В};$$

16. Луч света падает на границу раздела двух сред под углом  $30^\circ$  к поверхности. Чему равен угол между падающим и отражённым лучами?

### Решение



17. На рисунке представлена электрическая цепь, состоящая из источника тока, реостата и амперметра. Как изменятся сопротивление реостата и сила тока в цепи при движении ползунка реостата вправо?



- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

### Решение

1. Сопротивление реостата:

$$R = \frac{\rho \ell}{S}; \Rightarrow \ell \downarrow; R \downarrow; \mapsto (2);$$

2. Сила тока в цепи:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}; \Rightarrow R \downarrow; I \uparrow; \mapsto (1);$$

18. Электрический заряд  $q$  массой  $m$  движется сначала вдоль линий напряжённости электрического поля  $E$ , а затем попадает в магнитное поле с индукцией  $B$ , направленной перпендикулярно скорости заряда. Установите соответствие между записанными в первом столбце физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать.



**ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА**

- А) ускорение заряда в электрическом поле  
 Б) радиус траектории заряда в магнитном поле

**ФОРМУЛА**

- 1)  $\frac{mv}{qB}$   
 2)  $\frac{qE}{m}$   
 3)  $\frac{mq}{B}$   
 4)  $\frac{mE}{q}$

**Решение**

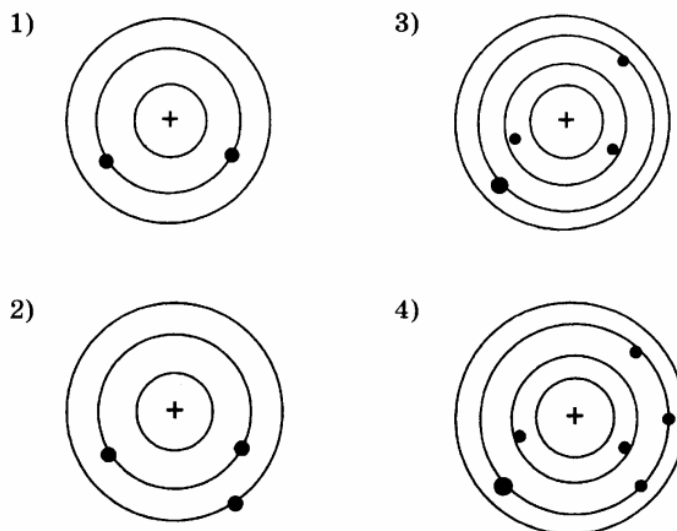
А. Ускорение заряда в электрическом поле:

$$F_k = qE = ma; \Rightarrow a = \frac{qE}{m}; \mapsto (2);$$

Б. Радиус траектории заряда в магнитном поле:

$$qvB = \frac{mv^2}{R}; \Rightarrow R = \frac{mv}{qB}; \mapsto (1);$$

**19.** На рисунке изображены схемы четырёх атомов. Электроны обозначены чёрными точками. Атому  ${}^7_4\text{Be}$  соответствует схема



**Решение**

$${}^7_4\text{Be}; A = 7; Z = 4; N_e = 4; \mapsto (3);$$

**20.** В какой из четырёх приведённых записей ядерных реакций выполняется закон сохранения заряда?

- 1)  ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_1\text{H}$   
 2)  ${}^3_1\text{H} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^6_3\text{Li} + {}^1_0\text{n}$   
 3)  ${}^3_2\text{He} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^7_4\text{Be} + {}^1_1\text{p}$   
 4)  ${}^7_4\text{Be} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{12}_6\text{C} + {}^1_1\text{p}$

### Решение

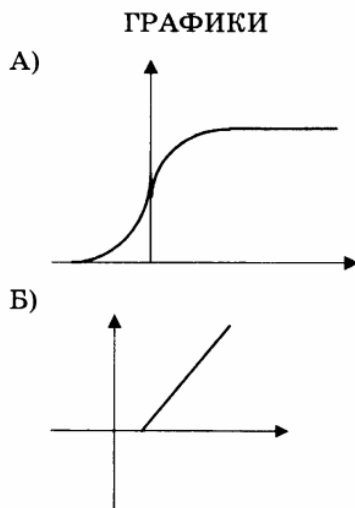
$$1) 1+1 \neq 2+1; \quad 2) 1+2=3; \Rightarrow Z = \text{const}; \quad \mapsto (2);$$

21. Частота видимого света равна  $0,5 \cdot 10^{15}$  Гц, частота рентгеновского излучения  $10^{18}$  Гц. Чему равно отношение импульсов рентгеновского фотона и фотона видимого света?

### Решение

$$\varepsilon_f = hv; \quad p_f = \frac{hv}{c}; \quad \Rightarrow \frac{p_2}{p_1} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{10^{18}}{5 \cdot 10^{14}} = 2 \cdot 10^3;$$

22. При изучении фотоэффекта были получены некоторые зависимости. Установите соответствие между графиками А и Б и видами зависимостей.



### ВИДЫ ЗАВИСИМОСТЕЙ

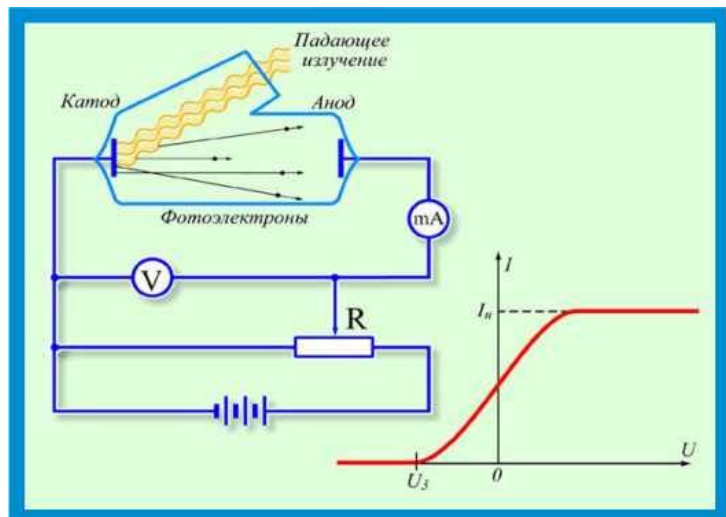
- 1) Зависимость тока насыщения от интенсивности света
- 2) Зависимость кинетической энергии электронов от частоты света
- 3) Зависимость фототока от напряжения
- 4) Зависимость тока насыщения от частоты света

### Решение

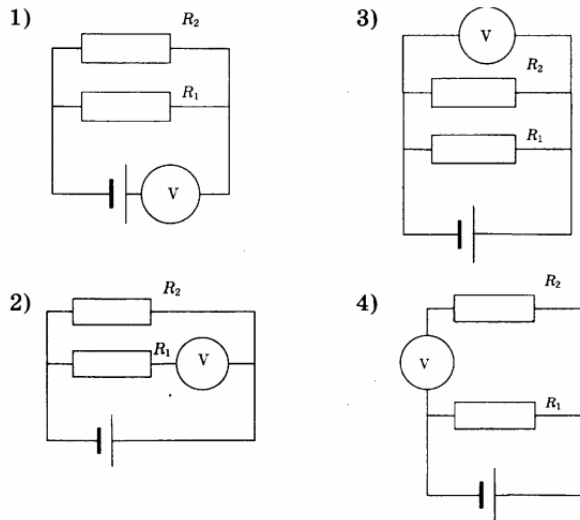
А. Зависимость фототока от напряжения между катодом и анодом.

Б. Зависимость кинетической энергии фотоэлектронов от частоты падающего на фотокатод света:

$$\begin{aligned} hv &= K_{\max} + A; \\ K_{\max} &= hv - A; \\ \text{при } hv > A; K_{\max} > 0; \\ K_{\max} &\sim \nu; \end{aligned}$$



23. Во время лабораторной работы необходимо было измерить напряжение на сопротивлении  $R_1$ . Это можно сделать с помощью схемы



1. В схеме 3 два резистора и вольтметр включены параллельно, поэтому вольтметр будет фиксировать напряжение на заданном резисторе.

24. Груз на пружине совершает малые вертикальные колебания. В таблице представлены результаты измерений смещения  $x$  груза относительно положения равновесия для различных моментов времени  $t$ .

|                 |   |       |      |       |     |       |      |       |     |
|-----------------|---|-------|------|-------|-----|-------|------|-------|-----|
| $t, \text{ с}$  | 0 | 0,125 | 0,25 | 0,375 | 0,5 | 0,625 | 0,75 | 0,875 | 1,0 |
| $x, \text{ см}$ | 2 | 1,4   | 0    | -1,4  | -2  | -1,4  | 0    | 1,4   | 2   |

Выберите два верных утверждения, соответствующие результатам этих измерений.

1. Период колебаний равен 0,5 с.
2. Частота колебаний равна 1 Гц.
3. Скорость груза минимальна в момент времени  $t = 0,75$  с.
4. Кинетическая энергия груза максимальна только в момент времени  $t = 0,25$  с.
5. Кинетическая энергия груза максимальна в моменты времени  $t = 0,25$  с и  $t = 0,75$  с.

### Решение

1. Период колебаний  $T = 2(0,75 - 0,25) = 1$  с;
2. Частота колебаний  $\nu = 1/T = 1$  Гц;
3. Скорость груза максимальна при  $t_1 = 0,25$  с и  $t_2 = 0,75$  с;
4. Кинетическая энергия груза максимальна в те же моменты времени, что и скорость груза т.е.  $t_1 = 0,25$  с и  $t_2 = 0,75$  с;

25. Пуля вылетела из пружинного пистолета горизонтально с некоторой высоты. Через 1,5 с скорость пули оказалась направленной под углом  $45^\circ$  к горизонту. Чему равна начальная скорость пули?

### Решение

$$v_x = \text{const}; \quad \text{при } \alpha = 45^\circ; \quad v_{y(\tau)} = v_{x(\tau)} = g\tau = 15 \frac{\text{М}}{\text{с}}; \quad \Rightarrow \quad v_0 = 15 \frac{\text{М}}{\text{с}}$$

26. Две частицы с одинаковыми зарядами и отношением масс  $\frac{m_1}{m_2} = 2$  попадают в однородное магнитное поле, вектор магнитной индукции которого перпендикулярен векторам скорости частиц. Кинетическая энергия первой частицы в 4 раза больше, чем у второй. Чему равно отношение радиусов кривизны траекторий  $\frac{R_1}{R_2}$  первой и второй частиц в магнитном поле? Ответ округлите до десятых.

Решение

$$\left. \begin{aligned} qv_1 B &= \frac{m_1 v_1^2}{R_1}; \\ qv_2 B &= \frac{m_2 v_2^2}{R_2}; \end{aligned} \right\} \begin{aligned} R_1 &= \frac{m_1 v_1}{qB}; \\ R_2 &= \frac{m_2 v_2}{qB}; \end{aligned} \left\} \begin{aligned} \frac{R_1}{R_2} &= \frac{m_1 v_1}{m_2 v_2} = 2 \frac{v_1}{v_2}; \\ \frac{K_1}{K_2} &= \frac{m_1 v_1^2}{m_2 v_2^2} = 4 = 2 \frac{v_1^2}{v_2^2}; \end{aligned} \Rightarrow \frac{R_1}{R_2} = 2\sqrt{2} \approx 2,82;$$

$$\left. \begin{aligned} K_1 &= \frac{m_1 v_1^2}{2}; \\ K_2 &= \frac{m_2 v_2^2}{2}; \end{aligned} \right\} \begin{aligned} \frac{K_1}{K_2} &= \frac{m_1 v_1^2}{m_2 v_2^2}; \\ 4 &= 2 \frac{v_1^2}{v_2^2}; \end{aligned} \Rightarrow \frac{v_1}{v_2} = \sqrt{2};$$

27. Карандаш высотой 9 см расположен перпендикулярно главной оптической оси тонкой собирающей линзы на расстоянии 50 см от линзы. Оптическая сила линзы 4 дптр. Найдите высоту изображения карандаша.

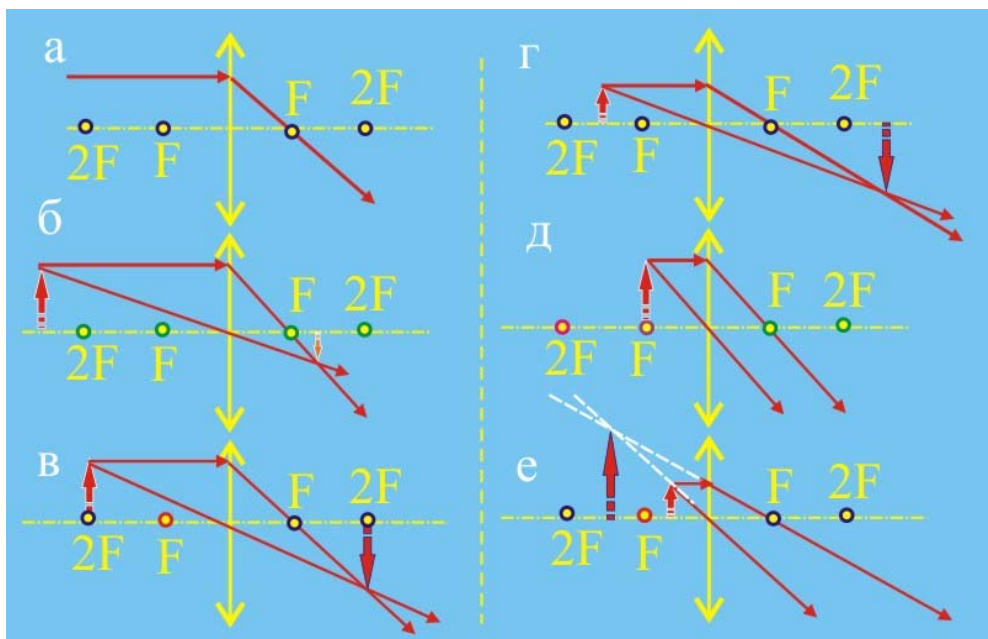
Решение

1. Фокусное расстояние линзы:

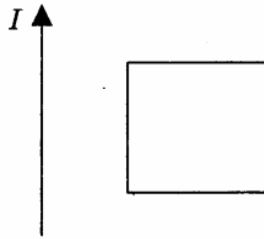
$$F = \frac{1}{D} = 25 \text{ см};$$

2. Предмет расположен на двойном фокусном расстоянии от линзы, поэтому

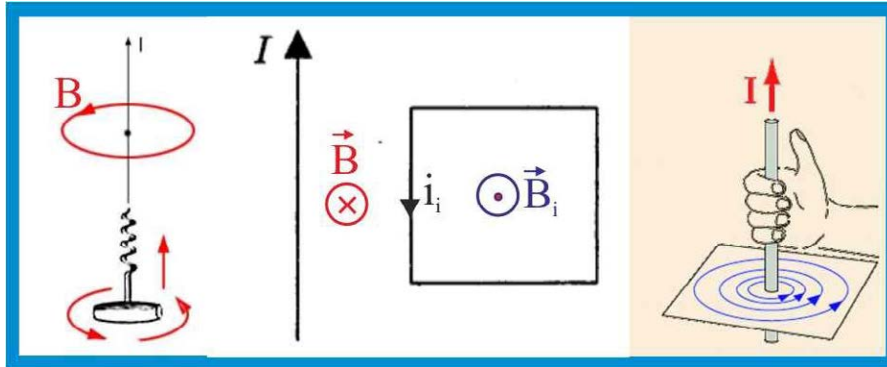
$$F = \frac{ab}{a+b}; \quad a = 50 \text{ см}; \quad b = \frac{Fa}{a-F} = \frac{25 \cdot 50}{50-25} = 50 \text{ см}; \quad a = b; \Rightarrow H = h = 9 \text{ см};$$



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:

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

29. Бруску, находящемуся на наклонной плоскости с углом наклона к горизонту  $30^\circ$ , сообщили направленную вверх вдоль наклонной плоскости скорость  $5 \text{ м/с}$ . Коэффициент трения между бруском и плоскостью  $0,3$ . Какое расстояние пройдёт брусок до остановки?

Решение

$$\frac{mv^2}{2} = mgh + \mu mg \cos \alpha l = mg l \sin \alpha + \mu mg l \cos \alpha;$$

$$l = \frac{v^2}{2g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)} = \frac{25}{20(0,5 + 0,26)} \approx 1,64 \text{ м};$$

30. За какое время можно растопить в алюминиевой кастрюле массой 300 г 1,5 кг льда, имеющего начальную температуру  $-5^\circ\text{C}$ , на плитке мощностью 600 Вт с КПД 30%?

### Решение

1. Исходные данные:

$$m_1 = 0,3\text{кг}; \quad m_2 = 1,5\text{кг}; \quad c_1 = 900 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}; \quad c_2 = 2100 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}; \quad \lambda = 3,3 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}};$$

2. Уравнение теплового баланса:

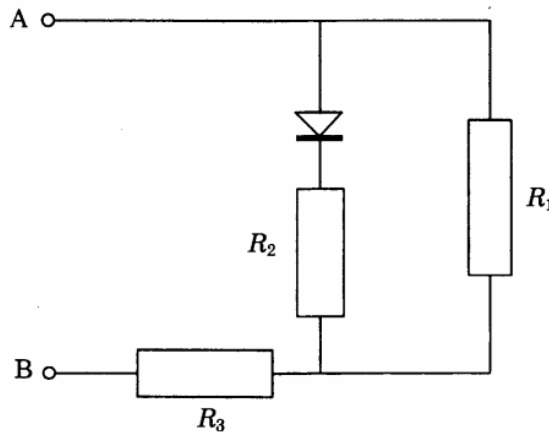
$$\eta P \tau = c_1 m_1 \Delta T + c_2 m_2 \Delta T + m_2 \lambda; \quad \tau = \frac{\Delta T (c_1 m_1 + c_2 m_2) + \lambda m_2}{\eta P};$$

$$\tau = \frac{5(900 \cdot 0,3 + 2100 \cdot 1,5) + 3,3 \cdot 10^5 \cdot 1,5}{0,3 \cdot 600} \approx 47,4 \text{мин};$$

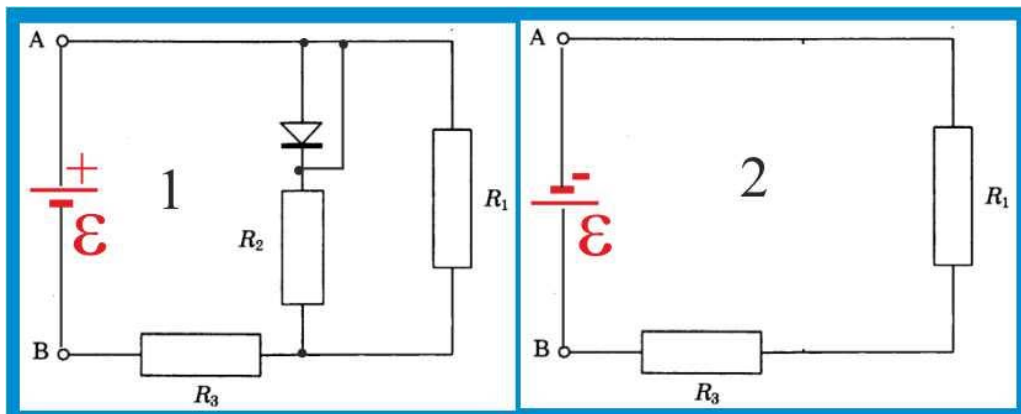
31. Определите, какая мощность выделяется на сопротивлении  $R_1$  участка цепи, показанного на рисунке,

- а) при подключении ЭДС  $\mathcal{E} = 15\text{ В}$  положительным полюсом к точке А, отрицательным полюсом — к точке В;  
 б) при подключении ЭДС  $\mathcal{E} = 15\text{ В}$  положительным полюсом к точке В, отрицательным — к точке А.

Сопротивление  $R_1 = 12\text{ Ом}$ ,  $R_2 = 8\text{ Ом}$ ,  $R_3 = 15\text{ Ом}$ . Внутренним сопротивлением источника пренебречь, сопротивление диода в прямом направлении пренебрежимо мало, в обратном направлении очень велико.



### Решение



1. В первом случае диод обладает сравнительно с резисторами очень малым сопротивлением и его можно перемкнуть:

$$R_{12} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{12 \cdot 8}{20} = 4,8 \text{ Ом}; \quad R_{123} = 19,8 \text{ Ом}; \quad I_3 = \frac{\varepsilon}{R_{123}} = 0,758 \text{ А};$$

$$U_{R(3)} = I_3 R_3 = 11,36 \text{ В}; \quad U_{R(12)} = \varepsilon - U_{R(3)} = 3,64 \text{ В};$$

$$I_{R(1)} = \frac{U_{R(12)}}{R_1} = 0,303 \text{ А}; \quad P_1 = I_{R(1)}^2 R_1 \approx 1,1 \text{ Вт};$$

2. Во втором случае подключения ЭДС диод обладает большим сопротивлением и его можно убрать из рассмотрения, тогда:

$$I_{R(1)} = \frac{\varepsilon}{R_1 + R_3} \approx 0,56 \text{ А}; \quad P_2 = I_1^2 R_1 \approx 3,7 \text{ Вт};$$


---

**32.** Покоящееся ядро урана испустило  $\alpha$ -частицу. Кинетическая энергия  $\alpha$ -частицы составила 6 МэВ. Зная массу  $\alpha$ -частицы  $m = 6,645 \cdot 10^{-27}$  кг и массу образовавшегося ядра  $M = 2,3 \cdot 10^{-25}$  кг, найдите скорость образовавшегося ядра.

### Решение

1. Скорость  $\alpha$ -частицы:

$$K_\alpha = 6 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} = 9,6 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}; \quad K_\alpha = \frac{m_\alpha v_\alpha^2}{2}; \quad v_\alpha = \sqrt{\frac{2K_\alpha}{m_\alpha}};$$

$$v_\alpha = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,6 \cdot 10^{-13}}{6,645 \cdot 10^{-27}}} \approx 1,7 \cdot 10^7 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

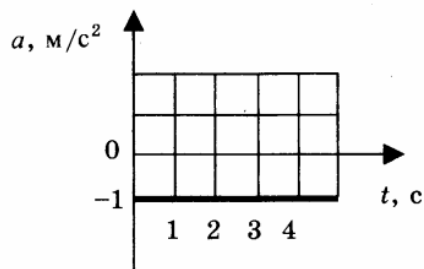
2. Скорость ядра из закона сохранения импульса в проекции на направление движения  $\alpha$ -частицы:

$$m_\alpha v_\alpha = M u; \quad u = \frac{m_\alpha v_\alpha}{M} \approx \frac{6,645 \cdot 10^{-27} \cdot 1,7 \cdot 10^7}{2,3 \cdot 10^{-25}} \approx 4,9 \cdot 10^5 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$


---

## Вариант 12

1. Используя график зависимости ускорения тела от времени, определите скорость тела через 3 секунды после начала движения, считая, что скорость тела в начальный момент равна 9 м/с.



- 1) 5 м/с  
2) 6 м/с  
3) 7 м/с  
4) 9 м/с

**Решение**

$$v(t) = v_0 - at; \quad v_3 = 9 - 3 = 6 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

2. Сила тяжести, действующая на Земле на кубик объемом 0,1 м<sup>3</sup>, равна 900 Н. Плотность кубика равна

- 1) 9 кг/м<sup>3</sup>  
2) 90 кг/м<sup>3</sup>  
3) 900 кг/м<sup>3</sup>  
4) 9000 кг/м<sup>3</sup>

**Решение**

$$m = \frac{mg}{g} = 90 \text{ кг}; \quad \rho = \frac{m}{V} = \frac{90}{0,1} = 900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

3. Две тележки массами 20 кг и 30 кг движутся навстречу друг другу, первая со скоростью 1 м/с, вторая — со скоростью 1,5 м/с. Чему равен модуль импульса системы этих тел после абсолютно неупругого удара?

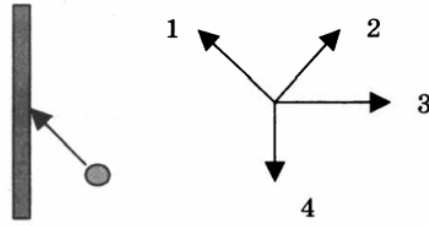
**Решение**

1. При абсолютно неупругом ударе тела будут, в соответствии с законом сохранения импульса, двигаться совместно в сторону второго тела. По сути, результирующий импульс системы будет равен сумме начальных импульсов тел:

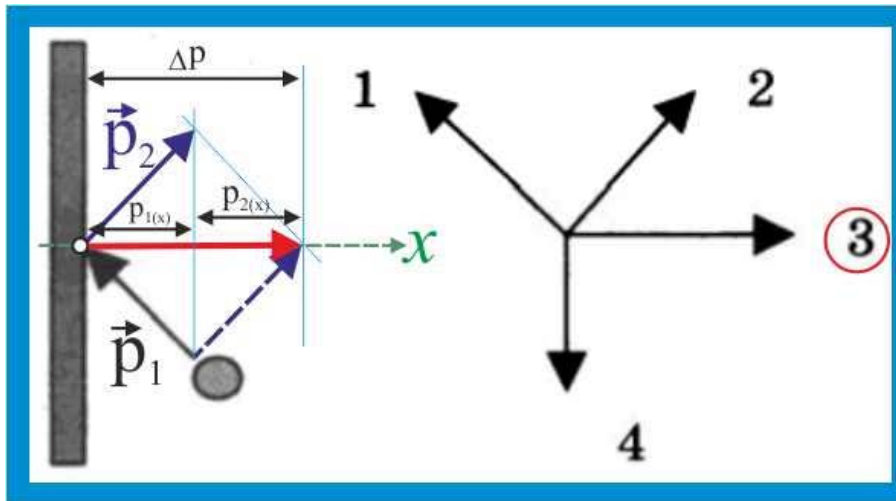
$$p = (v_2 - v_1)(m_1 + m_2) = 0,5 \cdot 50 = 25 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}};$$

4. Шар движется под углом к стене и упруго с ней сталкивается, как показано на рисунке. Как направлен вектор изменения импульса шара в результате столкновения?





Решение

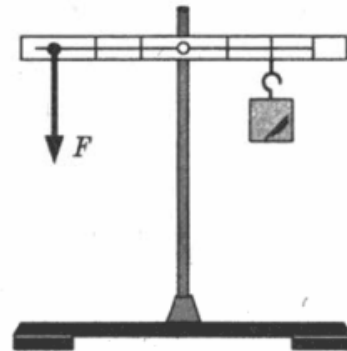


5. Масса груза, подвешенного к рычагу, равна 0,9 кг. Рычаг находится в равновесии, если к нему приложена сила  $F$ , как показано на рисунке. Чему равно значение силы  $F$ ?

Решение

1. Уравнение моментов сил, приложенных к рычагу относительно оси, проходящей через точку подвеса перпендикулярно плоскости чертежа:

$$F l_1 = mg l_2; \quad F = mg \frac{l_2}{l_1} = 9 \frac{2}{3} = 6 \text{ Н};$$



6. Небольшой шар массой  $m$ , подвешенный к пружине, совершает колебания с периодом  $T$  и амплитудой  $x_0$ . Что произойдет с частотой и максимальной кинетической энергией груза, если при неизменной амплитуде уменьшить массу?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличится  
2) уменьшится  
3) не изменится

Решение

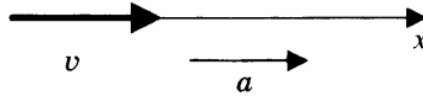
1. Частота колебаний:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}; \quad \nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}; \quad m \downarrow; \nu \uparrow; \quad \mapsto (1);$$

2. Кинетическая энергия шара:

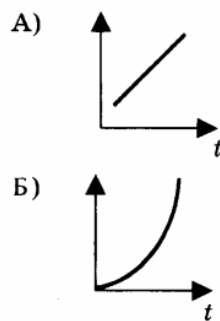
$$P_{\max} = \frac{kA^2}{2} = K_{\max}; \quad A = \text{const}; \quad \Rightarrow \quad K_{\max} = \text{const}; \quad \mapsto \quad (3);$$

7. Тело движется прямолинейно с постоянным ускорением.



Установите соответствие между графиками и физическими величинами, зависимости которых от времени эти графики могут представлять. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ГРАФИКИ



ФИЗИЧЕСКИЕ  
ВЕЛИЧИНЫ

- 1) импульс тела
- 2) равнодействующая сила
- 3) кинетическая энергия тела
- 4) ускорение тела

**Решение**

А. Зависимость импульса тела от времени:

$$p = mv = mat; \quad \mapsto \quad (1);$$

Б. зависимость кинетической энергии тела от времени:

$$K = \frac{mv^2}{2} = m \frac{(at)^2}{2}; \quad \Rightarrow \quad K \sim t^2; \quad \mapsto \quad (3);$$

8. Какое утверждение является справедливым?

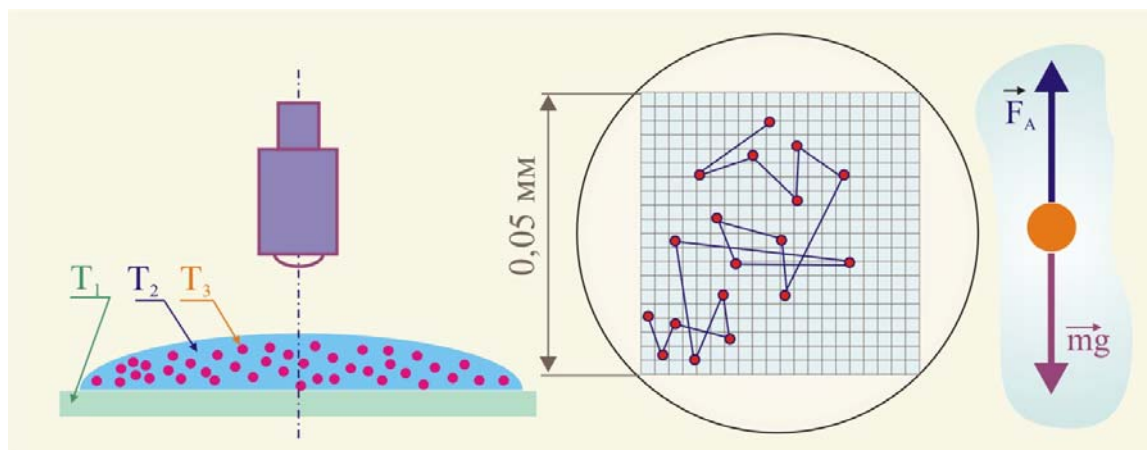
А. Броуновское движение наблюдается только в газах.

Б. С увеличением температуры интенсивность броуновского движения возрастает.

- |             |               |
|-------------|---------------|
| 1) только А | 3) и А, и Б   |
| 2) только Б | 4) ни А, ни Б |

**Решение**

1. Наблюдать воочию модель теплового движения молекул посчастливилось не физику, не химику, а ботанику, Роберту Броуну (1773 – 1858), хранителю научной библиотеки Королевской академии. Возвратившись из очередной географической экспедиции, Броун в тиши лондонского кабинета в 1827 г. изучал посредством микроскопа добытые экземпляры растений. Очередь дошла до цветочной пыльцы, представляющей собой, по сути, мелкодисперсные крупинки. Капнув на покровное стеклышко капельку воды, Броун внёс туда некоторое количество цветочной пыльцы. Посмотрев в микроскоп, Броун обнаружил, что в фокальной плоскости микроскопа происходит непонятное.



2. Частицы пыли постоянно перемещались хаотичным образом, не позволяя исследователю их рассмотреть. Первое, что пришло в голову ботанику – конвективные потоки. Разные температуры стекла  $T_1$ , воды в капле  $T_2$  и самих частичек  $T_3$  вполне могли вызвать конвекционные тепловые потоки, которые и увлекали объекты наблюдения. Выждав время, когда температуры должны были сравняться, Броун снова устремил свой пытливый взор в микроскоп. Ничего не изменилось. Пыльца продолжала сновать. Пришла новая идея. На этот раз под подозрение попали английские кэбы, повозки для перевозки грузов и пассажиров, снабжённые деревянными колёсами с железными ободьями. Как предположил Броун, катаясь по брусчатке мостовой, колёса экипажей содрогали землю и здания. Было решено эксперимент перенести в загородный дом, где нет кэбов, брусчатки и вообще, там спокойнее, чем в Лондоне. Но и эта уловка не принесла желаемых результатов. Необъяснимая суeta частиц продолжалась. Исчерпав свои возможности усмирить непокорные пылинки, Броун решил поведать о своих наблюдениях коллегам. Опубликованная Броуном статья имела типичное для того неторопливого времени название: «Краткий отчёт о микроскопических наблюдениях, проведенных над частицами в июне и августе 1827 г., содержащимися в пыльце растений; и о существовании активных молекул в органических и неорганических телах».

3. По началу статья Броуна вызвала у специалистов недоумение, отчасти, наверное, ввиду необычности наблюдаемого явления, отчасти вследствие пространственных разглагольствований автора о «живой силе», присущей органическим веществам. Вместе с тем, спустя некоторое время, факт нестандартного поведения частиц заинтересовал физиков. Голландец Корнабель в 1880 г. и француз Гуи в 1888 г. повели более тщательные наблюдения, из которых стало ясно, что степень подвижности частиц определяется их массой и температурой. Первоначально предположили, что наблюдаемые частицы движутся от ударов, получаемых от молекул окружающей их жидкости. При несоизмеримо больших размерах частицы получают одновременно множество ударов со всех сторон, поэтому результирующий импульс должен быть равным или близким к нулю. В этой связи заметного движения крупных частиц не наблюдается. Если рассматривать частицы мелкие, как это случилось в опытах Броуна, то количество единичных импульсов, получаемых частицей с разных направлений, будет уже не одинаковым. Во-первых, число соударений станет несимметричным, во-вторых скорости с которыми будут подлетать молекулы жидкости к частице тоже будут неодинаковыми, поскольку они являются результатом обмена импульсами с соседними молекулами жидкости. Такая возможная двойная асимметрия сообщает частице некий результирующий импульс, под действием которого она получает некоторое перемещение  $r$ , которое будет про-

должаться, пока новый результирующий импульс не изменит направление её перемещения.

Исследователи влияние внутренних течений жидкости отбросили сразу, потому что в области течения частички должны перемещаться в одном или близком направлении, на опыте такого не наблюдалось. Соседние частицы двигались совершенно независимо.

4. Ботанику, можно сказать, повезло. Броун совершенно случайно в качестве объектов исследования выбрал частицы, на которые в воде действовали две силы: сила тяжести и сила Архимеда, причём модули этих сил были практически одинаковы. Частицы находились в воде в состоянии безразличного равновесия. Физики совершенно справедливо предположили, что броуновское движение, так оно было названо в честь человека, впервые его наблюдавшего. Причиной такого движения являются беспорядочные столкновения частиц, в результате которых они обмениваются своими импульсами и энергиями, хаотически меняя направления своих перемещений, так что средняя величина перемещения

$$\langle r \rangle = 0.$$

Если перемещение броуновских частиц охарактеризовать величиной  $\langle r^2 \rangle$ , то она уже не будет эквивалентна нулю и для неё можно записать следующее уравнение движения

$$m \frac{d^2 \langle r^2 \rangle}{dt^2} + \frac{1}{\zeta} \frac{d \langle r^2 \rangle}{dt} - 2m \left\langle \left( \frac{dr}{dt} \right)^2 \right\rangle = 0,$$

где  $m$  – масса частицы,  $\zeta$  – коэффициент подвижности частицы, связывающий её скорость  $v$  с силой сопротивления  $F_\mu$

$$v = \frac{dr}{dt} = \zeta F_\mu.$$

Сила сопротивления сферических частиц в жидкости радиусом  $R$  определяется законом Стокса

$$\zeta = \frac{1}{6\pi\eta R},$$

где  $\eta$  – коэффициент вязкости жидкости. Первое слагаемое в предыдущем уравнении представляет собой удвоенное значение кинетической энергии частицы

$$2K_0 = m \frac{d \langle r^2 \rangle}{dt^2} = m \langle v^2 \rangle.$$

Кинетическую энергию частицы можно выразить через термодинамические параметры, абсолютную температуру  $T$  и постоянную Больцмана  $k_B$

$$\frac{m \langle v^2 \rangle}{2} = \frac{i}{2} k_B T,$$

где  $i = 3$  – число степеней свободы частицы. Решение уравнения движения частицы с учётом полученных соотношений имеет вид:

$$\frac{d}{dt} \langle r^2 \rangle = 2k_B T \zeta \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{t}{mB}\right) \right\}.$$

Величина  $\exp(-t/mB)$  в нормальных условиях пренебрежимо мала, с учётом того, что при наблюдениях за броуновскими частицами  $t \gg 10^{-5}$  с. В этом случае, уравнение, характеризующее квадрат среднего перемещения, переписывается следующим образом

$$\Delta \langle r^2 \rangle = 2k_B T \zeta \Delta t$$



### Решение

1. Внутренняя энергия газа:

$$\Delta U = \frac{i}{2} \nu R (T_2 - T_1),$$

с другой стороны:

$$pV = \nu RT; \Rightarrow \left. \begin{array}{l} T_1 = \frac{p_1 V_1}{\nu R}; \\ T_2 = \frac{p_2 V_2}{\nu R}; \end{array} \right\} \Rightarrow \Delta U = \frac{i}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1) = \frac{i}{2} (10^5 \cdot 4 \cdot 10^{-2} - 2 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot 10^{-2});$$
$$p_1 V_1 = p_2 V_2; \Rightarrow T_1 = T_2; \Rightarrow \Delta U = 0;$$

---

**11. Идеальный одноатомный газ изотермически сжимают. Как при этом изменяются его давление и внутренняя энергия?**

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличивается  
2) уменьшается

3) не изменяется

### Решение

$$T_1 = T_2; \quad V_1 > V_2;$$

1. Изменение давления:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2; \Rightarrow p_2 = p_1 \frac{V_2}{V_1}; \quad \frac{V_2}{V_1} < 1; \Rightarrow p_2 > p_1; \quad \mapsto (1);$$

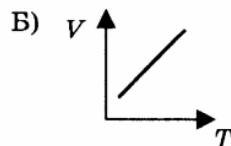
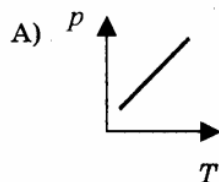
2. Внутренняя энергия идеального газа:

$$\Delta U = \frac{i}{2} \nu R (T_2 - T_1), \quad T_2 - T_1 = 0; \Rightarrow \Delta U = 0; \quad \mapsto (3);$$

---

**12. Установите соответствие между изображёнными в первом столбце графиками различных изопроцессов и названием изопроцесса.**

ГРАФИКИ



НАЗВАНИЕ ИЗОПРОЦЕССА

- 1) изохорный  
2) изобарный  
3) изотермический  
4) адиабатный

### Решение

А. Процесс изохорный  $\mapsto (1);$

Б. Процесс изобарный  $\mapsto (2);$

---

**13. На рисунке изображены два одинаковых по модулю электрических заряда. Правильное направление напряжённости электрического поля, создаваемого этими зарядами в точке О (равноудалённой от обоих зарядов), показывает стрелка**







19. Ядро атома кальция  ${}^{42}_{20}\text{Ca}$  состоит из

- 1) 42 протонов, 20 нейтронов
- 2) 20 протонов, 42 нейтронов
- 3) 22 протонов, 20 нейтронов
- 4) 20 протонов, 22 нейтронов

**Решение**

$$N_p = Z = 20; \quad N_n = A - Z = 22; \quad \mapsto \quad (4);$$

---

20. Энергия рентгеновского фотона  $2 \cdot 10^{-14}$  Дж. При увеличении энергии фотона в 2 раза длина волны рентгеновского излучения

- 1) увеличится в 2 раза
- 2) уменьшится в 2 раза
- 3) не изменится
- 4) увеличится в 4 раза

**Решение**

$$\varepsilon_f = hv = \frac{hc}{\lambda}; \quad \varepsilon_f \sim \frac{1}{\lambda}; \quad \Rightarrow \quad \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{1}{2}; \quad \mapsto \quad (2);$$

---

21. В образце актиния с периодом полураспада 22 года содержится  $6 \cdot 10^{13}$  атомов. Сколько времени должно пройти для того, чтобы в образце остались нераспавшимися четверть начального количества атомов?

**Решение**

1. В соответствии с законом радиоактивного распада:

$$N = \frac{N_0}{2^{\frac{t}{T_{1/2}}}}; \quad \frac{N_0}{N} = 2^{\frac{t}{T_{1/2}}}; \quad 4 = 2^{\frac{t}{22}}; \quad 2^2 = 2^{\frac{t}{22}}; \quad \frac{t}{22} = 2; \quad \Rightarrow \quad t = 44 \text{ года} = 2T_{1/2};$$

---

22. При наблюдении фотоэффекта уменьшили интенсивность падающего света, не изменяя длины волны. Как при этом изменятся частота излучения фотонов и количество выбиваемых за 1 с фотоэлектронов?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

**Решение**

1. Частота излучения фотонов, их энергия, определяются внутриатомными процессами, и не зависят от условия их распространения, например от наличия диафрагмы:

$$\varepsilon_f = hv = E_n - E_m; \quad \mapsto \quad (3)$$

2. Число фотоэлектронов выбиваемых в единицу времени уменьшится, т.к. уменьшится число падающих на фотокатод фотонов

$$\frac{\Delta N_e}{\Delta t} = f(\Phi); \quad \mapsto \quad (2);$$

---

23. Измеряя давление  $p$ , температуру  $T$  и концентрацию молекул  $n$  газа, для которого выполняются условия идеальности, можно определить

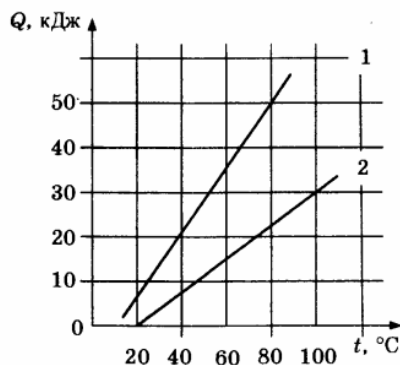
- 1) гравитационную постоянную  $G$
- 2) постоянную Больцмана  $k$
- 3) постоянную Планка  $h$
- 4) постоянную Ридберга  $R$

**Решение**

$$p = nk_B T; \Rightarrow k_B = \frac{p}{nT}; \mapsto (2);$$

**24.** На графике представлены результаты измерения количества теплоты  $Q$ , затраченного на нагревание 1 кг вещества 1 и 1 кг вещества 2, при различных значениях температуры  $t$  этих веществ. Выберите два утверждения, соответствующие результатам этих измерений.

1. Теплоёмкости двух веществ одинаковы.
2. Теплоёмкость первого вещества больше теплоёмкости второго вещества.
3. Для изменения температуры 1 кг вещества 1 на  $20^\circ$  необходимо количество теплоты 6000 Дж.
4. Для изменения температуры 1 кг вещества 2 на  $10^\circ$  необходимо количество теплоты 3750 Дж.
5. Начальные температуры обоих веществ равны  $0^\circ\text{C}$ .



**Решение**

$$\delta Q = cm\Delta T; \quad c_1 = \frac{\delta Q_1}{m\Delta T_1} \approx \frac{(50-20) \cdot 10^3}{1(80-40)} \approx 750 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}; \quad c_2 \approx \frac{3 \cdot 10^4}{80} \approx 375 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}};$$

$$c_1 > c_2; \mapsto (2);$$

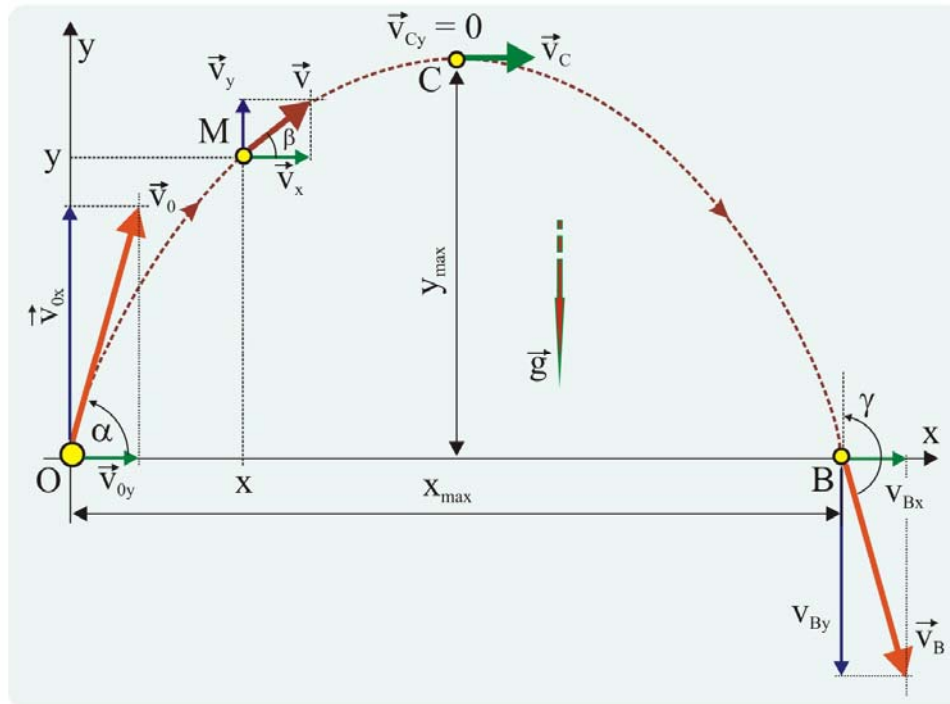
$$\delta Q_1 = c_1 m \Delta T_1 = 750 \cdot 1 \cdot 20 = 1500 \text{ Дж};$$

$$\delta Q_2 = c_2 m \Delta T_2 \approx 375 \cdot 1 \cdot 10 = 3750 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}; \mapsto (4);$$

**25.** Мяч брошен с начальной скоростью 12 м/с под углом  $60^\circ$  к горизонту. Точка броска и точка падения мяча находятся на одном уровне. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определите дальность полёта мяча. Ответ округлите до целых.

**Решение**

1. Тело, брошенное в поле земного тяготения с начальной скоростью  $v_0$ , направленной под углом  $\alpha$  к горизонту будет двигаться по криволинейной траектории, лежащей в плоскости, перпендикулярной поверхности земли.



2. Существенно отметить, движение протекает при постоянном по модулю и направлению ускорении  $\vec{g}$ . Это даёт возможность разложить криволинейное движение на два более простых: равномерное вдоль горизонтальной оси т.к.  $g_x = 0$  и ускоренное по вертикальной оси, где проявляется двойко ускорение свободного падения.

Движение исследуемого тела относительно вертикальной оси из начальной точки O в точку C – равнозамедленное, а из точки C в точку B – равноускоренное с ускорением свободного падения  $\vec{g}$ . В начальный момент времени при  $t = 0$  имеем:  $x_0 = 0, y_0 = 0, v_{0x} = v_0 \cdot \cos \alpha, v_{0y} = v_0 \cdot \sin \alpha, a_x = 0, a_y = -g$ .

3. Для проекций скорости в любой момент времени, например в точке M, движения можно записать следующие уравнения

$$\begin{cases} v_x(t) = v_0 \cos \alpha, \\ v_y(t) = v_0 \sin \alpha - gt. \end{cases}$$

4. Уравнения движения запишем, используя особенности равномерного перемещения точки по горизонтали и равноускоренного по вертикали

$$\begin{cases} x(t) = v_0 t \cos \alpha, \\ y(t) = v_0 t \sin \alpha - \frac{gt^2}{2}. \end{cases}$$

5. Время подъёма тела в верхнюю точку траектории C определим, используя второе уравнение системы для скоростей при условии:  $v_y = 0$

$$v_0 \sin \alpha - gt_c = 0, \Rightarrow t_c = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}.$$

6. Определим далее полное время полёта

$$\tau = 2t_c = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}.$$

При подстановке времени полёта  $\tau$  в первое уравнение горизонтальной координаты получим максимальную дальность броска:

$$x_{\max} = \frac{2v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g} \approx \frac{144 \cdot 0,866}{10} \approx 12,47\text{м};$$

26. Идеальная тепловая машина работает по циклу Карно с температурой нагревателя 307 °С и температурой холодильника 348 К и совершает за один цикл работу 3 кДж. Чему равно количество теплоты, переданное за один цикл рабочим телом холодильнику?

### Решение

1. КПД тепловой машины:

$$\eta = 1 - \frac{T_X}{T_H} = 1 - \frac{348}{580} = 0,4;$$

2. Теплота, переданная холодильнику:

$$\eta = \frac{A}{Q_H}; \Rightarrow Q_H = \frac{A}{\eta} = 7,5\text{кДж}; \quad \eta = 1 - \frac{Q_X}{Q_H}; \Rightarrow Q_X = (1 - \eta)Q_H = 4,5\text{кДж};$$

27. Две частицы, отношение масс которых  $\frac{m_1}{m_2} = 2$ , отноше-

ние зарядов  $\frac{q_1}{q_2} = \frac{1}{2}$ , попадают в однородное магнитное

поле, вектор магнитной индукции которого перпендикулярен векторам скорости частиц. Кинетические энергии частиц одинаковые. Чему равно отношение радиусов кри-

визны траекторий  $\frac{R_1}{R_2}$  первой и второй частиц в магнит-

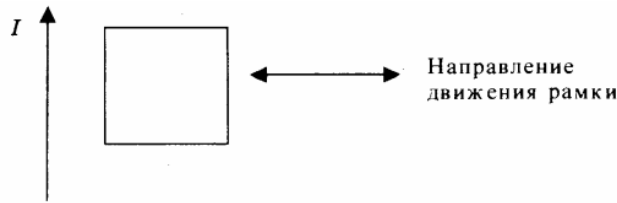
ном поле? Ответ округлите до десятых.

### Решение

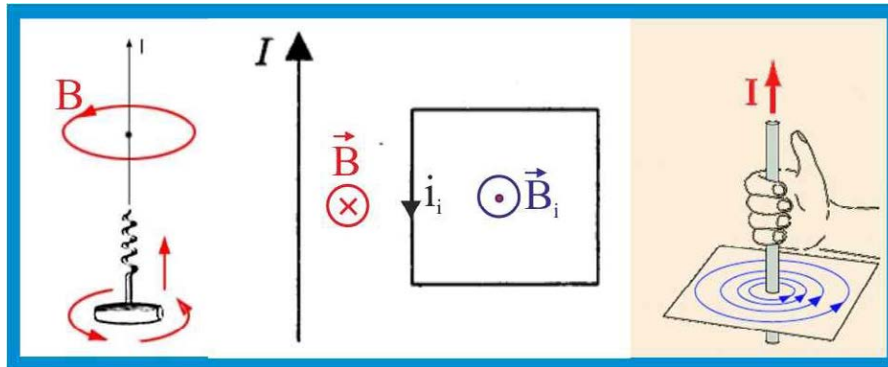
$$\left. \begin{aligned} q_1 v_1 B &= \frac{m_1 v_1^2}{R_1}; \\ q_2 v_2 B &= \frac{m_2 v_2^2}{R_2}; \end{aligned} \right\} \begin{aligned} R_1 &= \frac{m_1 v_1}{q_1 B}; \\ R_2 &= \frac{m_2 v_2}{q_2 B}; \end{aligned} \left\{ \begin{aligned} \frac{R_1}{R_2} &= \frac{m_1 q_2 v_1}{m_2 q_1 v_2} = 4 \frac{v_1}{v_2}; \\ \Rightarrow \frac{R_1}{R_2} &= 4 \cdot 0,7 \approx 2,8; \end{aligned} \right.$$

$$\left. \begin{aligned} K_1 &= \frac{m_1 v_1^2}{2}; \\ K_2 &= \frac{m_2 v_2^2}{2}; \end{aligned} \right\} \begin{aligned} \frac{K_1}{K_2} &= \frac{m_1 v_1^2}{m_2 v_2^2}; \quad 1 = 2 \frac{v_1^2}{v_2^2}; \quad \frac{v_1}{v_2} = \sqrt{0,5} = 0,707; \end{aligned}$$

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**



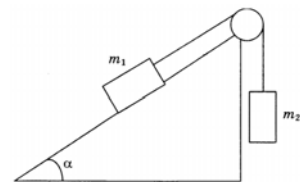
1. Направление магнитного поля, создаваемого прямолинейным током определяется правилом буравчика (правого винта).

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:

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

29. На рисунке изображена система грузов массами  $m_1 = 3$  кг и  $m_2 = 1$  кг, связанных невесомой и нерастяжимой нитью, перекинутой через блок. Угол наклона плоскости к горизонту  $\alpha = 30^\circ$ , коэффициент трения между грузом  $m_1$  и наклонной плоскостью 0,1. Определите силу натяжения нити.



**Решение**

1. Груз с массой  $m_1$ , расположенный на наклонной плоскости будет ускоренно спускаться с плоскости, потому что:

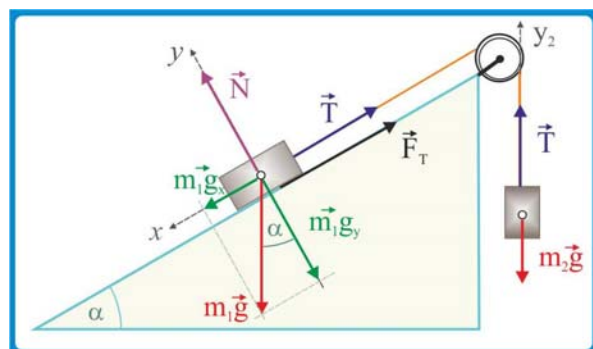
$$m_1 g_x = m_1 g \sin \alpha = 3 \cdot 10 \cdot 0,5 = 15 \text{ Н};$$

$$F_T = \mu m_1 g \cos \alpha = 0,1 \cdot 3 \cdot 10 \cdot 0,866 \approx 2,6 \text{ Н};$$

$$m_2 g = 10 \text{ Н};$$

$$F_T + m_2 g < m_1 g_x;$$

2. Запишем уравнения второго закона Ньютона в проекциях на направления движения связанных тел:



$$\left. \begin{aligned} m_1 g \sin \alpha - \mu m_1 g \cos \alpha - T &= m_1 a; \\ T - m_2 g &= m_2 a; \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{m_1 g (\sin \alpha - \mu \cos \alpha) - T}{m_1} = \frac{T - m_2 g}{m_2};$$

$$g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) - \frac{T}{m_1} = \frac{T}{m_2} - g; \quad 0,41g - \frac{T}{3} = T - g; \quad 1,41g = \frac{4}{3}T; \quad T \approx 10,6H;$$

**30.** Железный метеорит массой 80 кг при температуре 39 °С влетает со скоростью 1600 м/с в атмосферу. Считая, что на нагревание и плавление метеорита идёт 80% его кинетической энергии, определите, какая масса метеорита расплавится. Температура плавления железа 1539 °С, удельная теплота плавления железа 270 кДж/кг.

**Решение**

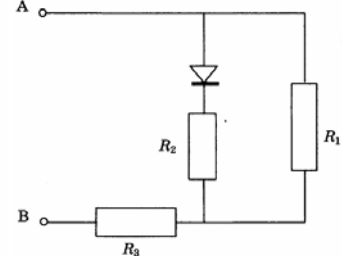
$$0,8 \frac{mv^2}{2} = cm\Delta T + m_x \lambda; \quad c \approx 640 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}; \quad \lambda = 2,7 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}; \quad \Delta T = 1500\text{К};$$

$$m_x = \frac{m}{\lambda} (0,4v^2 - c\Delta T) \approx \frac{80}{2,7 \cdot 10^5} (10^6 - 9,6 \cdot 10^5) \approx 12\text{кг};$$

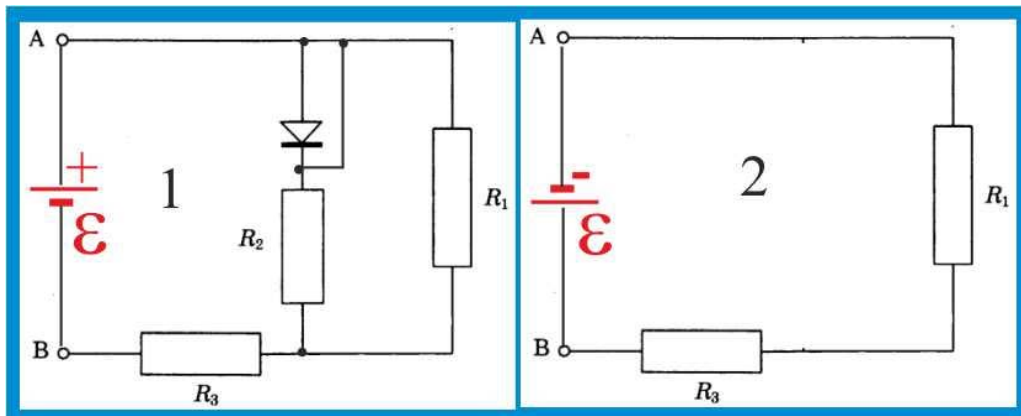
**31.** Определите, какая мощность выделяется на сопротивлении  $R_3$  участка цепи, показанного на рисунке,

- а) при подключении ЭДС  $\mathcal{E} = 15$  В положительным полюсом к точке А, отрицательным полюсом — к точке В;  
 б) при подключении ЭДС  $\mathcal{E} = 15$  В положительным полюсом к точке В, отрицательным — к точке А.

Сопротивление  $R_1 = 6$  Ом,  $R_2 = 4$  Ом,  $R_3 = 10$  Ом. Внутренним сопротивлением источника пренебречь, сопротивление диода в прямом направлении пренебрежимо мало, в обратном направлении очень велико.



**Решение**



1. В первом случае диод обладает сравнительно с резисторами очень малым сопротивлением и его можно перемкнуть:

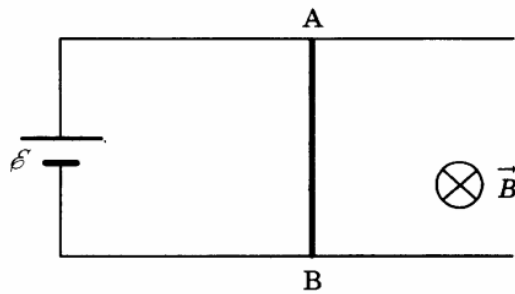
$$R_{12} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{6 \cdot 4}{10} = 2,4\text{Ом}; \quad R_{123} = 12,4\text{Ом}; \quad I_3 = \frac{\mathcal{E}}{R_{123}} \approx 1,21\text{А};$$

$$U_{R(3)} = I_3 R_3 = 12,1\text{В}; \quad P_1 = I_3^2 R_3 \approx 14,6\text{Вт};$$

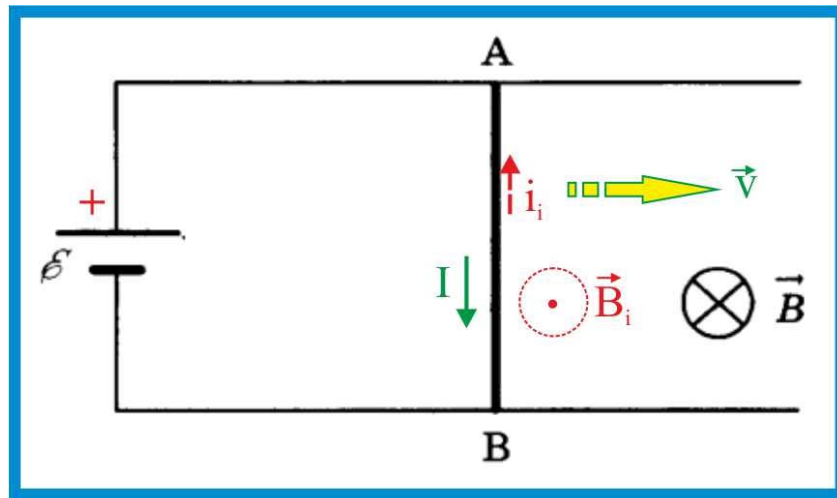
2. Во втором случае подключения ЭДС диод обладает большим сопротивлением и его можно убрать из рассмотрения, тогда:

$$I_{R(1)} = \frac{\varepsilon}{R_1 + R_3} \approx 0,93\text{A}; \quad P_2 = I_1^2 R_3 \approx 8,6\text{Вт};$$

32. Проводник АВ длиной 0,5 м может скользить по горизонтальным рельсам, подключённым к источнику тока с ЭДС 2 В. Однородное магнитное поле с индукцией 0,5 Тл направлено вертикально вниз, как показано на рисунке. С какой скоростью и в каком направлении нужно перемещать проводник АВ, чтобы сила тока через него была равна нулю?



Решение

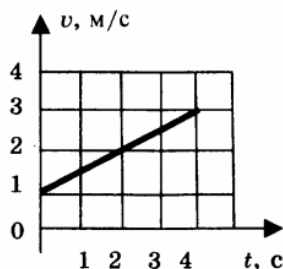


$$I = \frac{\varepsilon}{R}; \quad \varepsilon_i = -\frac{B\ell\Delta x}{\Delta t}; \quad \varepsilon_i = -Bv\ell; \quad i_i = -\frac{Bv\ell}{R}; \quad I + i_i = 0; \quad \Rightarrow \quad \varepsilon = Bv\ell;$$

$$v = \frac{\varepsilon}{B\ell} = \frac{2}{0,25} = 8 \frac{\text{М}}{\text{с}};$$

## Вариант 13

1. Используя график зависимости скорости тела от времени, определите скорость тела в начале 6-й секунды, считая, что характер движения не изменяется.



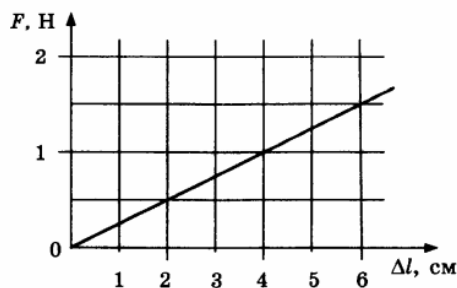
- 1) 2,5 м/с  
2) 3 м/с

- 3) 3,5 м/с  
4) 4 м/с

**Решение**

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{2}{4} = 0,5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}; \quad v_t = v_0 + at = 1 + 0,5 \cdot 5 = 3,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}; \quad \mapsto (3);$$

2. На рисунке представлен график зависимости силы упругости пружины от её удлинения.



Коэффициент жёсткости пружины равен

- 1) 0,25 Н/м  
2) 0,5 Н/м

- 3) 25 Н/м  
4) 50 Н/м

**Решение**

$$F = k\Delta l; \quad k = \frac{F}{\Delta l} \approx \frac{1,5}{6 \cdot 10^{-2}} = 25 \frac{\text{Н}}{\text{м}}; \quad \mapsto (3);$$

3. Маленький шарик падает вертикально вниз и ударяется о наклонную плоскость, затем отскакивает от неё в горизонтальном направлении. Импульс шарика перед ударом  $p_1 = 4 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$ , импульс шарика после удара  $p_2 = 3 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$ . Чему равен модуль изменения импульса шарика?

**Решение**

$$(\vec{p}_1; \vec{p}_2) = 90^\circ; \quad \Rightarrow \quad |\Delta \vec{p}| = \sqrt{p_1^2 + p_2^2} = 5 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}};$$





## Решение

1. Смещение маятника из положения равновесия:

$$x = A \cos \omega t = A \cos\left(\frac{2\pi}{T} t\right); \quad T = 2\pi \Rightarrow x = A \cos(\pi t); \quad \mapsto \quad (3)$$

2. Длина математического маятника, исходя из правила размерностей физических величин:

$$l = \frac{B}{g n^2}; \quad [l] = \text{м}; \quad [B] = \frac{\text{М}^2}{\text{с}^2}; \quad [g] = \frac{\text{М}}{\text{с}^2}; \quad [M] = \frac{\frac{\text{М}^2}{\text{с}^2}}{\frac{\text{М}}{\text{с}^2}} = \text{М}; \quad \mapsto \quad (1);$$

8. Идеальный газ, находящийся в закрытом сосуде, оказывает давление на его стенки. Это объясняется тем, что

- 1) молекулы прилипают к стенкам сосуда
- 2) идеальный газ имеет большую плотность
- 3) молекулы газа передают стенкам энергию
- 4) молекулы газа передают стенкам импульс

## Решение

1. Газ, запёртый в сосуд, оказывает давление на его стенки. А почему это происходит и каков механизм возникновения этого явления не вполне очевидно. Много путаницы в понимание вносят наши ощущения. Первое, что вызывает противоречивые впечатления, это ощущения атмосферного давления, вернее отсутствие его ощущений. Действительно на поверхности моря давление атмосферного столба воздуха составляет примерно  $p_0 \cong 10^5$  Па, это значит, что на каждый квадратный метр поверхности вне зависимости от её ориентации действует сила  $F \cong 10^5$  Н, а на площадку  $s = 1 \text{ см}^2$ , соответственно  $F \cong 10$  Н. Это много или мало? Достаточно, чтобы массе в 1 кг сообщить ускорение  $a \cong 10 \text{ м/с}^2$ . Почему же в таком случае мы не чувствуем этого давления? Это не совсем объективное ощущение. Наш организм начинает болезненно ощущать атмосферное давление при взлёте и посадке самолёта, например, особенно у людей с насморком. Это происходит от того, что давление по обе стороны барабанной перепонки неодинаково, вследствие чего она деформируется, провоцируя дискомфортные ощущения. В рабочем режиме носоглотки давление снаружи и внутри уха одинаково.

2. Как известно человек, в основном, информацию об окружающем мире получает по трём независимым каналам. Мы видим, слышим и обоняем. Последние два канала напрямую связаны с предметом настоящего рассмотрения, с молекулярной физикой. Наш слух устроен так, что волнообразные движения воздуха приводят в колебательное движение барабанную перепонку, которая подобно мембране микрофона является приёмником волн акустического диапазона 20 Гц – 20 кГц (в случае идеального слуха). Чувствительность барабанной перепонки такова, что наши органы слуха не воспринимают отдельных ударов молекул, которые путешествуют прямолинейно со скоростями, соизмеримыми со скоростями пули из современного огнестрельного оружия.

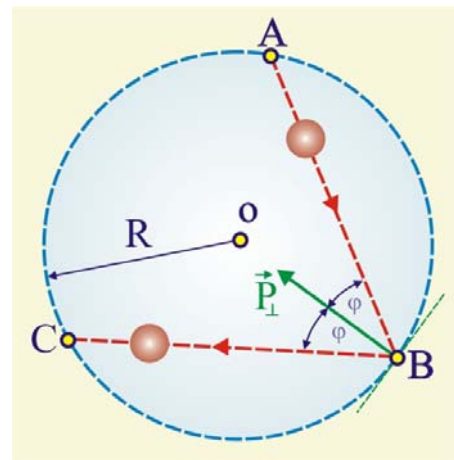
3. С пулями молекулы можно сравнивать только по скорости, что касается массы, то тут они не совпадают примерно на 23 порядка, если принять массу пули равной  $10^{-3}$  кг, а массу молекулы –  $10^{-26}$  кг. Импульс, передаваемый молекулой, будет на 23 порядка меньше, чем у пули, отсюда и столь разные эффекты. Это как при встрече комара с лобовым стеклом мчащейся автомашины. Эти два объекта получают равные импульсы, но с сильно разными последствиями для друг друга. Если бы наш слух, не к ночи бу-

дет сказано, стал бы «слышать» удары молекул воздуха о барабанную перепонку, то мы бы ощутили такой же звук как из телевизора, когда на него не поступает сигнала. Мы бы услышали, так называемый белый шум, состоящий из множества гармонических колебаний различных частот и амплитуд. Мы бы начали «слышать» атмосферное давление.

4. Что же такое давление газа? Почему оно возникает? Какие параметры микросостояния определяют его величину? На все это вопросы на количественной основе отвечает основное уравнение кинетической теории.

5. Уравнение называется основным, потому что с его помощью можно получить все газовые законы, установленные вначале экспериментально, и найти теоретически обоснованную количественную зависимость кинетической энергии молекул от температуры. Наконец, разобраться с физическим смыслом давления, одного из основных макропараметров, который, как и все прочие, определяется состоянием вещества на микроуровне.

6. Рассмотрим сферический объём идеального газа некоторого радиуса  $R$ , содержащий  $N^*$  молекул идеального газа. Состояние газа сопровождается соударениями молекул друг с другом и со стенками. Выделим мысленно из всего ансамбля хаотично движущихся молекул одну и предположим, что за рассматриваемый промежуток времени «меченная» молекула перемещается по траектории  $ABC$ , причём в точке  $B$  молекула взаимодействует со стенкой. После отскока молекула перемещается по хорде  $BC$ , при этом уравнение теоремы об изменении её импульса при абсолютно упругом ударе запишется в виде:



$$\Delta P_k = F_k \tau = 2m_0 v \cos \varphi.$$

7. Таким образом, наличие давления газа объясняется передачей стенкам сосуда импульсов хаотически движущихся молекул.

9. Имеются два кубика одинаковой массы, сделанные из разных материалов, причём удельная теплоёмкость вещества первого кубика больше удельной теплоёмкости вещества второго кубика. Первоначальная температура кубиков одинаковая. Если сообщить кубикам одинаковое количество теплоты, то можно утверждать, что
- 1) кубики нагреются до одинаковой температуры
  - 2) первый кубик нагреется до более высокой температуры
  - 3) второй кубик нагреется до более высокой температуры
  - 4) сравнить температуры кубиков можно, только зная их массу

**Решение**

$$Q = cm\Delta T; \quad \Delta T = \frac{Q}{cm}; \quad \left. \begin{array}{l} \Delta T_1 = \frac{Q}{c_1 m}; \\ \Delta T_2 = \frac{Q}{c_2 m}; \end{array} \right\}$$

$$\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} = \frac{c_2}{c_1}; \quad c_1 > c_2; \Rightarrow \Delta T_2 > \Delta T_1; \quad \mapsto (3);$$

10. Давление пара в помещении при температуре 5 °С равно 756 Па. Давление насыщенного пара при этой же температуре равно 880 Па. Чему равна относительная влажность воздуха? Ответ округлите до целых.

**Решение**

$$\varphi = \frac{p_{\text{п}}}{p_{\text{нп}}} = \frac{756}{880} = 0,859 \approx 0,86 \equiv (86\%);$$

11. В идеальном тепловом двигателе увеличилась работа, совершаемая газом за один цикл, при неизменном количестве теплоты, поступающем от нагревателя. Как при этом изменятся коэффициент полезного действия цикла и количество теплоты, отдаваемое за один цикл холодильнику? Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:  
 1) увеличится  
 2) уменьшится  
 3) не изменится

**Решение**

1. Коэффициент полезного действия тепловой машины:

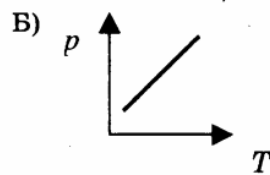
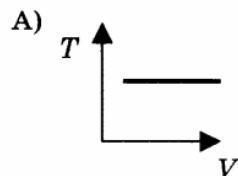
$$\eta = \frac{Q_{\text{н}} - Q_{\text{х}}}{Q_{\text{х}}} = \frac{A}{Q_{\text{х}}}; \quad A \uparrow; \eta \uparrow; \mapsto (1);$$

2. Количество теплоты, отданное за цикл холодильнику:

$$A = Q_{\text{н}} - Q_{\text{х}}; \quad Q_{\text{н}} = \text{const}; \quad A \uparrow; Q_{\text{х}} \downarrow; \mapsto (1);$$

12. Установите соответствие между изображенными в первом столбце графиками различных изопроцессов и названием изопроцесса.

**ГРАФИКИ**



**НАЗВАНИЕ**

**ИЗОПРОЦЕССА**

- 1) изохорный
- 2) изобарный
- 3) изотермический
- 4) адиабатный

**Решение**

- А. Процесс изотермический:  $T = \text{const}; \quad pV = \text{const}; \quad \mapsto (3);$

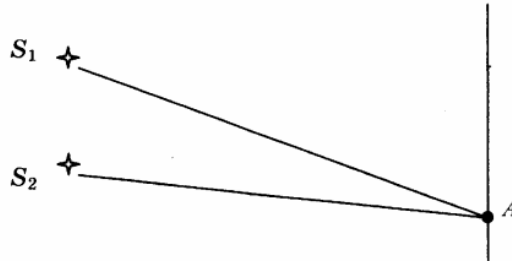
- Б. Процесс изохорный:  $V = \text{const}; \quad \frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}; \quad p_2 = p_1 \frac{T_2}{T_1}; \quad \mapsto (1);$

13. К положительно заряженному электromетру поднесли отрицательно заряженный предмет. Показание электromетра  
 1) не изменится  
 2) увеличится  
 3) уменьшится  
 4) может как увеличиться, так и уменьшиться

**Решение**

если  $|q_{\Pi}| < |q_{Э(1)}|$ ;  $q_{Э(2)} = q_{Э(1)} - q_{\Pi}$ ;  $q_{Э} \downarrow$ ;  $\mapsto$  (3);

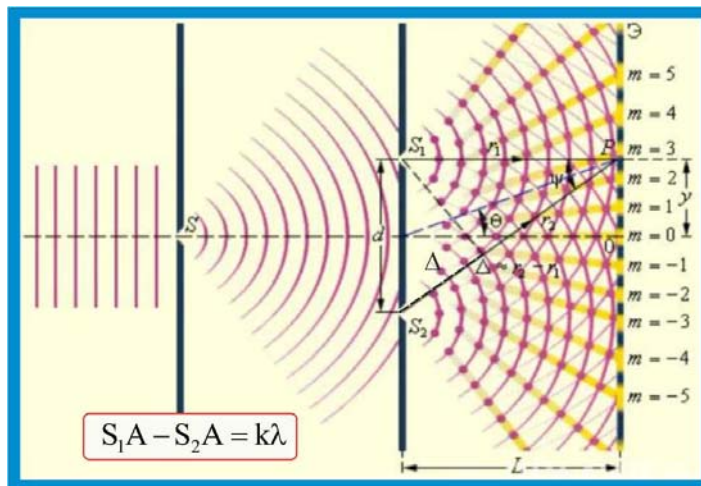
14. Два когерентных источника  $S_1$  и  $S_2$ , испускающие свет с длиной волны  $\lambda$ , находятся на разных расстояниях от точки  $A$  экрана.



Для наблюдения в точке  $A$  первого интерференционного максимума необходимо выполнение условия

- |                                      |                                      |
|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 1) $S_1A - S_2A = \frac{\lambda}{2}$ | 3) $S_1A + S_2A = \frac{\lambda}{2}$ |
| 2) $S_1A - S_2A = \lambda$           | 4) $S_1A + S_2A = \lambda$           |

**Решение**



15. В однородном магнитном поле с индукцией  $B = 8$  мТл перпендикулярно вектору магнитной индукции расположен контур площадью  $S = 50$  см<sup>2</sup>. Магнитный поток через этот контур равен

**Решение**

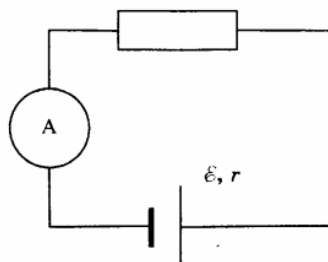
$$\Phi_B = BS \sin(\vec{B}; \vec{n}); \quad (\vec{B}; \vec{n}) = 90^\circ; \quad \Rightarrow \Phi_B = 8 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 40 \text{ мкВб};$$

16. Сила тока в проводнике постоянна и равна 0,5 А. Какой заряд пройдёт по проводнику за 20 минут?

**Решение**

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}; \quad \Rightarrow \quad \Delta q = I \Delta t = 0,5 \cdot 1200 = 600 \text{ Кл};$$

17. На рисунке представлена электрическая цепь, состоящая из источника тока, резистора и амперметра. Как изменятся сопротивление цепи и сила тока через источник при подключении такого же резистора последовательно?



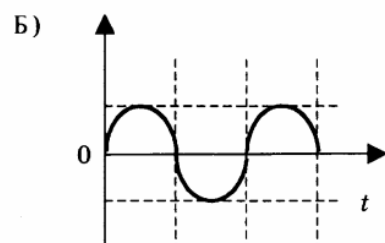
**Решение**

1. Сопротивление цепи при включении последовательно второго идентичного резистора увеличится ровно в 2 раза.
2. Сила тока в цепи уменьшится потому что:

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{\varepsilon}{R + r}; \\ I_2 &= \frac{\varepsilon}{2R + r}; \end{aligned} \right\} \Rightarrow I_2 < I_1;$$

18. В идеальном колебательном контуре происходят электромагнитные колебания. В момент времени  $t = 0$  конденсатор был полностью заряжен. На графиках А и Б представлены изменения со временем физических величин, характеризующих колебания в контуре. Установите соответствие между графиками и физическими величинами, которым соответствуют эти зависимости. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

**ГРАФИКИ**



**ФИЗИЧЕСКИЕ  
ВЕЛИЧИНЫ**

- 1) сила тока в контуре
- 2) энергия магнитного поля катушки
- 3) энергия электрического поля конденсатора
- 4) полная энергия колебаний

**Решение**

А. Полная энергия колебаний:  $W_{\Sigma} = \frac{Cu^2}{2} + \frac{Li^2}{2} = \frac{Cu_m^2}{2} = \frac{Li_m^2}{2} = \text{const};$

Б. Сила тока в контуре:

$$i(t) = i_m \sin \omega t;$$

19. Период полураспада ядер атомов актиния  ${}_{89}^{227}\text{Ac}$  составляет 22 года. Это означает, что в образце, содержащем большое число атомов актиния,
- 1) половина начального количества атомов распадётся за 11 лет
  - 2) все изначально имевшиеся атомы распадутся через 22 года
  - 3) все изначально имевшиеся атомы распадутся через 44 года
  - 4) половина начального количества атомов распадётся за 22 года

**Решение**

1. На основании закона радиоактивного распада, известно, что в течение полупериода распадается примерно половина радиоактивных ядер

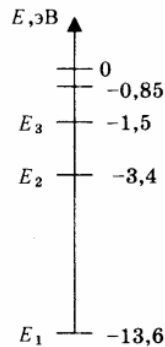
$$N = \frac{N_0}{2^{\frac{t}{T_{1/2}}}}; \quad \frac{N_0}{N} = 2^{\frac{t}{T_{1/2}}}; \quad 2 = 2^{\frac{t}{22}}; \quad 2 = 2^{\frac{t}{22}}; \quad t = 22; \quad \mapsto (4);$$

20. Радиоактивный уран  ${}_{92}^{236}\text{U}$  испытал 2  $\alpha$ -распада и 3  $\beta$ -распада. Получившийся в результате изотоп ядра будет иметь заряд  $Z$  и массовое число  $A$ :
- |              |              |
|--------------|--------------|
| 1) $A = 245$ | 3) $A = 229$ |
| $Z = 97$     | $Z = 90$     |
| 2) $A = 235$ | 4) $A = 228$ |
| $Z = 96$     | $Z = 91$     |

**Решение**

$$A_X = 236 - 4 - 4 = 228; \quad Z_X = 92 - 2 - 2 + 3 = 91; \quad {}_{91}^{228}\text{X}; \quad \mapsto (4);$$

21. На рисунке показаны энергетические уровни атома водорода.



Какую энергию необходимо сообщить атому, находящемуся в основном состоянии, для его ионизации?

**Решение**

$$\varepsilon_i = -\frac{me^4}{32\pi^2\varepsilon_0^2\hbar^2} \frac{1}{n^2}; \quad n = 1; \quad \varepsilon_i = -13,6\text{эВ};$$

22. При наблюдении фотоэффекта увеличили интенсивность падающего света, не изменяя длины волны. Как при этом изменятся работа выхода электронов и величина тока насыщения?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличится  
2) уменьшится  
3) не изменится

### Решение

1. Работа выхода не изменяется, т.к. эта величина является физической характеристикой материала фотокатода и не зависит от внешних условий.

2. Величина тока насыщения увеличится т.к. от интенсивности света зависит количество фотонов, падающих каждую секунду на фотокатод, т.е. сила фототока.

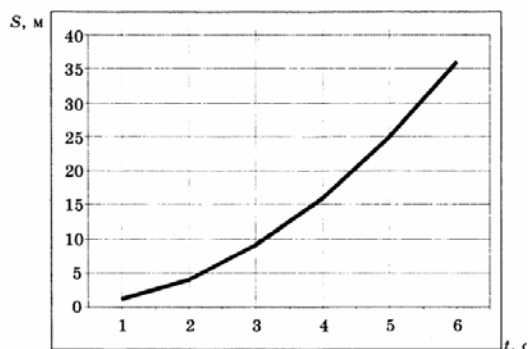
23. Толщина стопки бумаги из 100 листов оказалась равной  $L = (12 \pm 0,5)$  мм. Толщина одного листа бумаги равна

- 1)  $(0,12 \pm 0,005)$  мм  
2)  $(0,12 \pm 0,05)$  мм  
3)  $(0,012 \pm 0,005)$  мм  
4)  $(0,012 \pm 0,05)$  мм

### Решение

$$\ell = \left( \frac{L}{N} \pm \frac{\delta}{N} \right) = \left( 0,12 \pm \frac{0,5}{100} \right) = (0,12 \pm 5 \cdot 10^{-3}) \text{ мм};$$

24. При проведении эксперимента исследовалась зависимость пройденного телом пути  $S$  от времени  $t$ . Тело начинало движение из состояния покоя. График полученной зависимости приведён на рисунке.



1. Скорость тела равна 6 м/с.
2. Ускорение тела равно 2 м/с<sup>2</sup>.
3. Скорость тела уменьшается с течением времени.
4. За вторую секунду пройден путь 4 м.
5. За пятую секунду пройден путь 9 м.

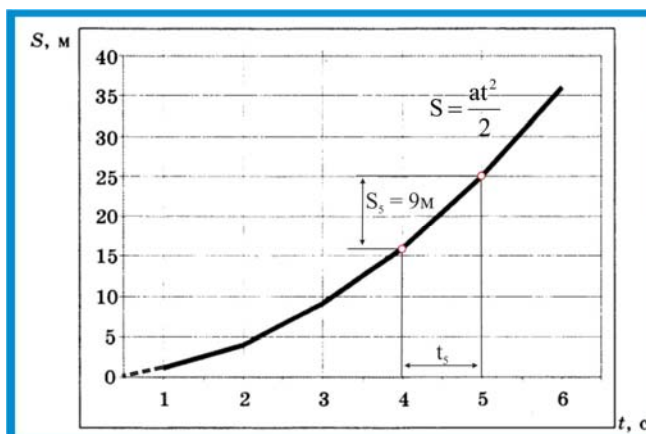
### Решение

1. Скорость тела не может быть постоянной величиной т.к. зависимость  $S(t)$  нелинейная, вероятнее всего:

$$S = \frac{at^2}{2},$$

тогда ускорение определится, например для  $t = 5$  с, так:

$$25 = \frac{a \cdot 25}{2}; \quad a = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}; \quad \mapsto (2);$$





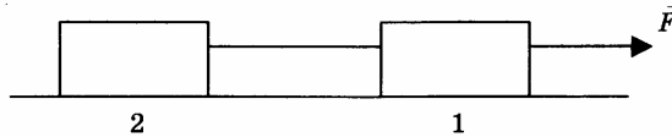
2. Используя уравнение пройденного пути легко видеть, что за пятую секунду тело прошло расстояние:

$$S_x = S_5 - S_4 = \frac{2 \cdot 25}{2} - \frac{2 \cdot 16}{2} = 9 \text{ м}; \quad \mapsto \quad (5);$$

что совпадает и с данными приведенного графика.

---

25. По гладкой горизонтальной поверхности под действием силы  $\vec{F}$  движутся одинаковые бруски, связанные нитью, как показано на рисунке.



Во сколько раз изменится сила натяжения нити между брусками, если на каждый брусок положить еще один такой же?

### Решение

1. Поскольку поверхность гладкая, сила трения отсутствует, то натяжение нити будет равно приложенной к правому телу силе, следовательно, при увеличении массы брусков натяжение не изменится:

$$\frac{T_1}{T_2} = 1;$$


---

26. В термос с большим количеством льда при температуре  $t_1 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$  заливают  $m = 0,5 \text{ кг}$  воды с температурой  $t_2 = 66 \text{ }^\circ\text{C}$ . Какая масса льда расплавится при установлении теплового равновесия в сосуде?

### Решение

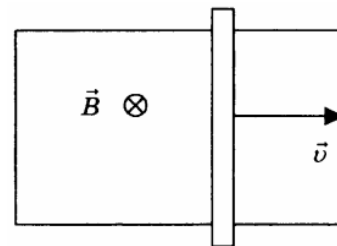
1. Исходя из уравнения теплового баланса:

$$c_B m_B \Delta T = m_x \lambda; \quad \Rightarrow \quad m_x = \frac{c_B m_B \Delta T}{\lambda} = \frac{4200 \cdot 0,5 \cdot 66}{3,3 \cdot 10^5} = 0,42 \text{ кг} \equiv 420 \text{ г};$$


---

27. П-образный контур находится в однородном магнитном поле, перпендикулярном плоскости контура (см. рис.). Индукция магнитного поля  $B = 0,2 \text{ Тл}$ .

По контуру с постоянной скоростью скользит перемычка длиной  $l = 20 \text{ см}$  и сопротивлением  $R = 15 \text{ Ом}$ . Сила индукционного тока в контуре  $I = 4 \text{ мА}$ . С какой скоростью движется перемычка?

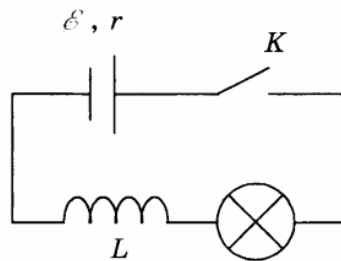


### Решение

$$\varepsilon_i = -\frac{B \ell \Delta x}{\Delta t}; \quad \varepsilon_i = -B v \ell; \quad i_i = -\frac{B v \ell}{R}; \quad \Rightarrow \quad v = \frac{i_i R}{B \ell} = \frac{4 \cdot 10^{-3} \cdot 15}{0,2 \cdot 0,2} = 1,5 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$


---

28. На рисунке изображена электрическая цепь, состоящая из гальванического элемента, лампы, катушки индуктивности и ключа. Первоначально замкнутый ключ размыкают. Опишите наблюдаемые при этом явления. Укажите законы, которые вы применили.



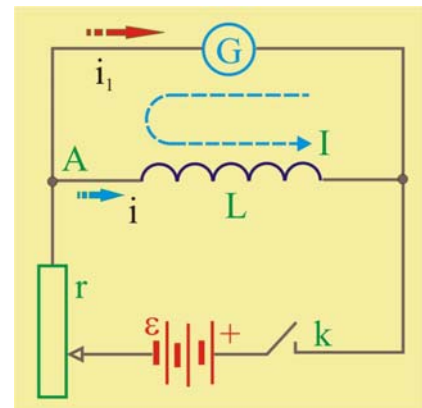
Решение

1. ЭДС индукции может генерироваться в самом контуре при изменении в нём величины тока, что приводит к появлению дополнительных токов.

Это явление получило название самоиндукции, а дополнительно возникающие токи называются **экстратокami** или **токами самоиндукции**.

Исследовать явление самоиндукции можно на установке, принципиальная схема которой приведена на рис.

Катушка  $L$  с большим числом витков, через реостат  $r$  и переключатель  $k$  подсоединяются к источнику ЭДС  $\varepsilon$ . Дополнительно к катушке подключён гальванометр  $G$ . При замкнутом переключателе в точке  $A$  ток будет ветвиться, причём ток величиной  $i$  будет протекать через катушку, а ток  $i_1$  через гальванометр. Если затем переключатель разомкнуть, то при исчезновении в катушке магнитного потока возникнет экстраток замыкания  $I$ .



По правилу Ленца экстраток будет препятствовать уменьшению магнитного потока, т.е. будет направлен в сторону убывающего тока, а вот через гальванометр экстраток пройдёт в направлении противоположном первоначальному, что приведёт к броску стрелки гальванометра в обратном направлении. Если катушку снабдить железным сердечником, то величина экстратока увеличивается. Вместо гальванометра в этом случае можно включить лампочку накаливания, при возникновении тока самоиндукции лампочка будет ярко вспыхивать.

Экспериментально было установлено, что магнитный поток  $\psi_B$ , сцепленный с катушкой пропорционален величине протекающего по ней тока

$$\psi_B = Li,$$

коэффициент пропорциональности  $L$  называется **индуктивностью контура**. Размерность индуктивности определяется уравнением

$$L = \frac{d\psi_B}{i}, \quad [L] = \frac{\text{Вб}}{\text{А}} = \text{Гн (генри)}.$$

Получим, используя закон Майкла Фарадея, уравнение ЭДС самоиндукции  $\varepsilon_{si}$  для катушки

$$\varepsilon_{si} = -\frac{d\psi_B}{dt} = -\frac{d(Li)}{dt} = -\left(L\frac{di}{dt} + \frac{dL}{dt}i\right).$$

В общем случае индуктивность, наряду с геометрией катушки в средах может зависеть от силы тока, т.е.  $L = f(i)$ , это можно учесть при дифференцировании

$$\frac{dL}{dt} = \frac{dL}{di} \frac{di}{dt}.$$

ЭДС самоиндукции с учётом последнего соотношения представится следующим уравнением

$$\varepsilon_{si} = -\left(L + \frac{dL}{di}\right) \frac{di}{dt}.$$

Если индуктивность не зависит от величины тока, уравнение упрощается

$$\varepsilon_{si} = -L \frac{di}{dt}.$$

**ЭДС самоиндукции пропорциональна скорости изменения величины тока.**

Индуктивность соленоида в виде прямолинейной цилиндрической катушки длиной  $\ell$ , площадью поперечного сечения  $S$  с количеством витков  $N$  определяется уравнением:

$$L = \mu_0 \frac{N^2 S}{\ell}. \quad (4.4)$$

Разрешая последнее уравнение относительно магнитной постоянной, получим её размерность

$$\mu_0 = \frac{L\ell}{N^2 S}, \Rightarrow [\mu_0] = \frac{\text{Гн} \cdot \text{м}}{\text{м}^2} = \frac{\text{Гн}}{\text{м}}.$$

Опытным путём установлено, что индуктивность любого контура наряду с его геометрическими характеристиками зависит от физических свойств среды, в которой контур находится. Так, например, если внутрь соленоида вставить железный сердечник, то при прочих равных условиях экстратоки в цепи возрастают многократно, что говорит об увеличении индуктивности.

Если индуктивность контура в воздухе равна  $L_0$ , а в некоторой среде –  $L$ , то изменение индуктивности можно охарактеризовать отношением

$$\frac{L}{L_0} = \mu,$$

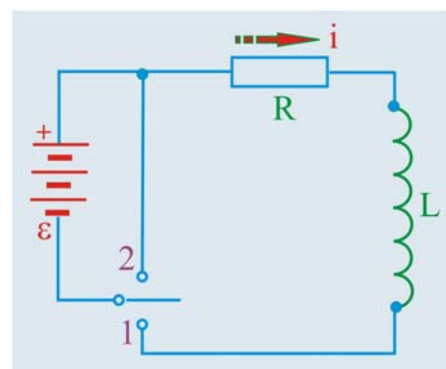
где  $\mu$  – магнитная проницаемость среды, характеризующая магнитные свойства вещества, в котором находится рассматриваемый контур. Взаимосвязь магнитной индукции с напряжённостью поля в этом случае представится следующим образом

$$\vec{B} = \mu\mu_0 \vec{H}.$$

Из уравнения видно, что единица магнитной проницаемости среды 1 Гн/м имеет место когда напряжённость магнитного поля в 1 А/м создаёт магнитную индукцию 1 Тл.

Рассмотрим процессы, протекающие в цепи, содержащей индуктивность  $L$ .

При подаче питания на схему, изображённую на рис., в цепи величина тока будет увеличиваться от нулевого значения до номинала в течение некоторого промежутка времени вследствие явления самоиндукции. Возникающие экстратоки в соответствии с правилом Ленца всегда направлены противоположно, т.е. они препятствуют вызывающей их причине. Они препятствуют увеличению тока в цепи.



При подключении коммутатора в положение 1 экстратоки станут препятствовать увеличению тока в цепи, а в положении 2, наоборот, экстратоки будут замедлять уменьшение основного тока. Будем считать для простоты анализа, что включённое в цепь сопротивление  $R$  характеризует сопротивление цепи, внутреннее сопротивление источника и активное сопротивление катушки  $L$ . Закон Ома в этом случае примет вид

$$\varepsilon + \varepsilon_{si} = iR,$$

где  $\varepsilon$  – ЭДС источника,  $\varepsilon_{si}$  – ЭДС самоиндукции,  $i$  – мгновенное значение величины тока, который является функцией времени. Подставим в закон Ома уравнение ЭДС самоиндукции

$$L \frac{di}{dt} + iR = \varepsilon.$$

Разделим в уравнении переменные

$$L di = (\varepsilon - iR) dt, \quad \frac{Li}{(\varepsilon - iR)} = dt,$$

и проинтегрируем, считая  $L$  постоянной величиной

$$L \int \frac{di}{\varepsilon - iR} = \int dt,$$

$$\frac{L}{R} \ln(\varepsilon - iR) = t + \text{const}.$$

Таким образом, общее решение дифференциального уравнения можно представить в виде

$$i(t) = \frac{\varepsilon}{R} - \text{const} \cdot e^{-\frac{R}{L}t}.$$

Постоянную интегрирования определим из начальных условий. При  $t=0$  в момент подачи питания ток в цепи равен нулю  $i(t) = 0$ . Подставляя нулевое значение тока в уравнение, получим

$$\text{const} = \frac{\varepsilon}{R}.$$

Решение уравнения  $i(t)$ , при этом, примет окончательный вид

$$i(t) = \frac{\varepsilon}{R} \left( 1 - e^{-\frac{R}{L}t} \right).$$

В начальный момент времени экстраток и ток обусловленный ЭДС источника сложатся и лампочка кратковременно увеличит яркость горения, а затем сила тока уменьшится по экспоненциальному закону в соответствии с последним уравнением.

- 29.** Лыжник массой  $60$  кг стартует из состояния покоя с трамплина высотой  $H = 40$  м, в момент отрыва от трамплина его скорость горизонтальна. В процессе движения лыжника по трамплину сила трения совершила работу, по модулю равную  $A_{\text{тр}} = 5,25$  кДж. Определите дальность полёта лыжника по горизонтальному направлению, если точка приземления оказалась на  $h = 45$  м ниже уровня отрыва от трамплина. Сопротивление воздуха не учитывать.

### Решение

1. Горизонтальная скорость лыжника при его отрыве от трамплина:

$$mgH = \frac{mv_0^2}{2} + A_{\text{тр}}; \Rightarrow v_0 = \sqrt{\frac{2(mgH - A_{\text{тр}})}{m}};$$

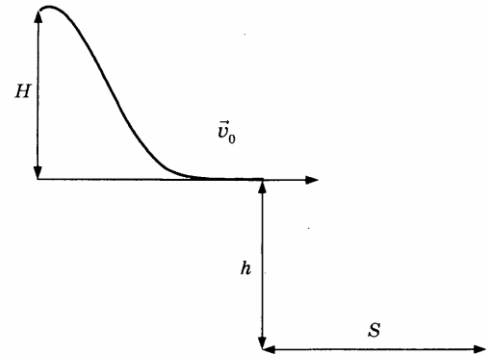
$$v_0 = \sqrt{\frac{2(60 \cdot 10 \cdot 40 - 5,25 \cdot 10^3)}{60}} = 25 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

2. Время полёта лыжника:

$$h = \frac{gt^2}{2}; \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = 3\text{с};$$

3. Дальность горизонтального полёта лыжника:

$$S = v_0 t = 75\text{м};$$



**30.** В вертикальном цилиндрическом сосуде под поршнем массой  $m = 10$  кг и площадью сечения  $S = 20 \text{ см}^2$  находится идеальный одноатомный газ. Первоначально поршень находился на высоте  $h_1 = 20$  см, а после нагревания газа оказался на высоте  $h_2 = 25$  см. Какое количество теплоты сообщили газу в процессе нагревания? Атмосферное давление  $10^5$  Па.

### Решение

1. В соответствии с первым началом термодинамики:

$$\delta Q = \Delta U + A;$$

2. Работа производится газом при увеличении объёма, при этом тяжёлый поршень перемещается в присутствии атмосферного давления на расстояние  $\Delta h$ :

$$A = (p_0 S + mg)\Delta h = (10^5 \cdot 2 \cdot 10^{-3} + 10 \cdot 10)5 \cdot 10^{-2} = 15 \text{ Дж};$$

3. Изменение внутренней энергии газа:

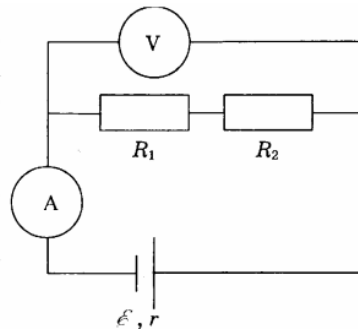
$$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1); \quad \Delta U = \frac{3}{2} (pV_2 - pV_1) = \frac{3}{2} \left( p_0 + \frac{mg}{S} \right) (h_2 - h_1) S;$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} \left( 10^5 + \frac{100}{2 \cdot 10^{-3}} \right) 5 \cdot 10^{-2} \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 22,5 \text{ Дж};$$

4. Количество теплоты, сообщённой газу в ходе поднятия поршня:

$$\delta Q = \Delta U + A = 15 + 22,5 = 37,5 \text{ Дж};$$

**31.** На рисунке представлена электрическая цепь. ЭДС источника  $\mathcal{E} = 21$  В, его внутреннее сопротивление  $r = 1$  Ом, сопротивления резисторов  $R_1 = 50$  Ом,  $R_2 = 30$  Ом, сопротивление вольтметра  $R_V = 320$  Ом, сопротивление амперметра  $R_A = 5$  Ом. Определите показания вольтметра и амперметра.



### Решение

1. Полное сопротивление цепи:

$$R_{12} = R_1 + R_2 = 80 \text{ Ом}; \quad R_{12V} = \frac{R_{12} R_V}{R_{12} + R_V} = \frac{80 \cdot 320}{400} = 64 \text{ Ом};$$

$$R_{\Sigma} = R_{12V} + R_A + r = 64 + 5 + 1 = 70 \text{ Ом};$$

2. Показания амперметра:

$$I_A = \frac{\varepsilon}{R_{\Sigma}} = 0,3 \text{ А};$$

3. Показания вольтметра:

$$U_V = \varepsilon - I_A(R_A + r) = 21 - 0,3 \cdot 6 = 19,2 \text{ В};$$

---

**32.** Частица массой  $m = 10^{-7}$  кг и зарядом  $q = 10^{-5}$  Кл равномерно движется по окружности радиуса  $R = 2$  см в магнитном поле с индукцией  $B = 2$  Тл. Центр окружности находится на главной оптической оси собирающей линзы, а плоскость окружности перпендикулярна главной оптической оси и находится на расстоянии 15 см от неё. Фокусное расстояние линзы  $F = 10$  см. С какой скоростью движется изображение частицы в линзе?

### Решение

1. В соответствии с уравнением Эйлера  $\vec{v} = (\vec{\omega} \times \vec{r})$  циклическая частота вращения частицы при преломлении света в линзе изменяться не будет. Будет изменяться только линейная скорость.

2. Циклическая частота вращения частицы:

$$\frac{mv^2}{R} = qvB; \quad \frac{mv}{R} = qB; \quad \frac{v}{R} = \omega; \quad \omega = \frac{qB}{m} = \frac{10^{-5} \cdot 2}{10^{-7}} = 200 \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

3. Радиус вращения изображения частицы:

$$F = \frac{df}{d+f}; \quad \Rightarrow \quad f = \frac{dF}{d-F} = 30 \text{ см}; \quad \frac{r}{R} = \frac{f}{d}; \quad \Rightarrow \quad r = R \frac{f}{d} = 2 \frac{30}{15} = 4 \cdot 10^{-2} \text{ м}.$$

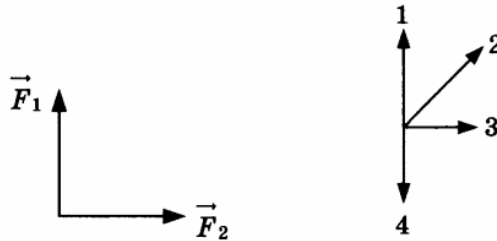
4. Линейная скорость изображения частицы:

$$v = \omega r = 8 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

---



4. К телу, движущемуся в инерциальной системе отсчёта, приложены две силы, как показано на рисунке.



Какая стрелка правильно показывает направление вектора ускорения тела?

### Решение

$$|\vec{F}_1| = |\vec{F}_2|; \quad |\vec{R}| = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}; \quad \sum_{i=1}^{i=2} \vec{F}_i = m\vec{a}; \quad \vec{R} = m\vec{a}; \quad \Rightarrow \quad (\vec{R}; \vec{F}_2) = 45^\circ; \quad \mapsto \quad (2);$$

5. Доска опирается на подставку, находящуюся на расстоянии  $\frac{l}{4}$  длины доски. Для удержания доски в равновесии в горизонтальном положении к её короткому концу необходимо приложить силу 50 Н. Чему равна масса доски?

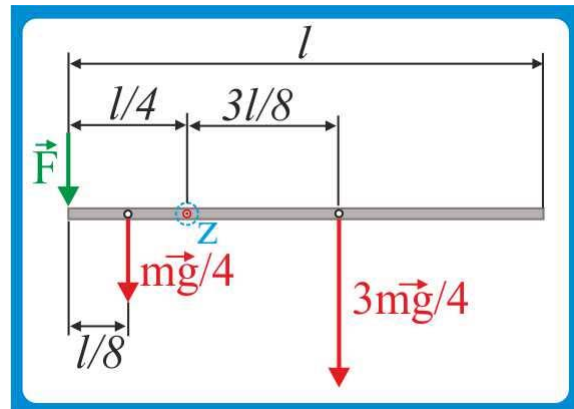
### Решение

1. Алгебраическая сумма моментов сил относительно оси z, проходящей через опорную точку доски перпендикулярно плоскости чертежа для равновесия доски должна быть равна нулю:

$$F \frac{l}{4} + mg \frac{l}{8} = \frac{3mg}{8} l;$$

$$\frac{50}{4} + \frac{1}{8} mg = \frac{3}{8} mg; \quad 12,5 = \frac{2}{8} mg;$$

$$m = \frac{12,5 \cdot 8}{20} = 5 \text{ кг};$$



6. Брусок, движущийся по горизонтальной поверхности под действием постоянной силы, выезжает на более гладкую поверхность. Как при этом изменились сила давления бруска на плоскость и ускорение бруска?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличилось  
2) уменьшилось  
3) не изменилось

### Решение

1. Сила давления на опорную плоскость:

$$|\vec{N}| = mg; \quad \mapsto \quad (3);$$



2. Ускорение бруска:

$$\sum_{i=1}^{i=2} \vec{F}_i = m\vec{a}; \quad F - \mu mg = ma; \quad a = \frac{F}{m} - \mu g; \quad \frac{F}{m} = \text{const}; \quad \mu \downarrow; a \uparrow; \quad \mapsto \quad (1);$$

7. Измеренная частота колебаний математического маятника равна 1 Гц. Установите соответствие между физическими величинами, характеризующими этот колебательный процесс (левый столбец), и формулами, по которым их можно рассчитать (правый столбец). К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго столбца и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

| ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА                          | ФОРМУЛА ДЛЯ РАСЧЁТА                                  |
|--|--|
| А) смещение маятника от положения равновесия | 1) $l = \frac{B}{n^2}, B = 0,25 \text{ с}^2$         |
| Б) длина нити маятника                       | 2) $l = \frac{A}{n^2}, A = 1 \text{ м}^2/\text{с}^2$ |
|  | 3) $x = A \cos(2\pi t)$                              |
|  | 4) $x = A \cos\left(\frac{\pi}{2} t\right)$          |

#### Решение

А. Смещение маятника из положения равновесия:

$$x(t) = A \cos \omega t = A \cos\left(\frac{2\pi}{T} t\right); \quad T = \frac{1}{\nu} = 1 \text{ с}; \quad \Rightarrow \quad x(t) = A \cos(2\pi t); \quad \mapsto \quad (3)$$

Б. Длина нити маятника:

$$[l] = \text{м}; \quad \Rightarrow \quad [n^2] = \frac{\text{м}}{\text{с}^2}; \quad \mapsto \quad (1)$$

8. Молекулы совершают хаотическое тепловое движение, если находятся
- 1) в газе
  - 2) в жидкости
  - 3) в газе или жидкости
  - 4) в газе, жидкости или твёрдом теле

#### Решение

1. Изучение поведения физических тел при изменении внешних условий показало, что механические величины многие возникающие явления не в состоянии описать. Так, например, таяние льда при повышении температуры, замерзание жидкости при понижении давления изменениями механических характеристик тел не объясняется.

2. При описании таких явлений потребовало введения новых физических величин, не характерных для механики. Одной из основных таких характеристик явилась **температура**, характеризующая величину внутренней энергии рассматриваемого материального объекта. Появление на арене научных исследований температуры позволило придать наблюдаемым явлениям количественный смысл.

3. Тепловые процессы, составившие основу термодинамики, изучались по началу на **феноменологической** основе, когда по экспериментальным проявлениям тех или иных

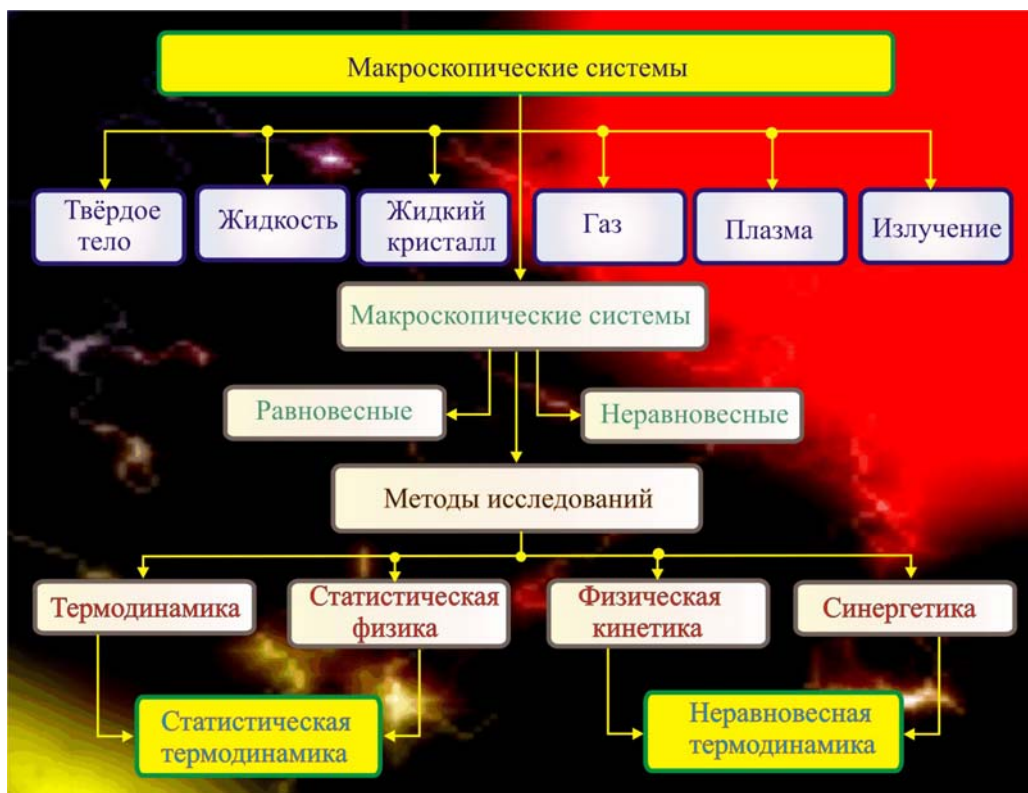


Рис. 1. Структура молекулярной физики

эффектов пытались сформулировать некие обобщающие закономерности. Таким, образом, в основу термодинамики легли три основополагающих принципа (три начала), однако физическую сущность начал термодинамики удалось выявить только при использовании молекулярных представлений о строении вещества с использованием статистических и вероятностных методов.

4. Термодинамический метод исследования обладает достаточно большой общностью, формальной простотой и наглядностью. Статистический метод, использующий математику более высокого уровня, позволил термодинамические законы обосновать, дать им теоретическую интерпретацию, что, несомненно, расширило возможности самой термодинамики.

5. Все вещества в макросостоянии при феноменологическом рассмотрении могут в зависимости от внешних условий находиться в различных агрегатных состояниях. Макроскопические состояния характеризуются, так называемыми, макропараметрами: давлением  $p$ , объёмом  $V$ , температурой  $T$ , внутренней энергией  $U$ . Все из известных веществ, в зависимости от значений макропараметров  $\{p, V, T\}$  могут находиться в различных агрегатных состояниях, основными из которых являются шесть: твёрдое, жидкое, жидкокристаллическое, газообразное, плазменное и состоянии излучения.

6. Содержание раздела «Молекулярная физика» можно представить в идее следующей структурной схемы (рис.1)

7. **Твёрдые тела** характеризуется стабильностью формы и объёма. Структурные элементы вещества в твёрдом состоянии расположены относительно близко друг к другу, они совершают колебательные движения около равновесного состояния и характеризуются достаточно интенсивными связями, имеющими электродинамическое происхождение. Энергия взаимодействия частиц много больше энергии их теплового движения. Твёрдые тела принято делить на кристаллические и аморфные. В кристаллических

телах существует дальний порядок расположения атомов и молекул. В аморфных телах такой строгой упорядоченности нет, колебания частиц происходят вокруг хаотически расположенных центров. В кристаллических структурах между частицами действуют разные типы связей: ионные, ковалентные, металлические и др., что обеспечивает разнообразие физических и химических свойств твёрдых тел. Так например, вещества с ионным типом связей хрупки, а металлическая связь обеспечивает веществам пластичность. Физические свойства твёрдых тел зависят от характера взаимодействия валентных электронов с ионами. Наличие в кристаллических телах большого количества свободных электронов, не связанных с определённым объёмом кристалла, обеспечивает высокую степень теплопроводности и электропроводности, это, как правило, проводники. Аморфные тела имеют малое количество свободных электронов, поэтому обладают незначительной электропроводностью и теплопроводностью.

**8. Жидкое состояние** характеризуются тем, что атомы и молекулы расположены менее плотно, чем в твёрдых телах. Молекулы вещества в жидком состоянии сочетают свойства твёрдых тел и частично газов. Частицы жидкости в большинстве своём совершают колебательные движения, однако некоторые из них, получив результате столкновения порцию энергии, приобретают поступательную составляющую движения. Если это происходит вблизи поверхности, то поступательно движущаяся молекула может преодолеть силы поверхностного натяжения и перейти в парообразное состояние, чем и объясняется явления текучести и испарения. Для жидкой характерно примерное равенство кинетической энергии теплового движения молекул или атомов потенциальной энергии межмолекулярных или межатомных связей. Жидкости образуют поверхности и принимают форму объёма, в который они помещены.

**9. Жидкие кристаллы** представляют собой особое состояние некоторых органических веществ, в котором они обладают реологическими свойствами жидкости – текучестью, но при этом сохраняют упорядоченность структуры, характерную для твёрдого состояния. Жидкие кристаллы демонстрируют анизотропию ряда физических свойств, характерную для кристаллических структур. Жидкие кристаллы были открыты в 1889 г. немецким ботаником Ф. Рейницером и немецким физиком О. Леманом. К настоящему времени обнаружено более нескольких тысяч модификаций жидких кристаллов. Жидкие кристаллы наблюдаются в виде веществ, молекулы которых имеют удлиненную цилиндрическую форму. Жидкие кристаллы благодаря своим уникальным электрооптическим анизотропным свойствам широко применяются в системах обработки и отображения информации. Так называемые холестерические жидкие кристаллы способны изменять свой цвет в достаточно широком оптическом спектре под действием переменного электромагнитного поля, что широко используется в последнее время в телевизионных и компьютерных технологиях.

**10. Газообразное состояние.** Даже его название происходит от греческого и французского слова «хаос». Частицы веществ, находящихся в газообразном состоянии либо не взаимодействуют друг с другом вообще, либо взаимодействуют очень слабо. Молекулы и атомы в газообразном состоянии от столкновения до столкновения движутся поступательно, взаимодействие с соседями происходит только в момент сближения. Это даёт возможность при анализе газообразного состояния учитывать только кинетическую энергию теплового движения атомов и молекул, что существенно упрощает процесс аналитического описания состояния. Вещества в газообразном состоянии занимают весь предоставленный им объём. Газы широко распространены в природе, они составляют атмосферу Земли, газы входят в состав, практически всех жидкостей и твёрдых тел в растворённом или свободном состоянии. В значительных количествах газы содержатся в земных горных породах, растворены в водах Мирового океана и рек. Солнце, межпланетное пространство и атмосферы планет тоже состоят из веществ в

газообразном состоянии. В отличие от твёрдых тел и жидкостей объём газов в сильной степени зависит от давления и температуры. Коэффициент объёмного расширения газов на два порядка выше, чем у жидкостей. В принципе, любое из известных к настоящему времени веществ, путём подбора соответствующих значений давлений и температур может быть переведено в газообразное состояние.

11. **Плазма** – частично или полностью ионизированный газ, в котором плотности положительных и отрицательных зарядов примерно одинаковы. Газы в состоянии плазмы можно перевести внешними воздействиями, например, при увеличении температуры интенсивно происходит термическая ионизация, т.е. молекулы вначале распадаются на атомы, которые затем превращаются в ионы. Процесс принудительной ионизации может протекать под действием электромагнитного излучения, особенно коротковолнового ( $\gamma$  – излучение, излучение рентгеновского диапазона, ультрафиолетовое излучение). Можно ионизировать газ бомбардировкой заряженными частицами. Свободные электрические заряды, присутствующие в плазме, скомпенсированы суммарным положительным зарядом ионов, это непереносимое условие отсутствия внутри плазмы электрического поля. Если же при внешнем воздействии такой дисбаланс возникает, то сопутствующее этому электрическое поле стремится восстановить электростатическое равновесие.

12. **Излучение** представляет собой способ передачи энергии посредством электромагнитных волн в широком диапазоне длин волн. Наибольший энергетический интерес представляет излучение инфракрасного диапазона  $\lambda \cong 10^{-3} - 10^{-6}$  м, видимого света  $\lambda \cong 10^{-6} - 10^{-7}$  м, ультрафиолетового диапазона  $\lambda \cong 10^{-7} - 10^{-9}$  м, мягкое рентгеновское излучение  $\lambda \cong 10^{-9} - 10^{-12}$  м, жёсткое  $\gamma$  – излучение  $\lambda \cong 10^{-12} - 10^{-14}$  м, космическое излучение  $\lambda \leq 10^{-14}$  м. Изучение электромагнитного излучения привело к возникновению квантовой механики.

9. Имеются два кубика одинаковой массы, сделанные из разных материалов, причём удельная теплоёмкость вещества первого кубика больше удельной теплоёмкости вещества второго кубика. Первоначальная температура кубиков одинаковая. Если сообщать кубикам одинаковое количество теплоты в единицу времени, нагревая их до одинаковой температуры, то можно утверждать, что
- 1) кубики нагреются одинаково быстро
  - 2) первый кубик нагреется быстрее
  - 3) второй кубик нагреется быстрее
  - 4) сравнить время нагрева кубиков нельзя

**Решение**

$$Q = cm\Delta T; \quad \Delta T = \frac{Q}{cm}; \quad \left. \begin{array}{l} \Delta T_1 = \frac{Q}{c_1 m}; \\ \Delta T_2 = \frac{Q}{c_2 m}; \end{array} \right\}$$

$$\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} = \frac{c_2}{c_1}; \quad c_1 > c_2; \quad \Rightarrow \quad \Delta T_2 > \Delta T_1; \quad \mapsto \quad (3);$$

10. Давление насыщенного пара при температуре 15 °С равно 1,71 кПа. Чему равно парциальное давление пара при температуре 15 °С, если относительная влажность воздуха равна 59%? Ответ округлите до целых.



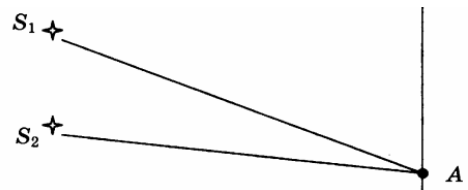
**Решение**

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}; \Rightarrow \Delta t = \frac{\Delta q}{I} = 120\text{с} \equiv 2\text{мин.}$$

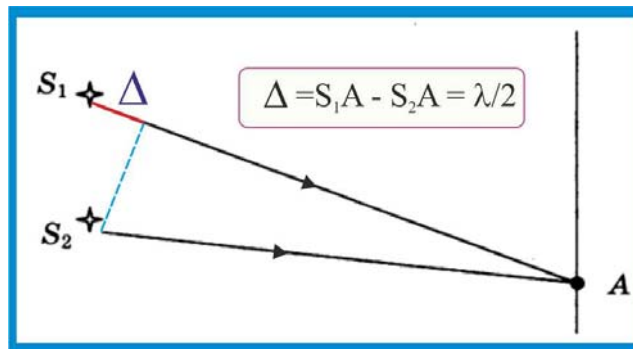
14. Два когерентных источника  $S_1$  и  $S_2$ , испускающие свет с длиной волны  $\lambda$ , находятся на разных расстояниях от точки  $A$  экрана.

Для наблюдения в точке  $A$  первого интерференционного минимума необходимо выполнение условия

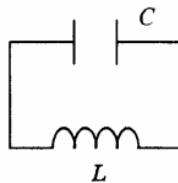
- 1)  $S_1A - S_2A = \frac{\lambda}{2}$
- 2)  $S_1A - S_2A = \lambda$
- 3)  $S_1A + S_2A = \frac{\lambda}{2}$
- 4)  $S_1A + S_2A = \lambda$



**Решение**



15. В колебательном контуре индуктивность катушки равна 10 мГн.



Конденсатор какой емкости нужно включить в контур для получения электромагнитных колебаний частотой 400 Гц? Ответ округлите до целых.

**Решение**

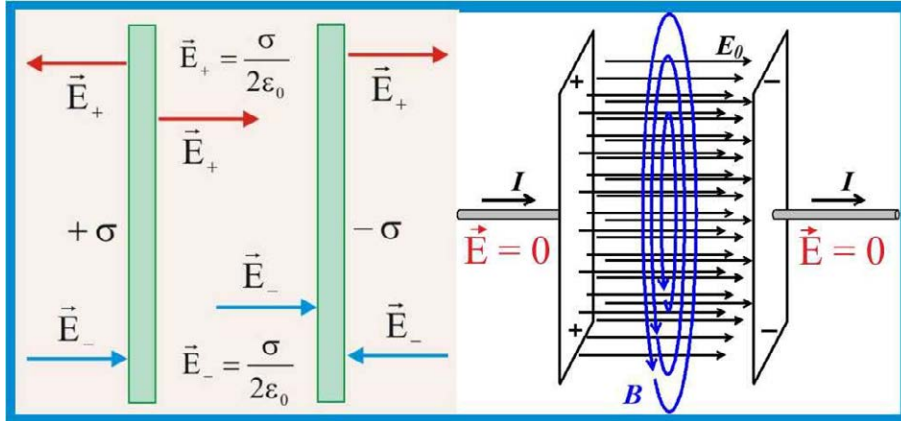
$$T = \frac{1}{\nu} = 2,5 \cdot 10^{-3}\text{с}; \quad T = 2\pi\sqrt{LC}; \quad C = \frac{T^2}{4\pi^2L} \approx \frac{6,25 \cdot 10^{-6}}{40 \cdot 10^{-2}} \approx 1,58 \cdot 10^{-5}\text{Ф} \equiv 16\text{мкФ};$$

16. По катушке индуктивностью 4 мГн протекает постоянный ток 3 А. Чему равна энергия магнитного поля катушки?

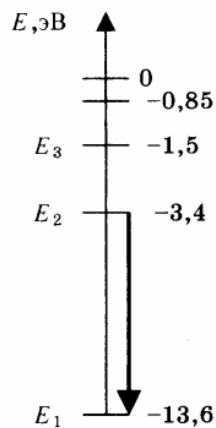


$$E_A = E_0 = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} + \frac{\sigma}{2\epsilon_0} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = E_0;$$

Во внешней области векторы напряжённостей будут равны по модулю и противоположны по направлению, поэтому при сложении полей результирующий вектор напряжённости внешнего электрического поля равен нулю  $E_d = 0$ .



19. На рисунке показаны энергетические уровни атома водорода.



Переходу, показанному на рисунке стрелкой, соответствует

- 1) поглощение атомом энергии 3,4 эВ
- 2) излучение атомом энергии 13,6 эВ
- 3) поглощение атомом энергии 10,2 эВ
- 4) излучение атомом энергии 10,2 эВ

### Решение

1. В соответствии со вторым постулатом Бора при переходе на более низкий энергетический уровень атом излучает фотон с энергией:

$$\epsilon_f = E_2 - E_1 = 13,6 - 3,4 = 10,2 \text{ эВ}; \quad \mapsto (4).$$

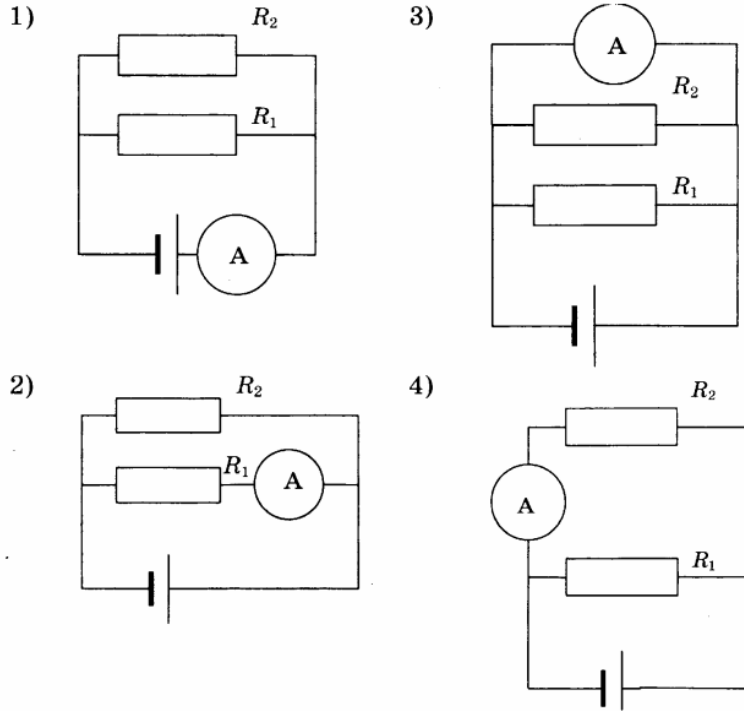




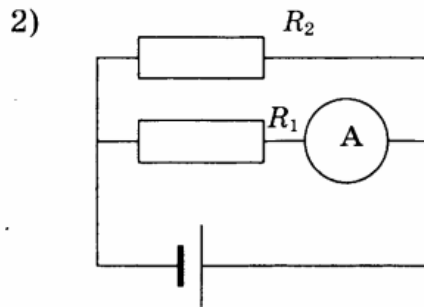
Б. Импульс фотона:

$$p_f = \frac{\varepsilon_f}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}; \quad \mapsto \quad (3);$$

23. Во время лабораторной работы необходимо было измерить силу тока через сопротивление  $R_1$ . Это можно сделать с помощью схемы



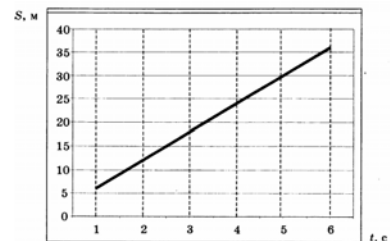
Решение



24. При проведении эксперимента исследовалась зависимость пройденного телом пути  $S$  от времени  $t$ . График полученной зависимости приведён на рисунке.

Выберите два утверждения, соответствующие результатам этих измерений.

1. Скорость тела равна 6 м/с.
2. Ускорение тела равно 2 м/с<sup>2</sup>.
3. Тело движется равноускоренно.
4. За вторую секунду пройден путь 6 м.
5. За пятую секунду пройден путь 30 м.



### Решение

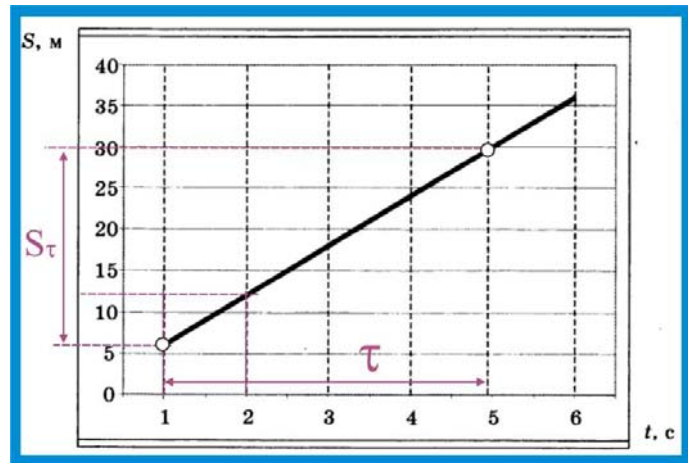
1. Поскольку зависимость  $S = f(t)$  – линейная, то движение происходит с постоянной скоростью  $a = 0$ .  
 $v = \text{const}$

$$v = \frac{S_\tau}{\tau} = \frac{24}{4} = 6 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

4. Путь, пройденный за вторую секунду движения:

$$\Delta S_1 = S_2 - S_1 \approx 12 - 6 = 6 \text{ м};$$

5. Поскольку движение равномерное, то за каждую секунду будет пройдено одинаковое расстояние.



25. Небольшой груз совершает вертикальные колебания на пружине жёсткостью 25 Н/м. В таблице представлены координаты груза для различных промежутков времени.

|                 |   |     |     |      |     |      |     |     |     |     |     |
|-----------------|---|-----|-----|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| $t, \text{ с}$  | 0 | 0,1 | 0,2 | 0,3  | 0,4 | 0,5  | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 |
| $x, \text{ см}$ | 0 | 5,5 | 8   | 10,5 | 16  | 10,5 | 8   | 5,5 | 0   | 5,5 | 8   |

Чему равна масса груза? Ответ округлите до десятых.

### Решение

1. Исходя из данных таблицы период колебаний составляет  $T \approx 0,8 \text{ с}$ . С другой стороны:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}; \Rightarrow m = \frac{T^2 k}{4\pi^2} = \frac{0,64 \cdot 25}{99,4} \approx 0,16 \text{ кг};$$

26. КПД тепловой машины 30%. За 10 с рабочему телу машины поступает от нагревателя 3 кДж теплоты. Чему равна средняя полезная мощность машины?

### Решение

$$P = \eta \frac{Q}{\tau} = 0,3 \frac{3 \cdot 10^3}{10} = 90 \text{ Вт};$$

27. Самолёт, имеющий размах крыльев  $L = 40 \text{ м}$ , движется горизонтально с постоянной скоростью. Индукция магнитного поля Земли равна  $B = 5 \cdot 10^{-5} \text{ Тл}$  и направлена под углом  $\alpha = 60^\circ$  к направлению движения самолёта. На концах крыльев самолёта возникла ЭДС индукции  $\varepsilon = 0,4 \text{ В}$ . С какой скоростью движется самолёт? Ответ округлите до целых.

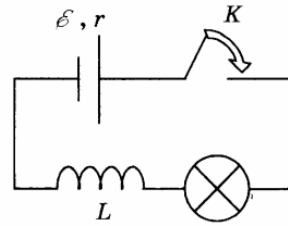
### Решение

$$|\varepsilon_i| = \frac{B \sin \alpha L \Delta x}{\Delta t} = BvL \sin \alpha; \Rightarrow v = \frac{\varepsilon_i}{BL \sin \alpha} = \frac{0,4}{5 \cdot 10^{-5} \cdot 40 \cdot 0,87} = 230 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 828 \frac{\text{км}}{\text{ч}}.$$

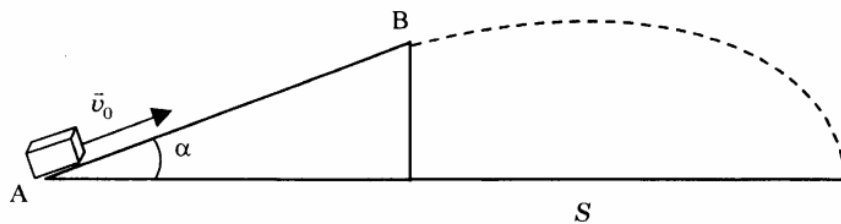
28. На рисунке изображена электрическая цепь, состоящая из гальванического элемента, лампы, катушки индуктивности и ключа. Первоначально разомкнутый ключ замыкают. Опишите наблюдаемые при этом явления. Укажите законы, которые вы применили.

### Решение

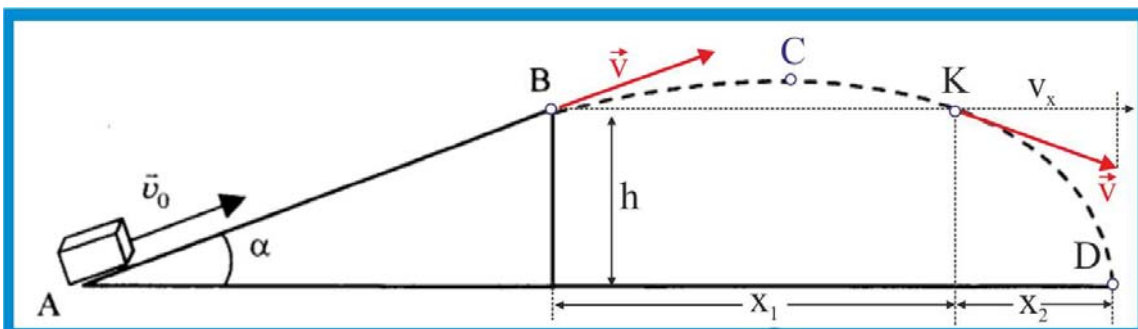
1. Катушка индуктивности в цепи приводит к явлению самоиндукции. Ток самоиндукции, направленный в противоположную основному току сторону, поэтому лампочка будет накаляться медленно, т.к. сила тока в цепи увеличивается по экспоненциальному закону.



29. Коробок после удара в точке А скользит вверх по наклонной плоскости с начальной скоростью  $v_0 = 5$  м/с (см. рис.). В точке В коробок отрывается от наклонной плоскости. На каком расстоянии  $S$  от наклонной плоскости коробок упадёт? Коэффициент трения равен  $\mu = 0,2$ . Длина наклонной плоскости  $AB = L = 0,5$  м, угол наклона плоскости  $\alpha = 30^\circ$ . Сопротивлением воздуха пренебречь.



### Решение



1. Высота отрыва тела от наклонной плоскости:

$$h = L \sin \alpha = 0,25 \text{ м};$$

2. Скорость отрыва тела от плоскости:

$$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv^2}{2} + mgh + \mu mgL \cos \alpha; \Rightarrow v_0^2 = v^2 + 2gh + 2\mu gL \cos \alpha;$$

$$v = \sqrt{v_0^2 - 2g(h + \mu L \cos \alpha)} \approx \sqrt{25 - 20(0,25 + 0,2 \cdot 0,5 \cdot 0,87)} \approx 4,27 \frac{\text{М}}{\text{с}};$$

3. Расстояние  $x_1$ , пролетаемое телом до уровня точки отрыва от наклонной плоскости:

$$x_1 = \frac{v^2 \sin 2\alpha}{g} = \frac{18,2 \cdot 0,87}{10} \approx 1,58 \text{ м};$$

4. Время падения тела с высоты  $h$ :

$$\tau = \sqrt{\frac{2h}{g}} = 0,22 \text{ с};$$

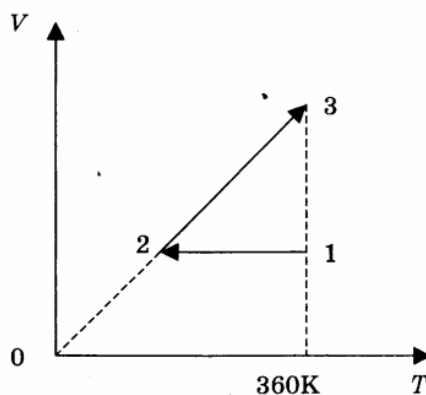
5. Расстояние  $x_2$ :

$$x_2 = v \cos \alpha \tau = 4,27 \cdot 0,87 \cdot 0,22 = 0,8 \text{ м};$$

6. Дальность полёта предмета  $S$ :

$$S = x_1 + x_2 = 2,4 \text{ м};$$

30. 2 моль идеального одноатомного газа сначала охладили, уменьшив давление в 2 раза, а затем нагрели до первоначальной температуры 360 К (см. рис.).



Какое количество теплоты получил газ на участке 2–3?

**Решение**

$$T_2 = \frac{T_1}{2}; \quad p_2 = p_3; \quad A_{23} = p(V_3 - V_2);$$

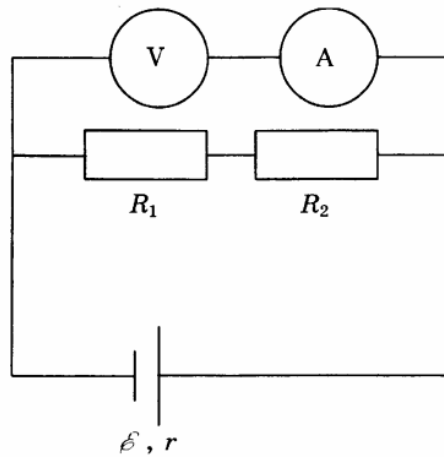
$$A_{23} = \nu R(T_3 - T_2) = 2 \cdot 8,3 \cdot 180 \approx 2988 \text{ Дж};$$

$$\Delta U_{23} = \frac{3}{2} \nu R(T_3 - T_2) = \frac{3}{2} \cdot 2 \cdot 8,3 \cdot 180 = 4482 \text{ Дж};$$

$$Q_{23} = A_{23} + \Delta U_{23} = 7470 \text{ Дж} \approx 7,47 \text{ кДж};$$

31. На рисунке представлена электрическая цепь. ЭДС источника  $\mathcal{E} = 21 \text{ В}$ , его внутреннее сопротивление  $r = 1 \text{ Ом}$ ,

сопротивления резисторов  $R_1 = 50 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 30 \text{ Ом}$ , сопротивление вольтметра  $R_V = 320 \text{ Ом}$ , сопротивление амперметра  $R_A = 5 \text{ Ом}$ . Определите показания вольтметра и амперметра.



### Решение

1. Суммарное сопротивление цепи:

$$R_{AV} = R_V + R_A = 325 \text{ Ом}; \quad R_{12} = R_1 + R_2 = 80 \text{ Ом}; \quad R_{\Sigma} = \frac{R_{AV}R_{12}}{R_{AV} + R_{12}} + r;$$

$$R_{\Sigma} = \frac{325 \cdot 80}{405} + 1 = 65,2 \text{ Ом};$$

2. Сила тока в цепи:

$$I = \frac{\varepsilon}{R_{\Sigma}} = 0,322 \text{ А};$$

3. Падение напряжения на приборах:

$$U_{VA} = U_{R_1 R_2} = \varepsilon - Ir = 21 - 0,322 = 20,068 \text{ В};$$

4. Сила тока, протекающего через приборы:

$$I_{AV} = \frac{U_{AV}}{R_{AV}} = \frac{20,068}{325} = 0,064 \text{ А};$$

5. Падение напряжения на вольтметре:

$$U_V = I_{AV}R_V = 0,064 \cdot 320 = 20,36 \text{ В};$$

**32.** На пластинку площадью  $S = 4 \text{ см}^2$ , которая отражает 70% и поглощает 30% падающего света, падает перпендикулярно свет с длиной волны 600 нм. Мощность светового потока 120 Вт. Какое давление оказывает свет на пластинку?

### Решение

$$p = \frac{W}{S} \frac{(1 + \rho)}{c} = \frac{120}{4 \cdot 10^{-4}} \frac{1 + 0,7}{3 \cdot 10^8} = 1,7 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \approx 1,7 \text{ мПа};$$

## Вариант 15

1. Зависимости от времени проекций на ось  $OX$  скорости четырёх тел, движущихся по оси  $OX$ , представлены в таблице.

|            |   |    |   |    |    |    |
|------------|---|----|---|----|----|----|
| $t, c$     | 0 | 2  | 4 | 6  | 8  | 10 |
| $v_1, m/c$ | 0 | 1  | 2 | 3  | 4  | 5  |
| $v_2, m/c$ | 0 | -2 | 0 | 1  | 3  | 1  |
| $v_3, m/c$ | 2 | 2  | 2 | 2  | 2  | 2  |
| $v_4, m/c$ | 0 | 2  | 8 | 18 | 32 | 50 |

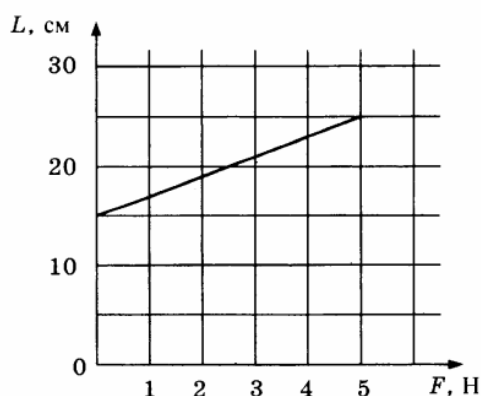
С постоянным ускорением двигалось тело

- 1) 1                      2) 2                      3) 3                      4) 4

### Решение

$$a_1 = \frac{\Delta v_i}{\Delta t_i} = 2 \frac{m}{c^2} = \text{const}; \quad \mapsto \quad (1)$$

2. На графике представлена длина пружины в зависимости от приложенной силы.



Коэффициент жёсткости пружины равен

- 1) 0,5 Н/м    3) 50 Н/м  
2) 2 Н/м    4) 200 Н/м

### Решение

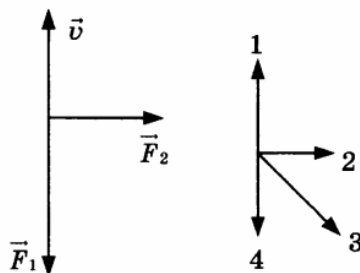
$$F = k\Delta\ell; \quad k = \frac{F}{\Delta\ell} = \frac{5}{0,1} = 50 \frac{H}{m};$$

3. Две шарика массами 200 г и 300 г движутся в перпендикулярных направлениях по направлению друг к другу: первый со скоростью 2 м/с, второй — со скоростью 1 м/с. Чему равен модуль импульса системы этих тел после абсолютно неупругого удара?

### Решение

$$|\vec{p}_1| = m_1 v_1 = 0,4 \frac{кг \cdot м}{с}; \quad |\vec{p}_2| = m_2 v_2 = 0,3 \frac{кг \cdot м}{с}; \quad |\vec{p}_\Sigma| = \sqrt{p_1^2 + p_2^2} = 0,5 \frac{кг \cdot м}{с};$$

4. К телу, движущемуся в инерциальной системе отсчёта со скоростью  $v$ , приложены две силы, как показано на рисунке

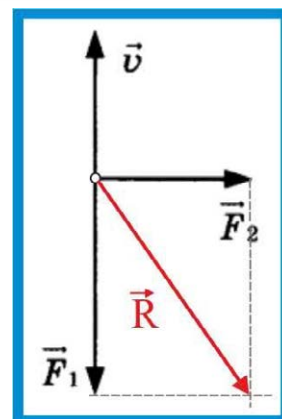


Какая стрелка правильно показывает направление вектора ускорения тела?

**Решение**

1. В соответствии со вторым законом Ньютона вектор ускорения тела, к которому приложена система плоских сходящихся сил, совпадает по направлению с вектором равнодействующей силы, которая определяется как геометрическая сумма всех сил системы:

$$\sum_{i=1}^{i=n} \vec{F}_i = m\vec{a}; \quad \vec{a} = \frac{1}{m} \vec{R}; \quad \mapsto (3);$$



5. Тело массой 3 кг обладает кинетической энергией 216 Дж. Чему равна скорость движения тела?

**Решение**

$$K = \frac{mv^2}{2}; \quad \Rightarrow \quad v = \sqrt{\frac{2K}{m}} = 12 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

6. У движущегося по окружности тела уменьшился радиус окружности при неизменной частоте обращения. Как при этом изменятся скорость движения тела и период обращения?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

**Решение**

1. Линейная скорость тела в соответствии с уравнением Эйлера:

$$v = \omega r; \quad \omega = 2\pi\nu = \text{const}; \quad \Rightarrow \quad r \downarrow; v \downarrow; \quad \mapsto (2);$$

2. Период обращения тела:

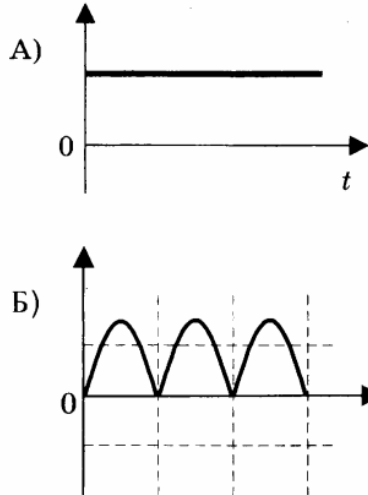
$$\omega = \frac{2\pi}{T}; \quad \omega = \text{const}; \quad \Rightarrow \quad T = \text{const}; \quad \mapsto (3);$$

7. Пружинный маятник совершает свободные незатухающие колебания. На графиках А и Б представлены изменения со временем физических величин, характери-



зующих колебания маятника. Установите соответствие между графиками и физическими величинами, которым соответствуют эти зависимости. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

**ГРАФИКИ**



**ФИЗИЧЕСКИЕ  
ВЕЛИЧИНЫ**

- 1) смещение от положения равновесия
- 2) скорость груза маятника
- 3) потенциальная энергия колебаний
- 4) полная энергия колебаний

**Решение**

А. Зависимость полной энергии колебаний от времени:

$$E = \frac{kA^2}{2} = \frac{mv_{\max}^2}{2} = \text{const}; \quad \mapsto (4);$$

Б. Зависимость потенциальной энергии колебаний от времени:

$$\Pi = \frac{kx(t)^2}{2}; \quad x(t) = A \sin \omega t; \quad \Pi(t) = \frac{k}{2} (\sin \omega t)^2; \quad \mapsto (3);$$

8. При увеличении средней кинетической энергии теплового движения молекул в 4 раза их средняя квадратичная скорость

- |                        |                        |
|------------------------|------------------------|
| 1) уменьшится в 4 раза | 3) уменьшится в 2 раза |
| 2) увеличится в 4 раза | 4) увеличится в 2 раза |

**Решение**

$$K_1 = \frac{3}{2} k_B T; \quad v = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}; \quad \Rightarrow \quad v_2 = 4v_1; \quad \mapsto (4);$$

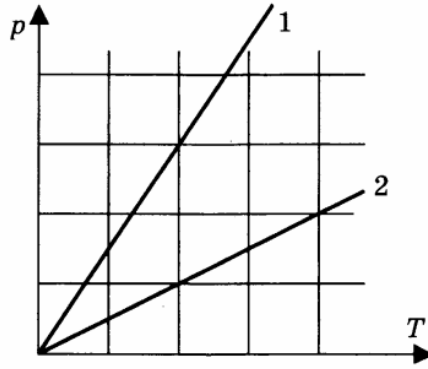
9. При постоянной температуре давление одного моля идеального газа увеличилось в 2 раза. Объем газа

- |                        |                        |
|------------------------|------------------------|
| 1) увеличился в 2 раза | 3) увеличился в 4 раза |
| 2) уменьшился в 2 раза | 4) не изменился        |

**Решение**

$$T = \text{const}; \quad p_1 V_1 = p_2 V_2; \quad V_2 = \frac{p_1}{p_2} V_1; \quad V_2 = \frac{1}{2} V_1; \quad \mapsto (2);$$

10. На рисунке представлен график зависимости давления от температуры для двух идеальных газов.



Чему равно отношение концентраций газов  $n_1/n_2$ ?

**Решение**

$$\left. \begin{aligned} p_1 &= n_1 k_B T; \\ p_2 &= n_2 k_B T; \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{p_1}{p_2} = \frac{n_1}{n_2}; \quad \frac{n_1}{n_2} = \frac{3}{1} = 3;$$

**11.** Идеальный одноатомный газ сжимают адиабатически. Как при этом изменяются его давление и температура?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличивается
- 2) уменьшается
- 3) не изменяется

**Решение**

$$\delta Q = 0; \quad A = -\Delta U; \quad p_1 V_1^\gamma = \text{const}; \quad TV^{\gamma-1} = \text{const}; \quad \gamma = \frac{i+2}{i};$$

1. Давление газа в адиабатическом процессе:

$$\frac{p_1}{p_2} = \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^\gamma; \quad V_1 > V_2; \Rightarrow p_2 > p_1; \quad \mapsto (1);$$

2. Температура в адиабатическом процессе:

$$\frac{T_1}{T_2} = \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1}; \quad V_1 > V_2; \Rightarrow T_2 > T_1; \quad \mapsto (1);$$

**12.** Установите соответствие между условиями протекания изопроцессов (правый столбец) и названием изопроцесса (левый столбец).

**НАЗВАНИЕ  
ИЗОПРОЦЕССА**  
А) адиабатный  
Б) изохорный

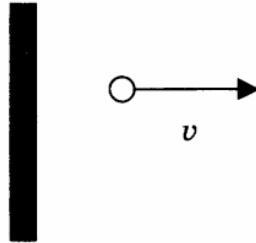
**УСЛОВИЯ ПРОТЕКАНИЯ  
ИЗОПРОЦЕССОВ**  
1) газ находится под подвижным поршнем  
2) газ находится в закрытом сосуде  
3) происходит теплообмен газа с окружающей средой  
4) не происходит теплообмен газа с окружающей средой



**Решение**

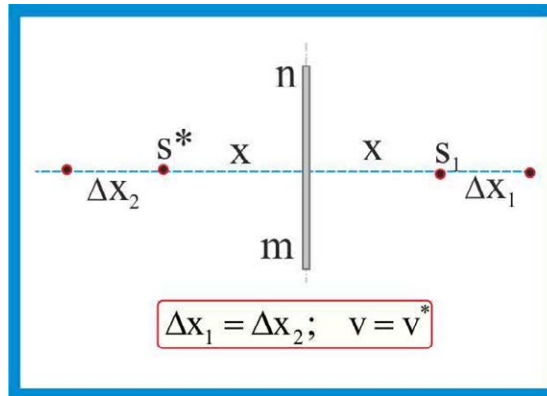
$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{0,25}{5} = 0,05 \text{ A};$$

15. По направлению от плоского зеркала со скоростью  $v = 0,2 \text{ м/с}$  катится шар (см. рис., вид сверху).

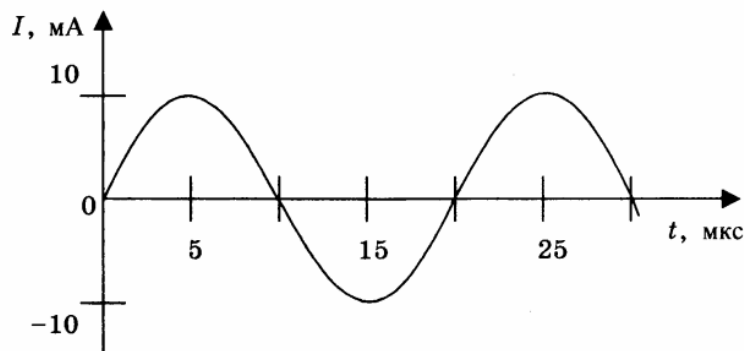


С какой скоростью движется изображение шара в зеркале?

**Решение**



16. На рисунке приведён график гармонических колебаний тока в колебательном контуре.

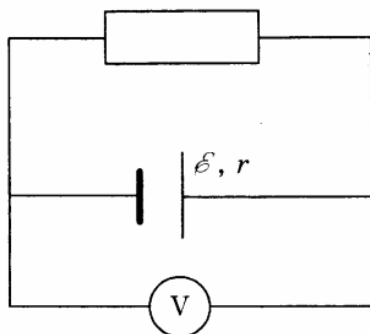


Чему будет равен период колебаний в контуре, если катушку в этом контуре заменить на другую катушку, индуктивность которой в 4 раза больше?

**Решение**

$$T_1 = 2\pi\sqrt{LC}; \quad T_1 = 20 \mu\text{с}; \quad T_2 = 2\pi\sqrt{4LC}; \quad T_2 = 2T_1 = 40 \mu\text{с};$$

17. На рисунке представлена электрическая цепь, состоящая из источника тока, резистора и вольтметра. Как изменятся сопротивление цепи и показания вольтметра при подключении такого же резистора параллельно?



Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

### Решение

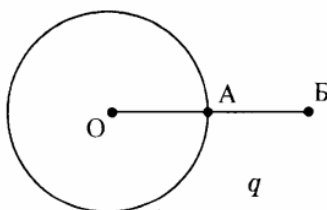
1. Сопротивление цепи:

$$R_1 = R; \quad R_2 = \frac{R \cdot R}{R + R} = \frac{R}{2}; \quad \Rightarrow \quad R \downarrow; \quad \mapsto \quad (2);$$

2. Показания вольтметра:

$$U_V = IR; \quad U_{V1} = \frac{\varepsilon R}{R + r}; \quad U_{V2} = \frac{\varepsilon R}{2(0,5R + r)}; \quad \Rightarrow \quad U_{V2} < U_{V1}; \quad \mapsto \quad (2);$$

18. Уединённому проводящему шару сообщён заряд  $q$ . Расстояние  $OA = AB$ . Модуль напряжённости электростатического поля шара в точке Б равен  $E_B$ . Чему равен модуль вектора напряжённости электростатического поля в точках О и А?



Установите соответствие между физическими величинами и их значениями. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

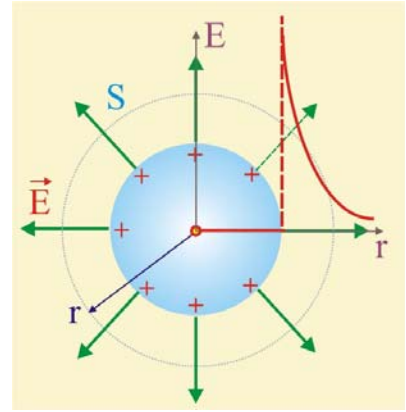
| ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА   | ЕЁ ЗНАЧЕНИЕ |
|---|-------------|
| А) модуль напряжённости электростатического поля шара в точке О | 1) $4E_B$   |
|   | 2) $2E_B$   |
|   | 3) $E_B$    |
|   | 4) 0        |
| Б) модуль напряжённости электростатического поля шара в точке А |             |

### Решение

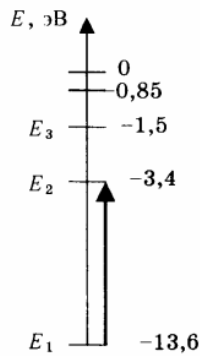
1. На основании уравнений электростатики можно найти величину напряжённости электрического поля, создаваемого равномерно заряженным проводящим шаром

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2}.$$

2. Как видно, уравнение электрического поля равномерно заряженного проводящего шара совпадает с полем точечного заряда т.е. напряжённость обратно пропорциональна квадрату радиуса виртуальной сферы, на поверхности которой определяется модуль  $\vec{E}$ . Поле внутри шара, как и у всякого проводника будет нулевым  $\vec{E}_0 = 0$ , максимальное значение напряжённости будет иметь место на поверхности шара  $\vec{E}_A = 4\vec{E}_B$  и будет уменьшаться пропорционально  $1/r^2$ .



19. На рисунке показаны энергетические уровни атома водорода.



Переходу, показанному на рисунке стрелкой, соответствует

- 1) поглощение атомом энергии 3,4 эВ
- 2) излучение атомом энергии 13,6 эВ
- 3) поглощение атомом энергии 10,2 эВ
- 4) излучение атомом энергии 10,2 эВ

### Решение

1. В соответствии со вторым постулатом Бора при переходе на более высокий энергетический уровень атом поглощает фотон с энергией:

$$\epsilon_f = E_2 - E_1 = 13,6 - 3,4 = 10,2 \text{ эВ}; \quad \mapsto (3).$$

20. Радиоактивный калифорний  ${}_{98}^{244}\text{Cf}$  испытал 3  $\alpha$ -распада и 5  $\beta$ -распадов. Получившийся в результате изотоп ядра будет иметь заряд  $Z$  и массовое число  $A$ :

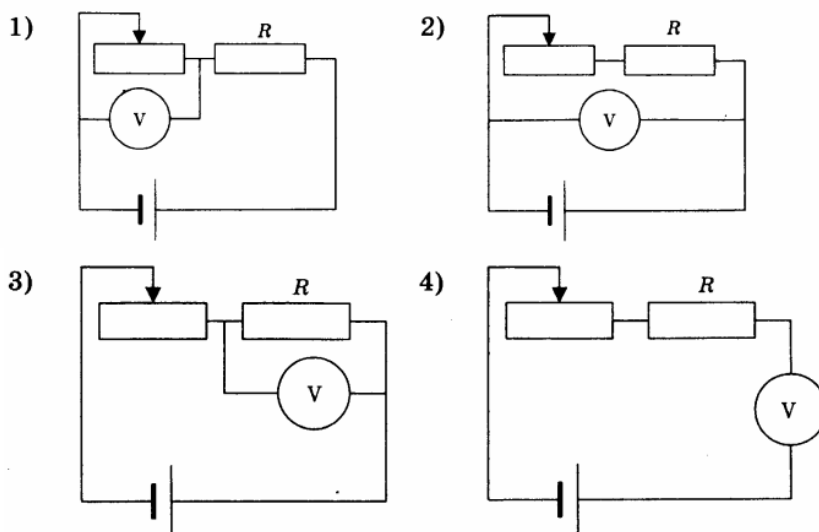
- |              |              |
|--------------|--------------|
| 1) $A = 232$ | 3) $A = 229$ |
| $Z = 97$     | $Z = 90$     |
| 2) $A = 235$ | 4) $A = 233$ |
| $Z = 96$     | $Z = 87$     |

### Решение

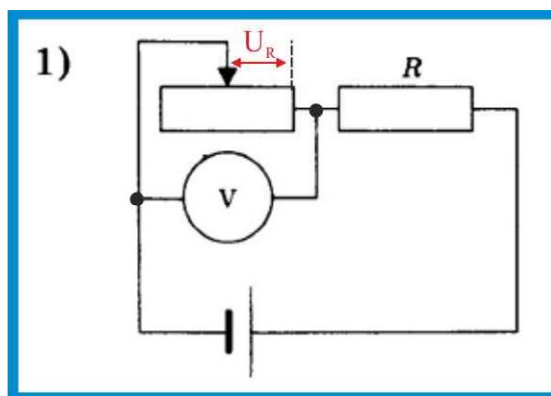
$$\alpha \equiv {}_2^4\text{He}; \quad \beta \equiv {}_{-1}^0\text{e};$$



23. Во время лабораторной работы необходимо было измерить напряжение на реостате. Это можно сделать с помощью схемы



Решение



24. Исследовалась зависимость удлинения пружины от массы подвешенных к ней грузов. Результаты измерений представлены в таблице.

|          |   |      |      |      |      |      |
|----------|---|------|------|------|------|------|
| $m$ , кг | 0 | 0,1  | 0,2  | 0,3  | 0,4  | 0,5  |
| $x$ , м  | 0 | 0,02 | 0,04 | 0,06 | 0,07 | 0,09 |

Погрешности измерений величин  $m$  и  $x$  равнялись соответственно 0,01 кг и 0,01 м.

Выберите два утверждения, соответствующие результатам этих измерений.

1. Коэффициент упругости пружины равен 5 Н/м.
2. Коэффициент упругости пружины равен 50 Н/м.
3. При подвешенном к пружине грузе массой 150 г её удлинение составит 4 см.
4. С увеличением массы растяжение пружины уменьшается.
6. При подвешенном к пружине грузе массой 250 г её удлинение составит 5 см.

Решение



$$F = kx; \quad k = \frac{F}{x} = \frac{mg}{x} \approx \frac{0,1 \cdot 10}{0,02} \approx \frac{0,2 \cdot 10}{0,04} \approx 50 \frac{\text{Н}}{\text{м}};$$

25. Шарик массой 50 г бросили вертикально вниз с высоты 5 м с начальной скоростью 2 м/с. Перед ударом о землю скорость шарика была 8 м/с. Чему равна сила сопротивления движению шарика?

**Решение**

1. Скорость шарика без учёта сопротивления:

$$h = \frac{gt^2}{2}; \quad t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = 1\text{с}; \quad v_1 = v_0 + gt = 12 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

2. Сила сопротивления на основании теоремы об изменении кинетической энергии:

$$K_1 - K_2 = A(F_s); \quad \frac{mv_1^2}{2} - \frac{mv_2^2}{2} = F_s h; \quad F_s = \frac{m(v_1^2 - v_2^2)}{2h} = \frac{0,05(144 - 64)}{10} = 0,4\text{Н};$$

26. Две частицы, отношение масс которых  $\frac{m_1}{m_2} = \frac{1}{4}$ , отноше-

ние зарядов  $\frac{q_1}{q_2} = \frac{1}{2}$ , попадают в однородное магнитное

поле, вектор магнитной индукции которого перпендику-

лярен векторам скорости частиц. Отношение радиусов

кривизны траекторий первой и второй частиц в магнит-

ном поле  $\frac{R_1}{R_2} = \frac{1}{\sqrt{2}}$ . Чему равно отношение кинетических

энергий частиц  $\frac{E_{K1}}{E_{K2}}$  ?

**Решение**

$$\left. \begin{aligned} q_1 v_1 B &= \frac{m_1 v_1^2}{R_1}; \\ q_2 v_2 B &= \frac{m_2 v_2^2}{R_2}; \end{aligned} \right\} \Rightarrow \left. \begin{aligned} q_1 R_1 &= m_1 v_1; \\ q_2 R_2 &= m_2 v_2; \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{v_1}{v_2} = \frac{q_1 R_1 m_2}{q_2 R_2 m_1} = \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{2}} 4 = \frac{2}{\sqrt{2}};$$

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{m_1 v_1^2}{m_2 v_2^2} = \frac{1}{4} \frac{4}{2} = \frac{1}{2};$$

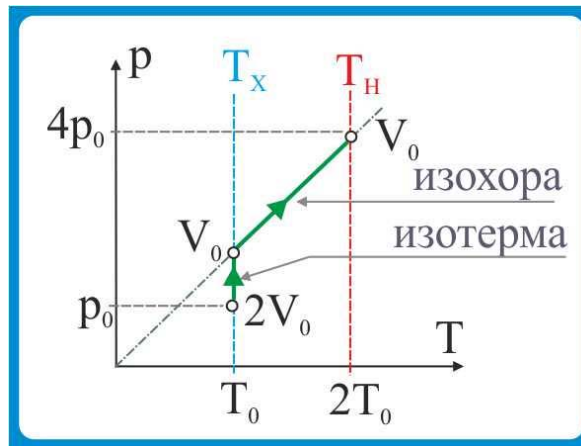
27. На дифракционную решётку с количеством штрихов 500 на 1 мм перпендикулярно падает свет. Для некоторой длины волны максимум второго порядка наблюдается под углом 30°. Определите длину волны.

**Решение**

$$\frac{1}{N} \sin \varphi = k\lambda; \quad \Rightarrow \quad \lambda = \frac{\sin \varphi}{kN} = \frac{0,5}{2 \cdot 5 \cdot 10^5} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м} \equiv 500\text{нм};$$

28. Рабочее тело теплового двигателя, находящегося в контакте с холодильником, медленно сжимают, а затем нагревают до температуры нагревателя. Начальное состояние газа характеризуется параметрами  $p_0, 2V_0, T_0$ , конечное состояние —  $4p_0, V_0, 2T_0$ . Количество вещества не меняется. Постройте график зависимости давления газа от его температуры в описанном процессе. Построение поясните, указав, какие физические закономерности вы применили.

### Решение



29. Шар, наполовину погруженный в воду, лежит на дне сосуда. Масса шара 2 кг, плотность шара  $8000 \text{ кг/м}^3$ . С какой силой шар давит на дно сосуда? Сделайте схематический рисунок с указанием действующих на шар сил.

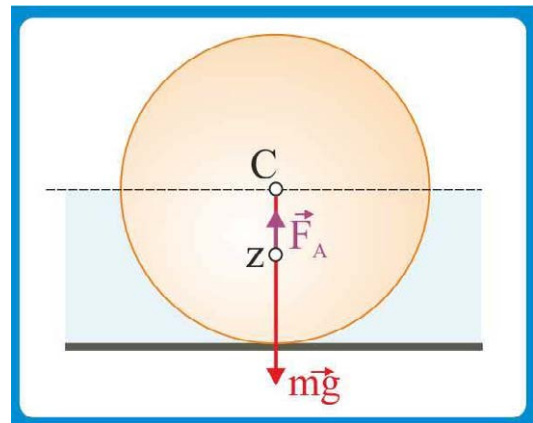
### Решение

1. Объем шара:

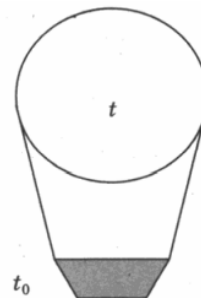
$$V = \frac{m}{\rho} = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3;$$

2. Сила давления шара на горизонтальное дно определится в виде геометрической разности силы тяжести и силы Архимеда

$$N = mg - F_A = mg - \rho_{\text{в}} g \frac{1}{2} V = 18,75 \text{ Н};$$



30. Аэростат, оболочка которого имеет массу  $M = 200 \text{ кг}$  и объем  $V = 350 \text{ м}^3$ , наполняют горячим воздухом при нормальном атмосферном давлении. Температура окружающего воздуха  $t_0 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ . Какой должна быть температура воздуха внутри оболочки, чтобы он начал подниматься? Оболочка аэростата нерастяжима и имеет в нижней части небольшое отверстие.



### Решение

1. Условие безразличного равновесия шара в воздухе

$$F_A = m_1 g + m_2 g; \quad \rho_0 g V = m_1 g + \rho g V; \quad \Rightarrow \quad \rho_0 V = m_1 + \rho V; \quad \Rightarrow \quad \rho_0 = \frac{m_1}{V} + \rho;$$

2. Плотность окружающего шар воздуха  $\rho_0$  и плотность нагретого воздуха внутри шара  $\rho$ :

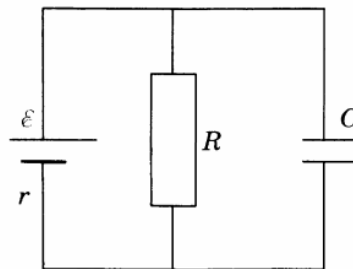
$$\left. \begin{aligned} \rho V &= \frac{m}{\mu} RT; \quad \Rightarrow \quad p = \frac{m}{V} \frac{RT}{\mu}; \quad \Rightarrow \quad p = \rho \frac{RT}{\mu}; \quad \rho = \frac{p\mu}{RT}; \quad \Rightarrow \\ \rho_0 &= \frac{\mu p}{RT_0}; \\ \rho &= \frac{\mu p}{RT_x} \end{aligned} \right\}$$

3. Подставим значение плотностей в условие безразличного равновесия шара:

$$\frac{\mu p}{RT_0} = \frac{\mu p}{RT_x} + \frac{m_1}{V}; \quad \Rightarrow \quad \frac{\mu p}{R} \left( \frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_x} \right) = \frac{m_1}{V}; \quad \frac{m_1 R}{\mu p V} = \frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_x};$$

$$T_x = \frac{\mu p V T_0}{\mu p V - m_1 R T_0} = \frac{29 \cdot 10^{-3} \cdot 10^5 \cdot 350 \cdot 273}{29 \cdot 10^{-3} \cdot 10^5 \cdot 350 - 200 \cdot 8,3 \cdot 273} \approx 507 \text{ K} \approx 234 \text{ } ^\circ\text{C};$$

**31.** К источнику тока с ЭДС  $\varepsilon = 5$  В и внутренним сопротивлением  $r = 1$  Ом подключили параллельно соединённые резистор сопротивлением  $R = 4$  Ом и плоский конденсатор ёмкостью  $C = 10^{-6}$  Ф. Каков заряд конденсатора?



### Решение

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r} = 1 \text{ A}; \quad U_R = U_C = IR = 4 \text{ В}; \quad \frac{CU_C^2}{2} = \frac{q_C^2}{2C}; \quad \Rightarrow \quad q_C = CU = 4 \text{ мкКл};$$

**32.** В идеальном колебательном контуре происходят электромагнитные колебания с периодом  $8\pi \cdot 10^{-4}$  с. В некоторый момент времени заряд конденсатора равен 5 нКл, а сила тока в контуре 8 мкА. Чему равна амплитуда колебаний заряда конденсатора?

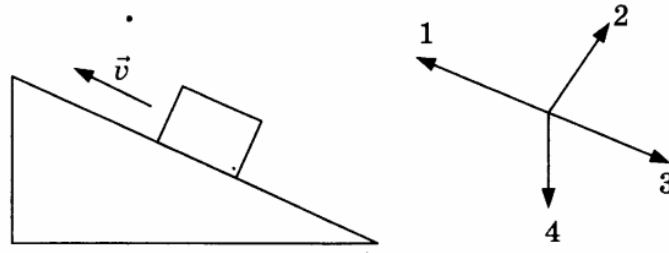
### Решение

$$\left. \begin{aligned} q &= q_m \cos\left(\frac{2\pi}{T} t\right); \\ i &= \frac{dq}{dt} = q_m \frac{2\pi}{T} \sin\left(\frac{2\pi}{T} t\right) \end{aligned} \right\}; \quad \text{tg}\left(\frac{2\pi}{T} t\right) = \frac{i}{q} 4 \cdot 10^{-4} = 0,64; \quad \frac{2\pi}{T} t \approx 32,6^\circ;$$

$$q_m \approx \frac{q}{\cos 32,6^\circ} \approx 5,94 \cdot 10^{-9} \text{ Кл} \cong 6 \text{ нКл};$$

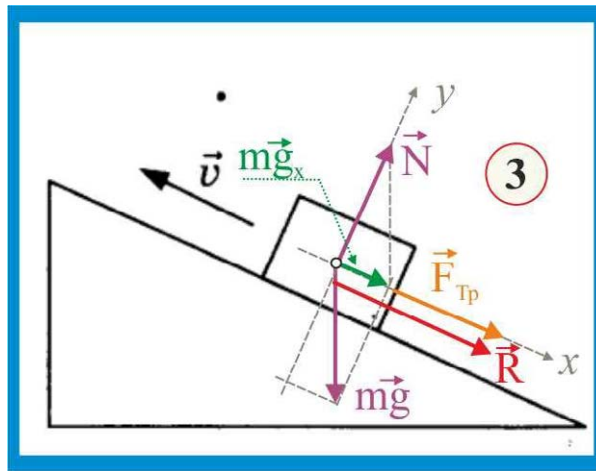


4. Бруску сообщили скорость  $v$ , направленную вверх вдоль наклонной плоскости, как показано на рисунке.

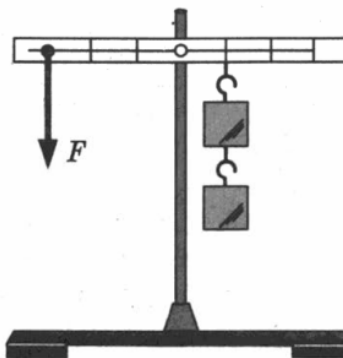


Какая стрелка правильно указывает направление вектора равнодействующей всех приложенных к бруску сил?

**Решение**



5. Масса каждого груза, подвешенного к рычагу, равна 0,6 кг. Рычаг находится в равновесии, если к нему приложена сила  $F$ , как показано на рисунке. Чему равно значение силы  $F$ ?



**Решение**

$$2mgl_1 = Fl_2; \quad l_1 = 1 \text{ y.e.} \quad l_2 = 3 \text{ y.e.}$$

$$F = \frac{2mgl_1}{l_2} = \frac{2 \cdot 0,6 \cdot 10 \cdot 1}{3} = 4 \text{ Н};$$

6. Тело брошено вертикально вверх со скоростью  $v_0$ , сопротивлением воздуха можно пренебречь. Как изменятся при движении тела вверх его ускорение и потенциальная энергия?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличится  
2) уменьшится  
3) не изменится

### Решение

1. Ускорение во всё время движения постоянно по модулю и направлению и равно ускорению свободного падения:

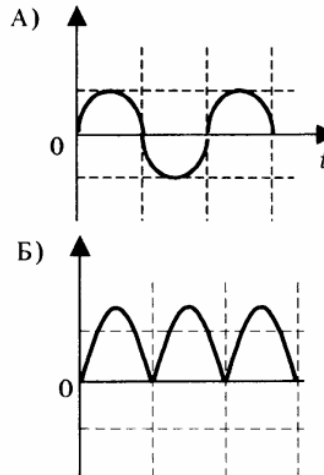
$$\vec{a} = \vec{g} = \text{const}; \quad \mapsto \quad (3)$$

2. Потенциальная энергия тела, брошенного вертикально вверх

$$y(t) = v_0 t - \frac{gt^2}{2}; \quad t \uparrow; y(t) \uparrow; \quad \Pi(t) = mgy(t); \quad \Rightarrow \quad \Pi(t) \uparrow; \quad \mapsto \quad (1);$$

7. Пружинный маятник совершает свободные незатухающие колебания. На графиках А и Б представлены изменения со временем физических величин, характеризующих колебания маятника. Установите соответствие между графиками и физическими величинами, которым соответствуют эти зависимости. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

#### ГРАФИКИ



#### ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- 1) смещение от положения равновесия  
2) период колебаний  
3) кинетическая энергия колебаний  
4) полная энергия колебаний

### Решение

А. Зависимость смещения груза из положения равновесия от времени:

$$y(t) = y_{\max} \sin \omega t = y_{\max} \sin\left(\frac{2\pi}{T} t\right); \quad \mapsto \quad (1);$$

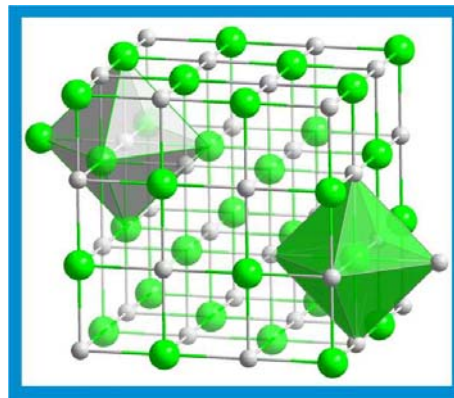
Б. Зависимость кинетической энергии от времени:

$$v(t) = \frac{dy}{dt} = y_{\max} \omega \cos \omega t; \quad K = \frac{mv^2}{2} = \frac{m}{2} \omega^2 \cos^2 \omega t; \quad \mapsto \quad (3);$$

8. Для кристаллических тел справедливым является утверждение:
- 1) атомы кристаллического тела неподвижны
  - 2) атомы совершают колебания вблизи положений равновесия
  - 3) атомы периодически перепрыгивают из одного положения в другое
  - 4) атомы двигаются по кристаллу свободно

### Решение

1. Кристаллические структуры имеют строго упорядоченную пространственную организацию, связи между элементами ограничивают степени свободы атомов и ионов настолько, что они могут только совершать колебания около положения статического равновесия (в соответствии с классическими представлениями). Амплитуда колебаний наиболее явно зависит от температуры.



9. При постоянном объёме температура одного моля идеального газа увеличилась в 3 раза. Давление газа
- 1) увеличилось в 3 раза
  - 2) уменьшилось в 3 раза
  - 3) увеличилось в 9 раз
  - 4) не изменилось

### Решение

$$\left. \begin{array}{l} p_1 V = \nu RT; \\ p_2 V = \nu R 3T; \end{array} \right\} p_2 = 3p_1; \quad \mapsto (1);$$

10. Одноатомный идеальный газ в количестве 2 моль совершает работу 166 Дж, температура газа при этом увеличилась на 10 К. Какое количество теплоты было сообщено газу? Ответ округлите до целых.

### Решение

$$Q = \Delta U + A; \quad \Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T = \frac{3}{2} \cdot 2 \cdot 8,3 \cdot 10 = 249 \text{ Дж}; \quad Q = 415 \text{ Дж};$$

11. В сосуде под поршнем находится смесь сухого воздуха и насыщенного водяного пара. Объём смеси уменьшили, при этом произошла частичная конденсация пара. Температура оставалась неизменной. Как изменились в результате парциальные давления сухого воздуха и пара?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличилось
- 2) уменьшилось
- 3) не изменилось

### Решение

1. Парциальное давление сухого воздуха увеличилось т.к. при изотермическом сжатии уменьшение объёма сопровождается пропорциональным увеличением давления:

$$T = \text{const}; \quad p_1 V_1 = p_2 V_2; \quad \Rightarrow \quad V_1 \downarrow; p_2 \uparrow; \quad \mapsto (1);$$

2. Пар, содержащийся под поршнем в начальной стадии, был насыщенным, при увеличении внешнего давления он стал частично конденсироваться и давление насыщенного пара не изменилось т.к. процесс изотермический:

$$p_{\text{нп}} = \text{const}; \quad \mapsto (3);$$

12. Установите соответствие между физическими величинами (левый столбец) и формулами, по которым их можно рассчитать (правый столбец)

| ФИЗИЧЕСКАЯ<br>ВЕЛИЧИНА                            | ФОРМУЛА ДЛЯ<br>РАСЧЁТА          |
|---|---------------------------------|
| А) количество теплоты                             | 1) $\frac{3}{2} \nu R \Delta T$ |
| Б) изменение внутренней энергии одноатомного газа | 2) $p \Delta V$                 |
|   | 3) $c m \Delta T$               |
|   | 4) $\frac{3}{2} \nu R T$        |

#### Решение

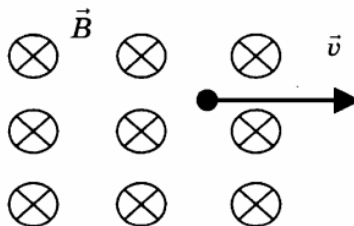
1. Количество теплоты:

$$Q = c m \Delta T; \quad \mapsto (3)$$

2. Изменение внутренней энергии:

$$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T; \quad \mapsto (1);$$

13. Отрицательно заряженная частица движется в однородном магнитном поле со скоростью  $v$ . Вектор скорости частицы направлен перпендикулярно вектору магнитной индукции.



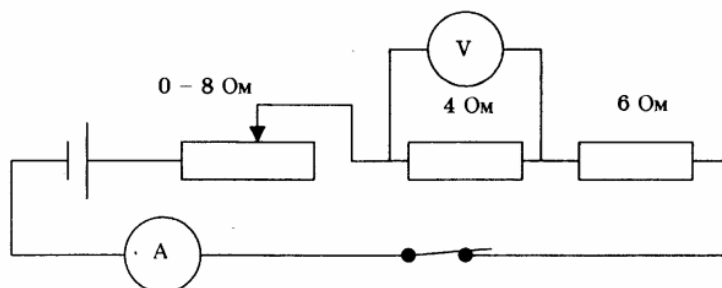
Действующая на частицу сила направлена

- 1) вниз
- 2) вверх
- 3) перпендикулярно плоскости рисунка от нас
- 4) перпендикулярно плоскости рисунка к нам





16. На рисунке представлена электрическая цепь.



Вольтметр показывает напряжение 2 В. Какую силу тока показывает амперметр?

**Решение**

$$I_A = \frac{U_V}{R} = \frac{2}{4} = 0,5 \text{ А};$$

17. Плоский воздушный конденсатор ёмкостью  $C$  подключили к источнику тока. Как изменятся ёмкость конденсатора и его заряд, если, отключив конденсатор от источника тока, увеличить расстояние между его обкладками?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличится      2) уменьшится      3) не изменится

**Решение**

1. Электрическая ёмкость плоского воздушного конденсатора:

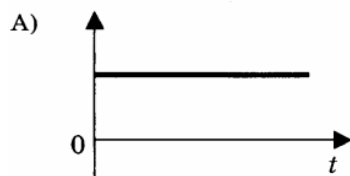
$$C = \epsilon_0 \frac{S}{d}; \quad d \uparrow; C \downarrow; \quad \mapsto (2);$$

2. Заряд конденсатора при его отключении от источника в соответствии с законом сохранения заряда останется неизменным:

$$q_C = \text{const}; \quad \mapsto (3);$$

18. В идеальном колебательном контуре происходят электромагнитные колебания. На графиках А и Б представлены изменения со временем физических величин, характеризующих электромагнитные колебания в контуре. В момент времени  $t = 0$  зарядили конденсатор. Установите соответствие между графиками и физическими величинами, которым соответствуют эти зависимости. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами

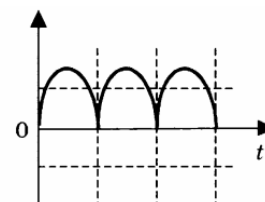
**ГРАФИКИ**



**ФИЗИЧЕСКИЕ  
ВЕЛИЧИНЫ**

- 1) сила тока в контуре
- 2) заряд конденсатора
- 3) период колебаний
- 4) энергия магнитного поля катушки

Б)



**Решение**

А. Период электромагнитных колебаний в LC-контуре:

$$T = 2\pi\sqrt{LC} \neq f(t) = \text{const}; \quad \mapsto \quad (3);$$

Б. Энергия магнитного поля катушки:

$$W_L = \frac{Li^2}{2}; \quad i^2(t) = i_{\text{max}}^2 \cos^2 \frac{2\pi}{T}t; \quad \mapsto \quad (4);$$

19. При радиоактивном распаде число распавшихся ядер
- 1) уменьшается с течением времени
  - 2) увеличивается с течением времени
  - 3) не изменяется с течением времени
  - 4) уменьшается или увеличивается с течением времени

### Решение

1. В соответствии с законом радиоактивного распада;

$$N(t) = N_0 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}; \quad \Rightarrow \quad t \uparrow; N(t) \downarrow; \quad \mathfrak{R} = N_0 - N(t); \quad \Rightarrow \quad \mathfrak{R} \uparrow \quad \mapsto \quad (2)$$

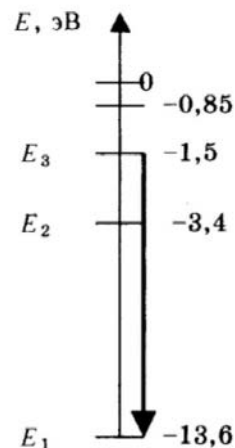
20. Радиоактивный торий  ${}_{90}^{232}\text{Th}$ , испытав 2  $\alpha$ -распада, превратился в изотоп
- |                                    |                                     |
|------------------------------------|-------------------------------------|
| 1) свинца ${}_{82}^{228}\text{Pb}$ | 3) свинца ${}_{82}^{207}\text{Pb}$  |
| 2) радона ${}_{86}^{224}\text{Rn}$ | 4) висмута ${}_{83}^{209}\text{Bi}$ |

### Решение

$$\alpha \equiv {}_2^4\text{He}; \quad A_X = 232 - 2 \cdot 4 = 224; \quad Z_X = 90 - 2 \cdot 2 = 86; \quad {}_{86}^{224}\text{X} \equiv {}_{86}^{224}\text{Rn}; \quad \mapsto \quad (2);$$

21. На рисунке показаны энергетические уровни атома водорода.

Какая энергия выделяется при переходе, показанном на рисунке стрелкой?



### Решение

1. В соответствии со вторым постулатом Бора при переходе на более низкий энергетический уровень атом испускает фотон с энергией:

$$\varepsilon_f = E_3 - E_1 = 13,6 - 1,5 = 12,1 \text{ эВ};$$

22. При измерении давления света на поверхность увеличили интенсивность падающего света, не изменяя частоты. Как при этом изменятся длина световой волны и количество фотонов, падающих на поверхность каждую секунду?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

### Решение

1. Длина световой волны без учёта влияния среды зависит только от типа источника волн и не зависит в общем случае от интенсивности светового потока:

$$\lambda = \text{const}; \quad \mapsto \quad (3);$$

2. Количество падающих на единицу поверхности фотонов каждую секунду:

$$\mathfrak{N} \sim \frac{\varepsilon_r N \tau}{S}; \quad \mathfrak{N} \uparrow; N \uparrow; \quad \mapsto \quad (1);$$

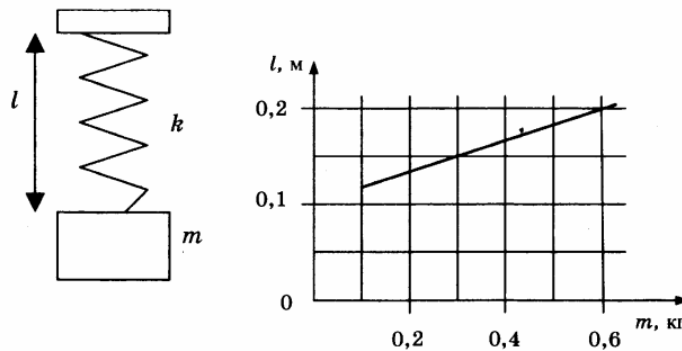
23. Измеряя силу взаимодействия  $F$  двух известных шарообразных масс  $m_1$  и  $m_2$ , центры которых находятся на расстоянии  $r$  друг от друга, можно определить

- 1) гравитационную постоянную  $G$
- 2) постоянную Больцмана  $k$
- 3) постоянную Планка  $h$
- 4) постоянную Ридберга  $R$

### Решение

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}; \quad \Rightarrow \quad G = \frac{F r^2}{m_1 m_2}; \quad \mapsto \quad (1);$$

24. На графике представлены результаты измерения длины пружины  $l$  при различных значениях массы  $m$  подвешенных к пружине грузов.



Выберите два утверждения, соответствующие результатам измерений.

1. Длина недеформированной пружины равна 10 см.
2. При массе груза, равной 300 г, удлинение пружины составляет 15 см.
3. Коэффициент жёсткости пружины примерно равен 60 Н/м.
4. С увеличением массы груза коэффициент жёсткости пружины увеличивался.
5. Деформация пружины не изменялась.

### Решение

1. Утверждение верное:

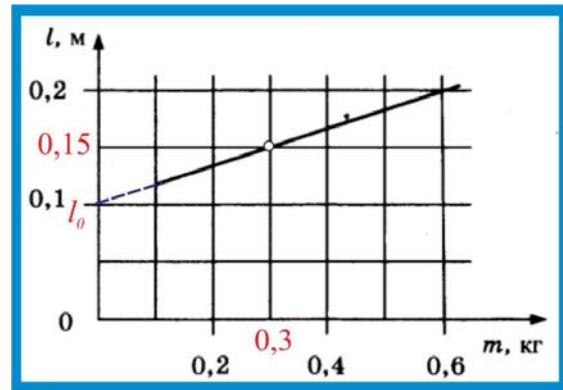
$$\ell_0 = 0,1\text{м};$$

2. Неверное утверждение т.к.

$$\Delta\ell_{0,3} = \ell_{0,3} - \ell_0 = 0,05\text{м};$$

3. Утверждение верное:

$$k = \frac{mg}{\Delta\ell} = \frac{0,3 \cdot 3}{0,05} = 60 \frac{\text{Н}}{\text{м}};$$



25. Небольшой груз массой 200 г совершает гармонические колебания по закону  $x = 0,05 \cdot \sin(2\pi t)$  (м). Чему равна максимальная кинетическая энергия груза? Ответ выразите в мДж, округлив до целых.

### Решение

$$v_x = \frac{dx}{dt} = 0,05 \cdot 2\pi \cos(2\pi t); \quad v_{\max} = 2\pi \cdot 0,05 = 0,314 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$K_{\max} = \frac{mv_{\max}^2}{2} \approx \frac{0,2 \cdot 0,0986}{2} \approx 9,86 \cdot 10^{-3} \text{ Дж} \approx 10 \text{ мДж};$$

26. Проводник длиной 20 см и массой 20 г находится в однородном магнитном поле индукцией 0,05 Тл и расположен перпендикулярно линиям индукции. Ток какой силы нужно пропустить по проводнику, чтобы сила, действующая на проводник со стороны магнитного поля, уравновесила силу тяжести проводника?

### Решение

$$F_A = mg; \quad IB\ell = mg; \quad \Rightarrow \quad I = \frac{mg}{B\ell} = \frac{2 \cdot 10^{-2} \cdot 10}{0,05 \cdot 0,2} = 20 \text{ А};$$

27. Иголка высотой 3 см расположена перпендикулярно главной оптической оси тонкой собирающей линзы на расстоянии 40 см от линзы. Оптическая сила линзы 3 дптр. Найдите высоту изображения иголки. Ответ выразите в сантиметрах.

### Решение

1. Фокусное расстояние линзы:

$$F = \frac{1}{D} \approx 0,33 \text{ м} = 33 \text{ см};$$

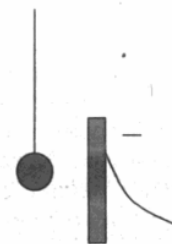
2. Расстояние от плоскости линзы до изображения:

$$F = \frac{df}{d+f}; \quad \Rightarrow \quad f = \frac{dF}{d-F} = \frac{40 \cdot 33}{40-33} = 188,6 \text{ см};$$

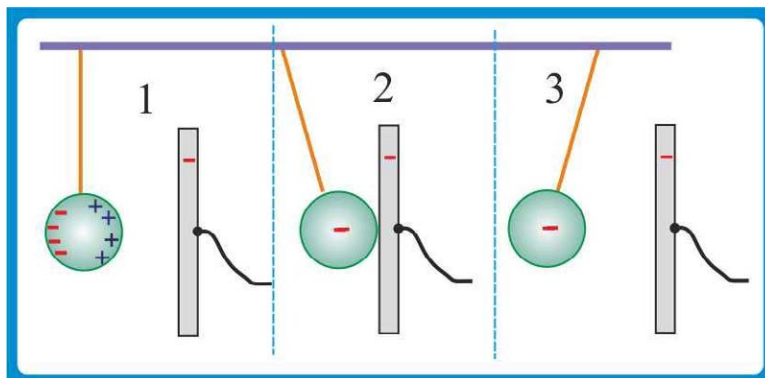
3. Размер изображения:

$$\frac{h}{H} = \frac{f}{d}; \quad h = H \frac{f}{d} = 3 \frac{188,6}{40} = 14,1 \text{ см};$$

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.

29. Кусок пластилина сталкивается с покоящимся на горизонтальной поверхности стола бруском и прилипает к нему. Скорость пластилина перед ударом равна  $v_{пл} = 5$  м/с. Масса бруска в 4 раза больше массы пластилина. Коэффициент трения скольжения между бруском и столом  $\mu = 0,25$ . На какое расстояние переместятся слипшиеся брусок с пластилином к моменту, когда их скорость уменьшится на 40%?

### Решение

1. Скорость бруска с налипшим пластилином в момент начала совместного движения:

$$mv_{пл} = 5mu_1; \quad u_1 = \frac{v_{пл}}{5} = 1 \frac{м}{с};$$

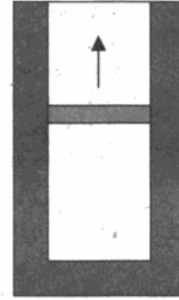
2. Скорость бруска с налипшим пластилином в заданный момент времени, когда их совместная скорость уменьшится на 40%

$$u_2 = 0,6u_1 = 0,6 \frac{м}{с};$$

3. В соответствии с теоремой об изменении кинетической энергии:

$$K_1 - K_2 = A(F_T); \quad u_1^2 - u_2^2 = 2\mu gS; \quad \Rightarrow \quad S = \frac{u_1^2 - u_2^2}{2\mu g} = \frac{1 - 0,36}{5} = 0,128\text{м};$$

30. В вертикальном теплоизолированном цилиндрическом сосуде под поршнем находится 0,5 моль гелия, нагретого до некоторой температуры. Поршень сначала удерживают, затем отпускают, и он начинает подниматься. Масса поршня 1 кг. Какую скорость приобретёт поршень к моменту, когда поршень поднимется на 4 см, а гелий охладится на 20 К? Трением и теплообменом с поршнем пренебречь.



### Решение

1. Процесс адиабатический  $\delta Q = 0$ :

$$\Delta U = A, \quad \Rightarrow \quad \frac{3}{2} \nu R \Delta T = \frac{mv^2}{2} + mgh; \quad \Rightarrow \quad v = \sqrt{\frac{3\nu R \Delta T - 2mgh}{m}} = 15,75 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

31. К источнику тока с внутренним сопротивлением  $r = 1,5$  Ом подключён реостат, сопротивление которого можно изменять в пределах от 1 Ом до 10 Ом. Максимальная мощность, выделяемая на реостате,  $P = 37,5$  Вт. Чему равна ЭДС источника тока?

### Решение

1. Рассмотрим источник тока с заданной величиной ЭДС  $\varepsilon$  и внутренним сопротивлением  $r$  нагруженный на внешнее сопротивление  $R$ . На переменном сопротивлении (реостате) будет выделяться активная электрическая мощность  $N_a$

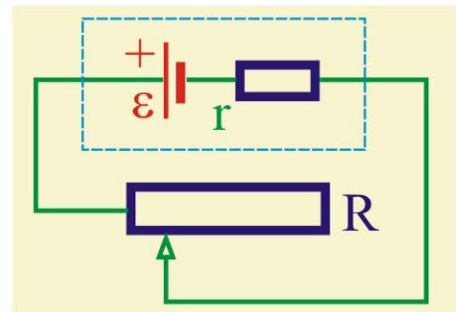
$$N = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = IU = I^2 R = \frac{U^2}{R};$$

$$N_a = UI = I^2 R = \varepsilon^2 \frac{R}{(R + r)^2}.$$

2. Для выяснения величины максимально возможной активной мощности  $N_{a(\max)}$  будем изменять величину внешнего сопротивления до величины  $R_m$ . Математически это означает определение экстремума функции  $N_a = f(R)$  путём её дифференцирования по сопротивлению и приравнивания производной к нулю, стандартная процедура нахождения экстремума функции:

$$\frac{dN_a}{dR} = \varepsilon^2 \frac{r^2 - R_m^2}{(r + R_m)^4} = 0.$$

3. Так как  $R$  и  $r$  всегда положительные величины, то условие выполняется при  $r = R_m$ . Мощность, выделяемая во внешней цепи, достигает возможно большего значения при равенстве внутреннего источника тока и внешнего сопротивления. Сила тока в этом режиме составит



$$I = \frac{\varepsilon}{2r}.$$

4. Максимально возможная сила тока в цепи будет иметь место при  $R = 0$ , т.е. в режиме короткого замыкания клемм источника тока:

$$I_{\max} = \frac{\varepsilon}{r}.$$

Наибольшее значение мощности при этом составит:

$$N_{a(\max)} = \frac{\varepsilon^2}{4r}. \Rightarrow \varepsilon = \sqrt{4rN_{a(\max)}} = 15\text{В};$$

---

**32.** Работа выхода электрона из металлической пластины:

$$A_{\text{вых}} = 3,68 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$$

Какова максимальная скорость электронов, выбиваемых из пластины светом с частотой  $\nu = 7 \cdot 10^{14}$  Гц?

**Решение**

$$h\nu = \frac{m_e v_{\max}^2}{2} + A; \quad v_{\max} = \sqrt{\frac{2h\nu - A}{m_e}};$$

$$v_{\max} \approx \sqrt{\frac{2 \cdot 6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 7 \cdot 10^{14} - 2 \cdot 3,68 \cdot 10^{-19}}{9,11 \cdot 10^{-31}}} \approx 4,6 \cdot 10^5 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

---







8. При уменьшении средней квадратичной скорости теплового движения молекул в 2 раза средняя кинетическая энергия теплового движения молекул

- 1) не изменится  
2) увеличится в 4 раза  
3) уменьшится в 4 раза  
4) увеличится в 2 раза

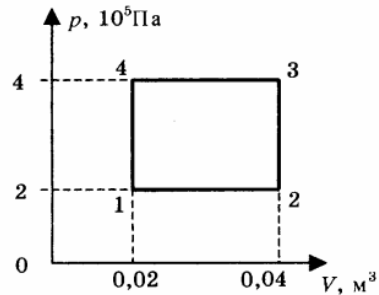
**Решение**

$$v = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}; \quad v \sim \sqrt{T}; \quad \varepsilon_0 = \frac{3}{2} k_B T; \quad \Rightarrow \quad \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = 2^2 = 4; \quad \mapsto \quad (3);$$

9. На рисунке показан график процесса, происходящего с постоянной массой газа.

Участок 1–2 соответствует

- 1) изобарному нагреванию  
2) изобарному охлаждению  
3) изохорному нагреванию  
4) изохорному охлаждению



**Решение**

$$p_1 = p_2 = p; \quad \left. \begin{array}{l} pV_1 = \nu RT_1; \\ pV_2 = \nu RT_2; \end{array} \right\} \quad V_2 > V_1; \quad \Rightarrow \quad T_2 > T_1; \quad \mapsto \quad (1);$$

10. Одноатомному идеальному газу в количестве 2 моль сообщили количество теплоты 1 кДж, при этом газ совершил работу 300 Дж. Чему равно изменение внутренней энергии газа?

**Решение**

$$\delta Q = \Delta U + A; \quad \Rightarrow \quad \Delta U = \delta Q - A = 700 \text{ Дж};$$

11. В сосуде неизменного объёма находится смесь сухого воздуха и насыщенного водяного пара. Температура понижалась, при этом произошла частичная конденсация пара. Как изменились в результате парциальные давления сухого воздуха и пара?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличилось  
2) уменьшилось  
3) не изменилось

**Решение**

1. Парциальное давление сухого воздуха:

$$p = nk_B T; \quad n, k_B = \text{const}; \quad T \downarrow; \quad \Rightarrow \quad p \downarrow; \quad (2);$$

2. С понижением температуры уменьшается значение давления насыщенных паров воды, что приводит к выпадению росы, т.е. конденсации пара

$$T \downarrow; \quad \Rightarrow \quad p_{\text{нп}} \downarrow; \quad \mapsto \quad (2);$$

12. Установите соответствие между физическими величинами (левый столбец) и формулами, по которым их можно рассчитать (правый столбец).

| ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА                                | ФОРМУЛА<br>ДЛЯ РАСЧЁТА        |
|--|-------------------------------|
| А) внутренняя энергия идеального одноатомного газа | 1) $\frac{3}{2}\nu R\Delta T$ |
| Б) работа газа в изобарном процессе                | 2) $p\Delta V$                |
|  | 3) $cm\Delta T$               |
|  | 4) $\frac{3}{2}\nu RT$        |

**Решение**

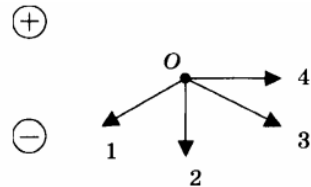
А. Внутренняя энергия идеального газа:

$$\Delta U = \frac{3}{2}\nu R\Delta T; \quad \mapsto \quad (1);$$

Б. Работа газа в изобарном процессе:

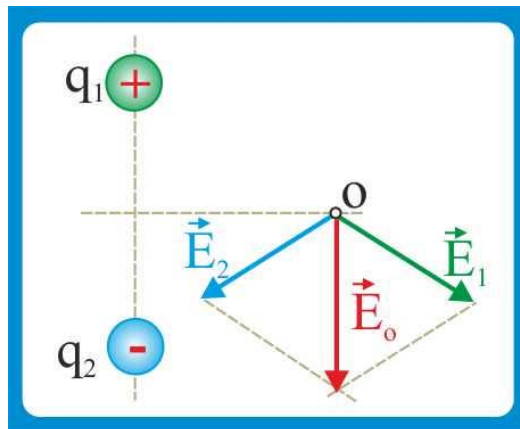
$$p = \text{const}; \quad A = p\Delta V; \quad \mapsto \quad (2);$$

13. На рисунке изображены два одинаковых по модулю электрических заряда. Правильное направление напряжённости электрического поля, создаваемого этими зарядами в точке O, показывает стрелка



- |      |      |
|------|------|
| 1) 1 | 3) 3 |
| 2) 2 | 4) 4 |

**Решение**



14. На поверхность тонкой прозрачной плёнки падает по нормали пучок белого света. В отражённом свете плёнка окрашена в красный цвет. При небольшом уменьшении толщины плёнки её цвет.

- |                 |                            |
|-----------------|----------------------------|
| 1) не изменится | 3) станет ближе к зелёному |
| 2) станет белым | 4) станет чёрным           |



### Решение

1. Ёмкость плоского воздушного конденсатора:

$$C = \epsilon_0 \frac{S}{d}; \quad d \downarrow; C \uparrow; \quad \mapsto \quad (1);$$

2. Напряжение между обкладками конденсатора не изменится т.к. он подключён к источнику:

$$u_c = \text{const}; \quad \mapsto \quad (3);$$


---

- 18.** Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

| ФИЗИЧЕСКАЯ<br>ВЕЛИЧИНА        | ФОРМУЛА               |
|-------------------------------|-----------------------|
| А) ЭДС источника тока         | 1) $IR$               |
| Б) напряжение на участке цепи | 2) $I(R+r)$           |
|                               | 3) $\frac{LI^2}{2}$   |
|                               | 4) $\rho \frac{l}{s}$ |

### Решение

А. ЭДС источника:

$$I = \frac{\epsilon}{R+r}; \quad \Rightarrow \quad \epsilon = I(R+r); \quad \mapsto \quad (2);$$

Б. Напряжение на участке цепи:

$$I = \frac{U}{R}; \quad \Rightarrow \quad U = IR; \quad \mapsto \quad (1);$$


---

- 19.** В ядре атома углерода содержится 6 протонов и 8 нейтронов. Этому ядру соответствует запись

- |                     |                        |
|---------------------|------------------------|
| 1) ${}^8_6\text{C}$ | 3) ${}^{14}_6\text{C}$ |
| 2) ${}^6_8\text{C}$ | 4) ${}^6_{14}\text{C}$ |

### Решение

$$Z = N_p = 6; \quad A = N_p + N_n = 14; \quad \Rightarrow \quad {}^{14}_6\text{C}; \quad \mapsto \quad (3);$$


---

- 20.** Радиоактивный уран  ${}^{235}_{92}\text{U}$ , испытав 2  $\beta$ -распада, превратился в изотоп

- |                                      |                                    |
|--------------------------------------|------------------------------------|
| 1) плутония ${}^{235}_{94}\text{Pu}$ | 3) свинца ${}^{207}_{82}\text{Pb}$ |
| 2) кюрия ${}^{233}_{96}\text{Cu}$    | 4) тория ${}^{237}_{90}\text{Th}$  |

### Решение

$$\beta \equiv {}^0_{-1}\text{e};$$

$$A_X = 235; \quad Z_X = 92 + 2 = 94; \quad {}^{235}_{94}\text{X} \equiv {}^{235}_{94}\text{Pu}; \quad \mapsto \quad (1);$$


---

21. В образце стронция с периодом полураспада 28 лет содержится  $4 \cdot 10^{12}$  атомов. Во сколько раз уменьшится через 56 лет количество атомов стронция в образце?

**Решение**

1. В соответствии с законом радиоактивного распада:

$$N = \frac{N_0}{2^{\frac{t}{T_{1/2}}}}; \Rightarrow \frac{N_0}{N} = 2^{\frac{t}{T_{1/2}}}; \frac{N_0}{N} = 2^{\frac{56}{28}} = 4;$$

22. При измерении давления света на поверхность уменьшили число фотонов, падающих на поверхность каждую секунду, не изменяя длины волны. Как при этом изменятся интенсивность падающего света и его частота?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличится  
2) уменьшится  
3) не изменится

**Решение**

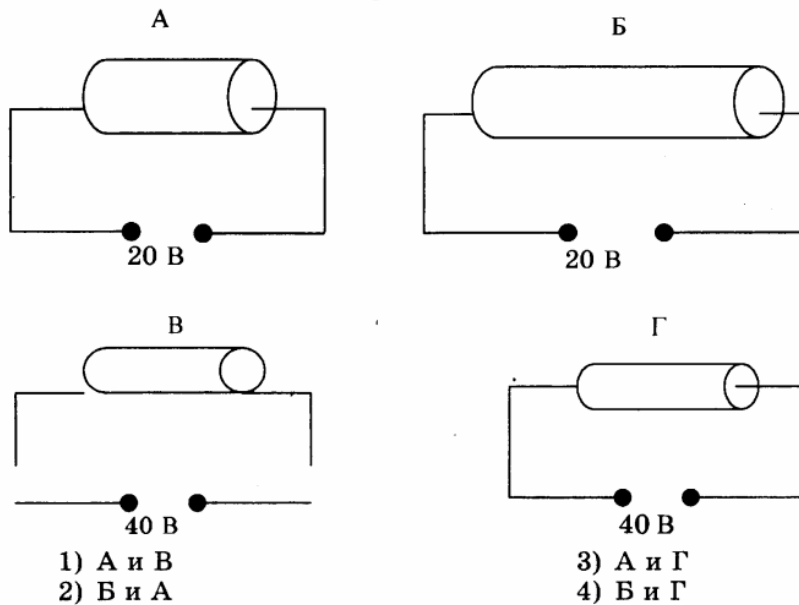
1.. Количество каждую секунду падающих на единицу поверхности фотонов уменьшается:

$$\mathfrak{S} \sim \frac{\varepsilon_r N \tau}{S}; \quad N \downarrow; \mathfrak{S} \downarrow; \quad \mapsto \quad (2);$$

2. Частота колебаний в световой волне без учёта влияния среды зависит только от типа источника волн и не зависит в общем случае от интенсивности светового потока:

$$\nu = \text{const}; \quad \mapsto \quad (3);$$

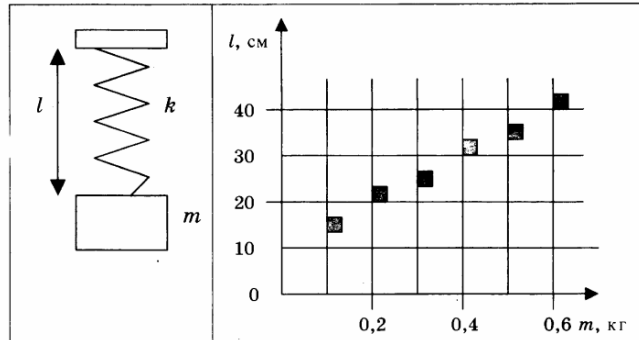
23. Цилиндрический проводник подключён к источнику тока. Была высказана гипотеза, что сопротивление проводника зависит от приложенного напряжения. Для проверки этой гипотезы нужно выбрать следующие два опыта из представленных ниже (материал всех проводников одинаков):



**Решение**

$$R = \rho \frac{\ell}{S}; \quad S_A \neq S_B; \quad \ell_A = \ell_B; \quad R = f(S); \quad U_A \neq U_B; \quad \mapsto (1);$$

24. На графике представлены результаты измерения длины пружины  $l$  при различных значениях массы  $m$  подвешенных к пружине грузов. Погрешность измерения массы  $\Delta m = \pm 0,01$  кг, длины  $\Delta l = \pm 1$  см.



Выберите два утверждения, соответствующие результатам этих измерений.

1. Коэффициент упругости пружины равен 60 Н/м.
2. Коэффициент упругости пружины равен 20 Н/м.
3. При подвешенном к пружине грузе массой 500 г её удлинение составит 35 см.
4. При подвешенном к пружине грузе массой 300 г её удлинение составит 15 см.
5. С увеличением массы длина пружины не изменяется.

### Решение

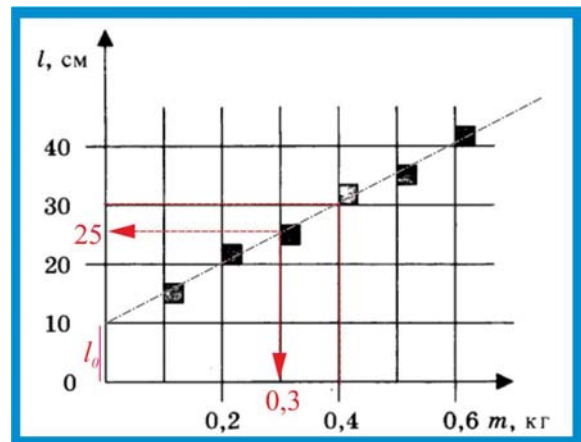
1. Коэффициент упругости пружины:

$$k = \frac{mg}{l - l_0} = 20 \frac{\text{Н}}{\text{м}}; \quad \mapsto (2);$$

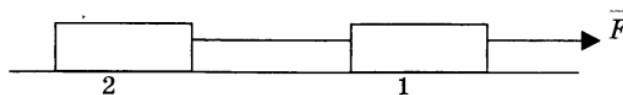
2. При подвешивании груза массой 0,3 кг пружина удлиняется на величину  $\Delta l$ :

$$\Delta l = l - l_0 = 0,15\text{м}; \quad \mapsto (4);$$

3. Все остальные утверждения некорректны.



25. По гладкой горизонтальной поверхности под действием силы  $\vec{F}$  движутся одинаковые бруски, связанные нитью, как показано на рисунке. На второй брусок положили ещё один такой же.



Чему будет равно отношение первоначальной силы натяжения нити между брусками к силе натяжения после добавления ещё одного бруска  $F_{н1}/F_{н2}$ ?

### Решение



1. Уравнения второго закона Ньютона в проекции на направление движения для первого и второго тела в первоначальном состоянии:

$$\left. \begin{array}{l} ma = T_1; \\ 2ma = F; \end{array} \right\} \Rightarrow T_1 = \frac{F}{2};$$

2. Уравнения второго закона Ньютона в проекции на направление движения для первого и второго тела после увеличения массы второго тела вдвое:

$$\left. \begin{array}{l} 2ma = T_2; \\ 3ma = F; \end{array} \right\} \Rightarrow T_2 = \frac{2}{3}F;$$

3. Отношение натяжений нити:

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{3}{4} = 0,75;$$

- 26.** В термос с большим количеством воды при температуре  $t_1 = 0$  °С кладут  $m = 3$  кг льда с температурой  $t_2 = -22$  °С. Какая масса воды замёрзнет при установлении теплового равновесия в сосуде?

**Решение**

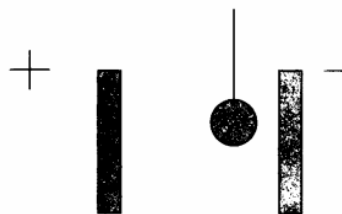
$$cm\Delta T = m_x \lambda; \Rightarrow m_x = \frac{cm\Delta T}{\lambda} = \frac{2100 \cdot 3 \cdot 22}{3,3 \cdot 10^5} = 0,42 \text{ кг};$$

- 27.** Самолёт движется горизонтально с постоянной скоростью  $v = 200$  м/с. Индукция магнитного поля Земли равна  $B = 5 \cdot 10^{-5}$  Тл и направлена под углом  $\alpha = 60^\circ$  к направлению движения самолёта. Величина ЭДС индукции на концах крыльев самолёта равна  $\mathcal{E} = 0,55$  В. Чему равен размах крыльев самолёта? Ответ округлите до целых.

**Решение**

$$|\mathcal{E}_i| = \frac{B \cos 30^\circ \ell \Delta x}{\Delta t} = B \cos 30^\circ \ell v; \Rightarrow v = \frac{\mathcal{E}_i}{B \cos 30^\circ \ell} = \frac{0,55}{5 \cdot 10^{-5} \cdot 0,87 \cdot 200} \approx 63,2 \text{ м};$$

- 28.** Маленький лёгкий незаряженный металлический шарик, подвешенный на диэлектрической нити, поместили между пластинами плоского конденсатора, который подключили к источнику тока. Опишите движение шарика и объясните его, указав, какими физическими явлениями и закономерностями оно вызвано.



**Решение**

1. После перераспределения зарядов на шарике, он притянется к отрицательной пластине, поскольку расположен ближе к ней, соприкоснувшись с отрицательно заряженной пластиной, шарик сам станет нести на себе отрицательный заряд.

2. Отрицательно заряженный шарик под действием силы Кулона приблизится к положительно заряженной пластине и приобретет положительный заряд

3. Далее шарик притянется к отрицательной пластине, и так далее, одним словом возникнут колебания шарика между пластинами.

---

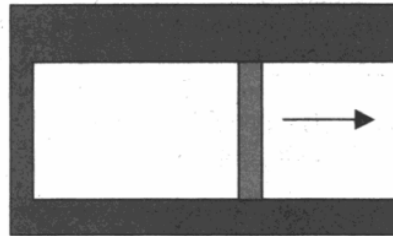
- 29.** Тело, свободно падающее без начальной скорости с некоторой высоты, за последнюю секунду падения проходит путь, в 7 раз больший, чем за первую секунду движения. Найдите высоту, с которой падает тело.

**Решение**

$$\left. \begin{aligned} \frac{gt^2}{2} - \frac{g(t-1)^2}{2} &= H; \\ \frac{gt_1^2}{2} &= h = \frac{g}{2}; \\ \frac{H}{h} &= 7; \end{aligned} \right\} \Rightarrow t^2 - (t-1)^2 = 7; \quad 2t = 8; \quad t = 4\text{с}; \quad H = \frac{gt^2}{2} = 80\text{м};$$


---

- 30.** В горизонтальном теплоизолированном цилиндрическом сосуде под поршнем находится 0,5 моль гелия, нагретого до некоторой температуры. Поршень сначала удерживают, затем отпускают, и он начинает двигаться. Масса поршня 1 кг. Какую скорость приобретёт поршень к моменту, когда гелий охладится на 10 К? Трением и теплообменом с поршнем пренебречь.



**Решение**

1. Движение поршня происходит за счёт адиабатического расширения гелия, т.е. за счёт внутренней энергии газа, при этом:

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

2. Внутренняя энергия газа, без учёта всякого рода потерь, трансформируется в кинетическую энергию поршня:

$$\Delta U = \frac{mv^2}{2}; \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2\Delta U}{m}} = \sqrt{\frac{3\nu R \Delta T}{m}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 0,5 \cdot 8,3 \cdot 10}{1}} \approx 11,15 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$


---

- 31.** Идеальный колебательный контур состоит из конденсатора ёмкостью 20 мкФ и катушки индуктивностью 4,5 мГн. Амплитуда колебаний силы тока 6 мА. Какова амплитуда колебаний заряда конденсатора в контуре?

**Решение**

$$\frac{Li_m^2}{2} = \frac{q_m^2}{2C}; \quad q_m = i_m \sqrt{LC} = 6 \cdot 10^{-3} \sqrt{4,5 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^{-5}} = 1,8 \text{мкКл};$$


---

32. Красная граница фотоэффекта для калия  $\lambda_0 = 577$  нм. Поверхность калия освещается светом длиной волны  $\lambda = 400$  нм. Вблизи поверхности создано однородное тормозящее поле с напряженностью  $E = 50$  В/м, направленное перпендикулярно поверхности. Через какое время после вылета из поверхности фотоэлектрон остановится? Считать, что электрон вылетает перпендикулярно поверхности и обладает максимально возможной скоростью.

### Решение

1. Квантовую гипотезу Планка к фотоэффекту, открытому в 1872 г. русским физиком Александром Григорьевичем Столетовым, применил Генрих Герц.

В его экспериментах свет падал на цезиевый металлический катод, помещённый в откачанную стеклянную колбу с кварцевым окном. При падении на катод света в цепи начинал протекать ток, законы изменения которого и подлежали исследованию.

2. Герц, следом за Столетовым, установил, что интенсивность света влияет лишь на количество вылетающих электронов, а их скорость, вопреки здравому классическому смыслу, зависит исключительно от частоты падающего света.

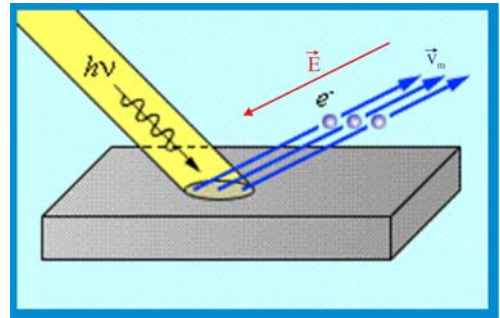
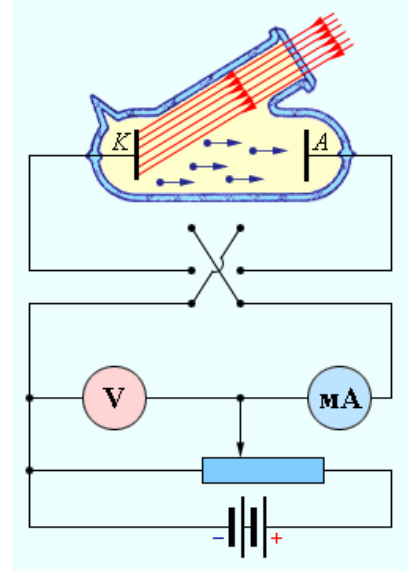
$$h\nu = \frac{m_e v_m^2}{2} + A, \quad \frac{hc}{\lambda} = \frac{m_e v_m^2}{2} + \frac{hc}{\lambda_0};$$

3. Скорость фотоэлектронов:

$$v_m = \sqrt{\frac{2hc}{m_e} \left( \frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0} \right)} \approx 6 \cdot 10^5 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

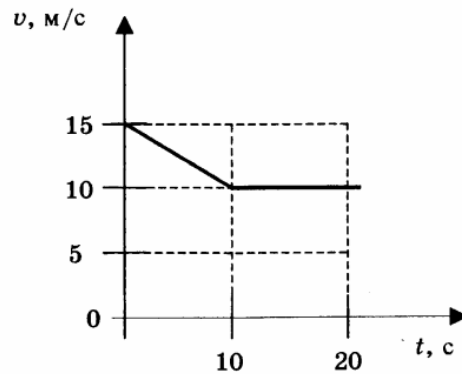
4. Остановка электрона тормозящим электрическим полем произойдёт в тот момент времени, когда импульс электрона станет равным нулю:

$$m_e v_m = F_k \Delta t = eE \Delta t; \quad \Rightarrow \quad \Delta t = \frac{m_e v_m}{eE} \approx 6,7 \cdot 10^{-8} \text{ с};$$

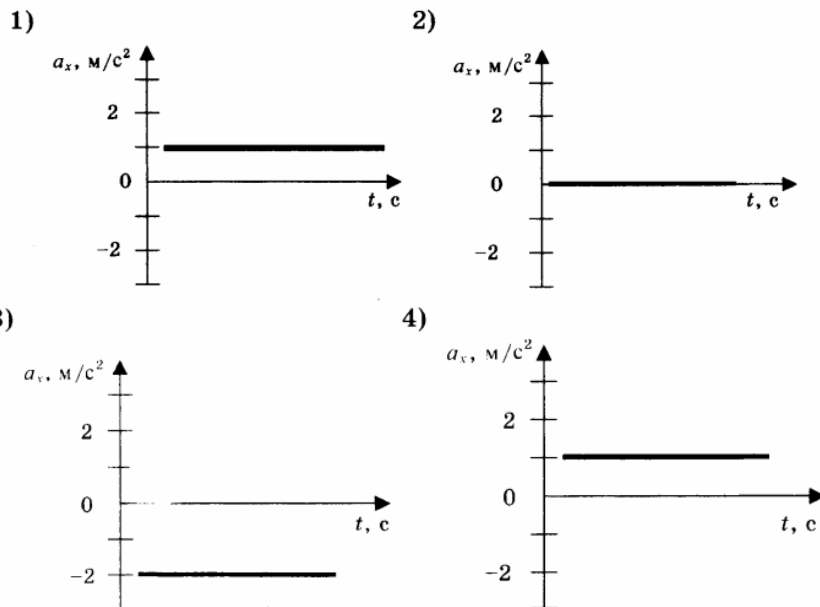


## Вариант 18

1. На рисунке приведён график зависимости скорости велосипедиста от времени.



Проекция ускорения тела в интервале времени от 10 до 20 с представлена на графике



**Решение**

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}; \quad \Delta v_{10-20} = 0; \quad \Rightarrow \quad a_{10-20} = 0; \quad \mapsto \quad (2);$$

2. Автомобиль едет по дороге, образующей дугу окружности, с постоянной скоростью. Для сил, действующих на автомобиль, верным является утверждение:
- 1) сумма всех сил, действующих на автомобиль, равна нулю
  - 2) сумма всех сил, действующих на автомобиль, не равна нулю
  - 3) на автомобиль не действуют никакие силы
  - 4) на автомобиль действует одна постоянная сила

### Решение

1. Всякое криволинейное движение с постоянной по модулю скоростью является ускоренным, потому что меняется направление вектора скорости, в данном случае присутствует нормальное (центростремительное) ускорение. Другими словами:

$$\sum_{i=1}^{i=n} \vec{F}_i = \frac{mv^2}{R} \neq 0; \quad \mapsto \quad (2);$$

---

3. Тело массой 2 кг движется прямолинейно со скоростью 2 м/с. После действия на тело постоянной силы величиной 5 Н в течение некоторого промежутка времени импульс тела стал равен 24 кг·м/с. Сколько времени действовала сила?

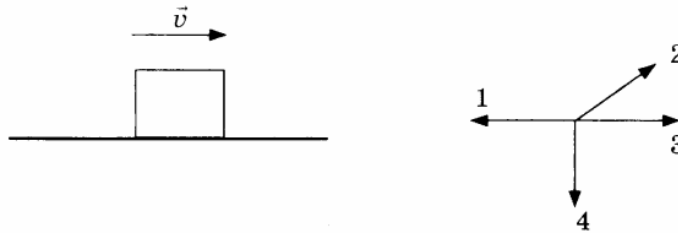
### Решение

1. В соответствии с теоремой об изменении импульса силы:

$$mv_2 - mv_1 = F\Delta t; \quad \Rightarrow \quad \Delta t = \frac{p_2 - p_1}{F} = \frac{24 - 4}{5} = 4\text{с};$$

---

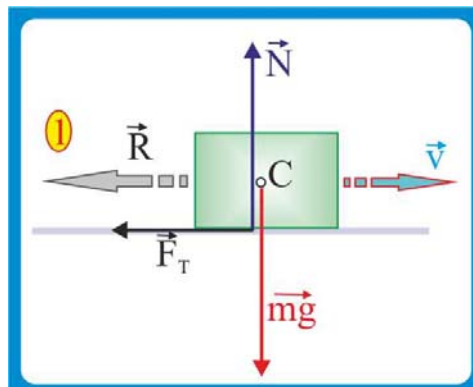
4. Бруску, находящемуся на горизонтальной шероховатой поверхности, сообщили скорость  $v$ , как показано на рисунке.



Какая стрелка правильно указывает направление результирующей всех сил, действующих на брусок?

В ответе укажите номер этого вектора.

### Решение



5. Тело массой 3 кг начинает двигаться с ускорением 1,5 м/с<sup>2</sup>. Чему будет равна кинетическая энергия тела через 2 с после начала движения?

**Решение**

$$v = at; \quad K = \frac{mv^2}{2} = \frac{m(at)^2}{2} = 13,5 \text{ Дж};$$

6. Тело брошено с некоторой высоты горизонтально со скоростью  $v_0$ , сопротивлением воздуха можно пренебречь. Как изменятся при движении тела действующая на него сила тяжести и потенциальная энергия?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличится  
2) уменьшится  
3) не изменится

**Решение**

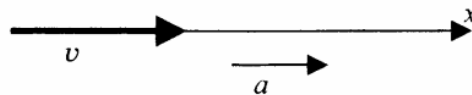
1. Сила тяжести:

$$m\vec{g} = \text{const}; \quad \mapsto \quad (3);$$

2. Потенциальная энергия:

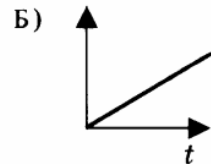
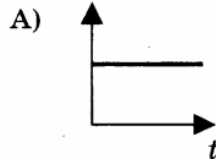
$$\Pi(t) = mgy(t); \quad y(t) = H - \frac{gt^2}{2}; \quad t \uparrow; y(t) \downarrow; \Rightarrow \Pi(t) \downarrow; \quad \mapsto \quad (2);$$

7. Тело движется прямолинейно с постоянным ускорением.



Установите соответствие между графиками и физическими величинами, зависимости которых от времени эти графики могут представлять. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

**ГРАФИКИ**



**ФИЗИЧЕСКИЕ  
ВЕЛИЧИНЫ**

- 1) импульс тела  
2) равнодействующая сила  
3) кинетическая энергия тела  
4) координата тела

**Решение**

А. Равнодействующая сила:

$$\sum_{i=1}^{i=n} \vec{F}_i = m\vec{a}; \quad \vec{a} = \text{const}; \Rightarrow \sum_{i=1}^{i=n} \vec{F}_i = \text{const}; \quad \mapsto \quad (2);$$

Б. Импульс тела:

$$|\vec{p}| = mv = mat; \quad (m, a) = \text{const}; \quad \mapsto \quad (1);$$



$$n_{O_2(1)} = \frac{\nu \mu_{O_2} N_A}{V}; \quad n_{O_2(2)} = \frac{2\nu \mu_{O_2} N_A}{V}; \quad n_{O_2(3)} = \frac{2\nu \mu_{O_2} N_A}{2V} = n_{O_2(1)}; \quad \mapsto \quad (3);$$

3. Парциальное давление азота уменьшится:

$$n_{N_2(1)} = \frac{\nu \mu_{N_2} N_A}{V}; \quad n_{N_2(2)} = \frac{\nu \mu_{N_2} N_A}{2V}; \quad n_{N_2(1)} < n_{N_2(2)}; \quad \mapsto \quad (2)$$

- 12.** Установите соответствие между названием изопроцесса (левый столбец) и формулами, описывающими превращения энергии в этих процессах (правый столбец,  $Q$  — количество теплоты,  $\Delta U$  — изменение внутренней энергии,  $A$  — работа газа)

| НАЗВАНИЕ ИЗОПРОЦЕССА | ФОРМУЛА ДЛЯ РАСЧЁТА   |
|----------------------|-----------------------|
| А) изобарный         | 1) $Q = \Delta U + A$ |
| Б) изотермический    | 2) $Q = A$            |
|                      | 3) $Q = \Delta U$     |
|                      | 4) $\Delta U = -A$    |

Решение

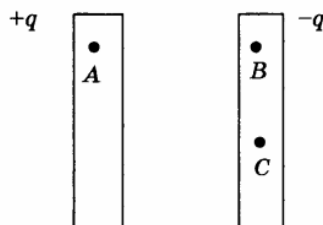
А. Изобарный процесс ( $p = \text{const}$ ) изменения состояния газа:

$$Q = \Delta U + A; \quad \mapsto \quad (1)$$

Б. Изотермический процесс ( $T = \text{const}$ )

$$\Delta U = 0; \quad \Rightarrow \quad Q = A; \quad \mapsto \quad (2);$$

- 13.** Две металлические пластины заряжены равными разноимёнными зарядами, как показано на рисунке.



Между потенциалами точек  $A$ ,  $B$  и  $C$  выполняются соотношения

- |  |  |
|--|--|
| 1) $\varphi_A = \varphi_B = \varphi_C$ | 3) $\varphi_A < \varphi_B < \varphi_C$ |
| 2) $\varphi_A > \varphi_B = \varphi_C$ | 4) $\varphi_A = \varphi_B > \varphi_C$ |

Решение

1. Две заряженные разноимённо пластины представляют собой конденсатор

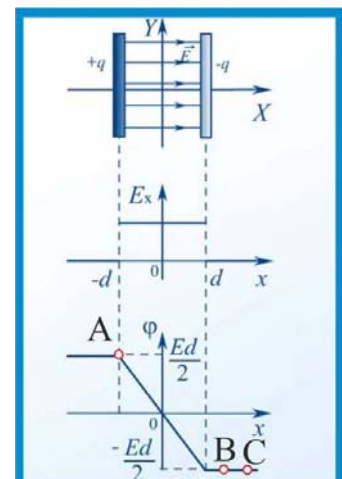
$$C = \frac{Q}{\Delta\varphi} \equiv \frac{Q}{U},$$

между пластинами которого существует разность потенциалов  $\Delta\varphi$ , в связи с чем:

$$\varphi_A > \varphi_B;$$

а точки  $B$  и  $C$  лежат на эквипотенциальной поверхности

$$\varphi_B = \varphi_C;$$









### Решение

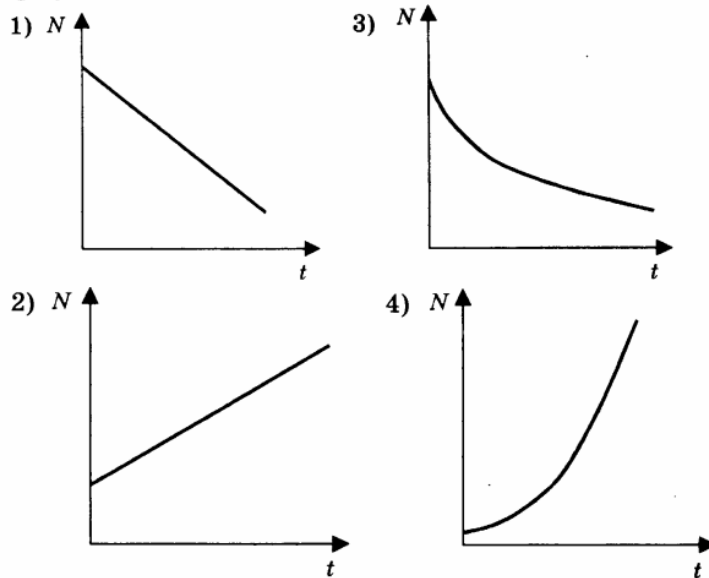
А. Оптическая сила линзы:

$$D = \frac{1}{F}; \quad \mapsto \quad (3);$$

Б. Расстояние от плоскости линзы до изображения:

$$F = \frac{df}{d+f}; \quad \Rightarrow \quad f = \frac{Fd}{d-F}; \quad \Rightarrow \quad (2);$$

19. Характер изменения числа нераспавшихся ядер согласно закону радиоактивного распада правильно показан на графике



### Решение

1. На основании закона радиоактивного распада:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}; \quad \mapsto \quad (3)$$

20. Радиоактивный полоний  ${}^{214}_{84}\text{Po}$ , испытав 1  $\alpha$ -распад и 2  $\beta$ -распада, превратился в изотоп

- |                                     |                                     |
|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1) свинца ${}^{208}_{82}\text{Pb}$  | 3) свинца ${}^{207}_{82}\text{Pb}$  |
| 2) полония ${}^{210}_{84}\text{Po}$ | 4) висмута ${}^{209}_{83}\text{Bi}$ |

### Решение

$$\alpha \equiv {}^4_2\text{He}; \quad \beta \equiv {}^0_{-1}\text{e};$$

$$A_X = 214 - 4 = 210; \quad Z_X = 84 - 2 + 2 = 84; \quad {}^{210}_{84}\text{X} \equiv {}^{210}_{84}\text{Po}; \quad \mapsto \quad (2);$$

21. Частота ультрафиолетового излучения  $10^{15}$  Гц. Чему равен импульс одного фотона ультрафиолетового излучения, умноженный на  $10^{27}$ ? Ответ округлите до десятых.

### Решение

$$p = \frac{h\nu}{c} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 10^{15}}{3 \cdot 10^8} 10^{27} = 2,2 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}};$$

22. При измерении давления света на поверхность увеличили частоту падающего света, не изменяя число фотонов, падающих на поверхность каждую секунду. Как при этом изменятся интенсивность падающего света и давление, оказываемое на поверхность?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

### Решение

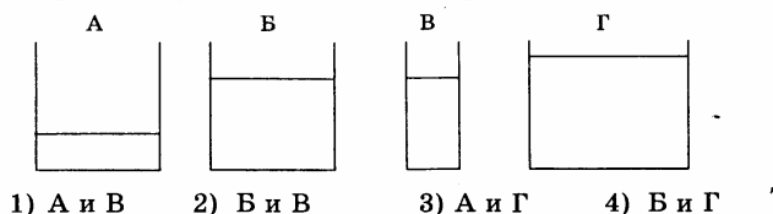
1. Интенсивность падающего света:

$$\mathfrak{I} \approx \frac{h\nu N}{S\tau}; \quad \nu \uparrow; \mathfrak{I} \uparrow; \quad \mapsto \quad (1);$$

2. Давление света на поверхность:

$$p = p_{\text{Отр}} + p_{\text{Погл}} = (1 + \rho) \frac{h\nu}{c} N; \quad \nu \uparrow; p \uparrow; \quad \mapsto \quad (1);$$

23. В цилиндрический сосуд налита жидкость. Была высказана гипотеза, что давление жидкости на дно сосуда зависит от площади дна сосуда. Для проверки этой гипотезы нужно выбрать следующие два опыта из представленных ниже:



### Решение

$$p = \rho gh; \quad \Rightarrow \quad \mapsto \quad (2);$$

24. Исследовалась зависимость напряжения на обкладках конденсатора от заряда этого конденсатора. Результаты измерений представлены в таблице.

|           |   |      |      |      |      |      |
|-----------|---|------|------|------|------|------|
| $q$ , мКл | 0 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,05 |
| $U$ , В   | 0 | 0,04 | 0,12 | 0,16 | 0,22 | 0,24 |

Погрешности измерений величин  $q$  и  $U$  равнялись соответственно 0,005 мКл и 0,01 В.

Выберите два утверждения, соответствующие результатам этих измерений.

1. Электроёмкость конденсатора примерно равна 5 мФ.
2. Электроёмкость конденсатора примерно равна 200 мкФ.
3. С увеличением заряда напряжение увеличивается.
4. Для заряда 0,06 мКл напряжение на конденсаторе составит 0,5 В.
5. Напряжение на конденсаторе не зависит от заряда.

### Решение

$$C = \frac{q}{U} \approx 200 \text{ мкФ}; \quad \mapsto \quad (2) \quad U = qC; \quad q \uparrow; U \uparrow; \quad \mapsto \quad (2);$$

25. Шайбе массой 100 г, находящейся на наклонной плоскости, сообщили скорость 4 м/с, направленную вверх вдоль наклонной плоскости. Шайба остановилась на расстоянии 1 м от начала движения. Угол наклона плоскости 30°. Чему равна сила трения шайбы о плоскость?

**Решение**

$$\frac{mv^2}{2} - mg\ell \sin \alpha = F_{\text{тр}} \ell; \Rightarrow F_{\text{тр}} = m \left( \frac{v^2}{2\ell} - g \sin \alpha \right) = 0,1 \left( \frac{16}{2} - 5 \right) = 0,3 \text{ Н};$$

26. В термос с большим количеством воды при температуре  $t_1 = 0^\circ\text{C}$  кладут  $m = 1,5$  кг льда с температурой  $t_2 = -33^\circ\text{C}$ . Какая масса воды замёрзнет при установлении теплового равновесия?

**Решение**

$$cm\Delta T = m_x \lambda; \Rightarrow m_x = \frac{cm\Delta T}{\lambda} = \frac{2100 \cdot 1,5 \cdot 33}{3,3 \cdot 10^5} = 0,315 \text{ кг};$$

27. Две частицы с одинаковыми массами и отношением зарядов  $\frac{q_1}{q_2} = \frac{1}{2}$  попадают в однородное магнитное поле, вектор магнитной индукции которого перпендикулярен векторам скорости частиц. Кинетическая энергия первой частицы в 2 раза меньше, чем у второй. Чему равно отношение радиусов кривизны траекторий  $\frac{R_1}{R_2}$  первой и второй частиц в магнитном поле? Ответ округлите до десятых.

**Решение**

$$\left. \begin{array}{l} q_1 v_1 B = \frac{mv_1^2}{R_1}; \\ q_2 v_2 B = \frac{mv_2^2}{R_2}; \end{array} \right\} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} q_1 R_1 = mv_1; \\ q_2 R_2 = mv_2; \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{v_1}{v_2} = \frac{q_1 R_1}{q_2 R_2}; \left( \frac{v_1}{v_2} \right)^2 = \frac{1}{2} = \left( \frac{q_1}{q_2} \right)^2 \left( \frac{R_1}{R_2} \right)^2;$$

$$\frac{R_1}{R_2} = \sqrt{2} = 1,41;$$

28. Окно в тёплой комнате запотело. Какой должна быть относительная влажность воздуха в комнате, чтобы наблюдалось это явление? Температура воздуха в комнате 25 °С, температура воздуха на улице 12 °С. Поясните, как вы получили ответ.

(Для ответа на этот вопрос воспользуйтесь таблицей для давления насыщенных паров воды.)

**Давление насыщенных паров воды при различных температурах**

|                     |       |       |       |       |      |      |     |      |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|------|------|-----|------|
| $t, ^\circ\text{C}$ | 0     | 2     | 4     | 6     | 8    | 10   | 12  | 14   |
| $p, \text{кПа}$     | 0,611 | 0,705 | 0,813 | 0,934 | 1,07 | 1,23 | 1,4 | 1,59 |

|                     |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $t, ^\circ\text{C}$ | 16   | 18   | 20   | 22   | 24   | 25   | 30   | 40   |
| $p, \text{кПа}$     | 1,81 | 2,06 | 2,19 | 2,64 | 2,99 | 3,17 | 4,24 | 7,37 |

### Решение

1. Конденсация паров воды происходит при понижении температуры на некой поверхности, например, на стеле окна до температуры при которой давление паров становится насыщенным. Точка росы зависит от относительной влажности в комнате и температуры. При стопроцентной влажности точка росы совпадает с температурой в комнате:

$$\varphi = \frac{p_{\text{п}}}{p_{\text{нп}}} = \frac{1,4}{3,17} \approx 0,44 \text{ (44\%);}$$

29. Кусок пластилина сталкивается со скользящим навстречу ему по горизонтальной поверхности стола бруском и прилипает к нему. Скорости пластилина и бруска перед ударом направлены противоположно и равны  $v_{\text{пл}} = 10 \text{ м/с}$  и  $v_{\text{бр}} = 5 \text{ м/с}$ . Масса бруска в 3 раза больше массы пластилина. Коэффициент трения скольжения между бруском и столом  $\mu = 0,48$ . На какое расстояние переместятся слипшиеся брусок с пластилином к моменту, когда их скорость уменьшится на 25%?

### Решение

1. Скорость бруска с налипшим пластилином в момент начала совместного движения:

$$m_1 v_1 - m_2 v_2 = (m_1 + m_2) u_1; \quad u_1 = \frac{m_1 v_1 - m_2 v_2}{m_1 + m_2} = 1,25 \frac{\text{М}}{\text{с}};$$

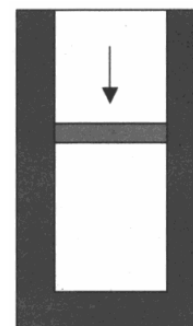
2. Скорость бруска с налипшим пластилином в заданный момент времени, когда их совместная скорость уменьшится на 25%

$$u_2 = 0,75 u_1 = 0,94 \frac{\text{М}}{\text{с}};$$

3. В соответствии с теоремой об изменении кинетической энергии:

$$K_1 - K_2 = A(F_T); \quad u_1^2 - u_2^2 = 2\mu g S; \quad \Rightarrow \quad S = \frac{u_1^2 - u_2^2}{2\mu g} = \frac{1,56 - 0,88}{9,6} \approx 0,07 \text{ м};$$

30. В вертикальном теплоизолированном цилиндрическом сосуде под поршнем находится 0,5 моль гелия. Поршень сначала удерживают, затем сообщают ему скорость 10 м/с, и он начинает опускаться. Масса поршня 1 кг. Насколько нагреется гелий к моменту остановки поршня, если при этом он опустился на 10 см? Трением и теплообменом с поршнем пренебречь.



### Решение

1. Процесс адиабатический  $\delta Q = 0$ :

$$\Delta U = A, \Rightarrow \frac{3}{2}vR\Delta T = \frac{mv^2}{2} + mgh; \quad \Delta T = \frac{m(v^2 + 2gh)}{3vR} \approx 8,2\text{K};$$

**31.** К источнику тока с ЭДС  $\mathcal{E} = 12\text{ В}$  и внутренним сопротивлением  $r = 2\text{ Ом}$  подключён реостат, сопротивление которого можно изменять в пределах от  $1\text{ Ом}$  до  $10\text{ Ом}$ . При какой силе тока в цепи на реостате выделяется максимальная мощность?

### Решение

1. На реостате будет выделяться активная электрическая мощность  $N_a$

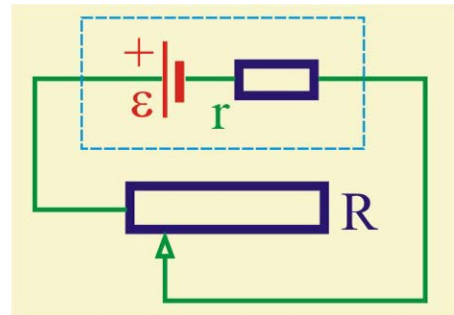
$$N_a = UI = I^2R = \mathcal{E}^2 \frac{R}{(R+r)^2}.$$

2. Для выяснения величины максимально возможной активной мощности  $N_{a(\max)}$  будем изменять величину внешнего сопротивления до величины  $R_m$ . Математически это означает определение экстремума функции  $N_a = f(R)$  путём её дифференцирования по сопротивлению и приравнивания производной к нулю, стандартная процедура нахождения экстремума функции:

$$\frac{dN_a}{dR} = \mathcal{E}^2 \frac{r^2 - R_m^2}{(r + R_m)^4} = 0.$$

3. Так как  $R$  и  $r$  всегда положительные величины, то условие экстремума выполняется при  $r = R_m$ . Мощность, выделяемая во внешней цепи, достигает возможно большего значения при равенстве внутреннего источника тока и внешнего сопротивления. Сила тока в этом режиме составит

$$I = \frac{\mathcal{E}}{2r} = \frac{12}{4} = 3\text{А};$$



**32.** Работа выхода электрона из металлической пластины:

$$A_{\text{вых}} = 4,5 \cdot 10^{-19}\text{ Дж}.$$

Какова максимальная скорость электронов, выбиваемых из пластины светом с длиной волны  $\lambda = 375\text{ нм}$ ?

### Решение

$$\frac{hc}{\lambda} = \frac{mv_m^2}{2} + A; \quad \frac{hc}{\lambda} - A = \frac{mv_m^2}{2}; \quad v_m = \sqrt{\frac{2\left(\frac{hc}{\lambda} - A\right)}{m}};$$

$$v_m \approx \sqrt{\frac{2\left(\frac{2 \cdot 10^{-25}}{3,75 \cdot 10^{-7}} - 4,5 \cdot 10^{-19}\right)}{9,1 \cdot 10^{-31}}} \approx 4,28 \cdot 10^5 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$







$$A = \ell \sin \varphi_m \neq f(m); \quad \mapsto \quad (3);$$

2. Частота колебаний:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g}}; \quad v = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{\ell}} \neq f(m); \quad \mapsto \quad (3)$$


---

7. Установите соответствие между записанными в первом столбце видами движения и формулами, по которым можно рассчитать их характеристики.

| ВИД ДВИЖЕНИЯ       | ФОРМУЛА ДВИЖЕНИЯ             |
|--------------------|------------------------------|
| А) равномерное     | 1) $S = vt + \frac{at^2}{2}$ |
| Б) равноускоренное | 2) $S = \frac{v^2}{R}$       |
|                    | 3) $S = vt$                  |
|                    | 4) $S = v + at$              |

**Решение**

А. Равномерное движение:

$$S = vt; \quad \mapsto \quad (2)$$

Б. Равноускоренное движение:

$$S = vt + \frac{at^2}{2}; \quad \mapsto \quad (1);$$


---

8. Если оставить в помещении открытый флакон с сильно пахнущей жидкостью, то запах постепенно распространится на всё помещение. Этот процесс происходит благодаря
- |                          |              |
|--------------------------|--------------|
| 1) броуновскому движению | 3) диффузии  |
| 2) теплопроводности      | 4) излучению |

**Решение**

1. Предположим, что в некотором объёме идеального газа имеется вертикальный градиент концентрации молекул, как это имело место при выводе барометрической формулы. Будем рассматривать концентрацию, как функцию вертикальной координаты  $n(z)$ . Если перпендикулярно оси  $z$  расположить площадку площадью  $s$ , то через неё будет наблюдаться поток частиц, обусловленный выравниванием концентрации в наблюдаемом объёме. Экспериментально установлено, что в единицу времени через площадку проходит количество частиц

$$\Phi = -D \frac{\partial n}{\partial z} s,$$

где  $D$  – коэффициент диффузии, величина которого определяется физическими свойствами рассматриваемой системы. Поток частиц в единицу времени имеет размерность  $[\Phi] = \text{с}^{-1}$ , поэтому коэффициент диффузии измеряется в

$$[D] = \frac{\Phi}{\frac{\partial n}{\partial z} s} = \frac{\text{с}^{-1} \cdot \text{м} \cdot \text{м}^3}{\text{м}^2} = \frac{\text{м}^2}{\text{с}}.$$

2. Знак минус в уравнении означает, что поток частиц направлен от больших концентраций частиц в сторону меньших концентраций. Умножим далее уравнение на

массу частиц, принимающих участие в процессе диффузии, получим:

$$\Phi m = -D \frac{\partial n}{\partial z} m s, \Rightarrow M = -D \frac{\partial \rho}{\partial z} s,$$

т.к. плотность газа  $\rho = mn$ . Уравнение выражает собой первый закон Фика, который предполагает определение коэффициента диффузии  $D$  для каждого вещества экспериментальным путём. Другими словами, первый закон Фика является эмпирическим законом, применимым не только для газообразных систем. В этой связи следует оговориться, что в жидкостях и твёрдых телах потоки частиц в каких-либо направлениях могут быть вызваны не только молекулярными причинами. Например, конвекционное движение частиц, вызванное внешними причинами, ничего общего с молекулярной диффузией не имеет.

3. Второй закон Фика позволяет установить зависимость плотности числа диффундирующих частиц от времени. Рассмотрим две перпендикулярные оси  $z$  элементарные площадки, отстоящие друг от друга на расстоянии  $dz$ . Предположим далее, что функция  $n(z)$  убывающая. Количество частиц, пересекающих площадки за время  $dt$  следующим образом

$$N_1 = \Phi(z) dt, \\ N_2 = \Phi(z + dz) dt.$$

4. Увеличение количества частиц между площадками определится в виде разности

$$dN = [\Phi(z) - \Phi(z + dz)] dt, \\ dN = -\Phi'(z) dz dt,$$

где  $\Phi'(z)$  – производная потока частиц по координате  $z$ . Объём между выделенными площадками равен  $V_i = s dz$ , где  $s$  – площадь. Поделим уравнение на элементарный объём

$$\frac{dN}{V_i} = -\frac{\partial \Phi(z)}{\partial z} \frac{dt}{s}, \quad dn = -\frac{\partial \Phi(z)}{\partial z} \frac{dt}{s},$$

и разделим на  $dt$

$$\frac{\partial n}{\partial t} = -\frac{\partial \Phi(z)}{\partial z s},$$

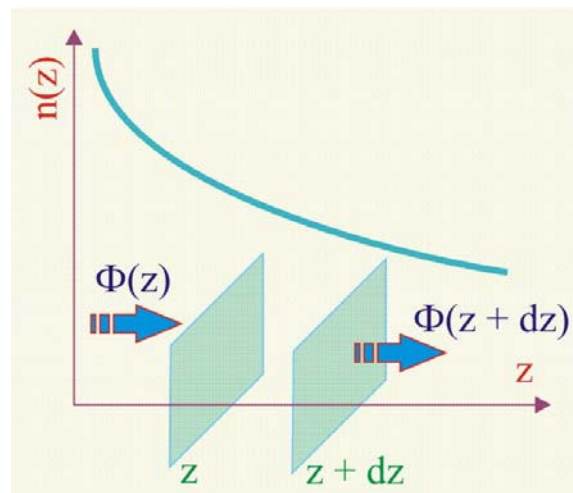
подставим далее значение потока частиц из первого закона Фика

$$\frac{\partial n}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left( D \frac{\partial n}{\partial z} \right).$$

5. Поскольку коэффициент диффузии в подавляющем большинстве случаев не зависит от координаты, уравнение можно переписать следующим образом:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = D \frac{\partial^2 n}{\partial z^2}.$$

6. Уравнение является математическим выражением второго закона Фика, который устанавливает временную зависимость концентрации частиц в исследуемом объёме. Диффузионные процессы имеют место не только в газах, но и в жидкостях и твёрдых телах.





$$\left. \begin{aligned} p_{O_2} &= n_{O_2} k_B T; \\ p_{N_2} &= n_{N_2} k_B T; \end{aligned} \right\}$$

2. Изменение парциального давления кислорода не изменится потому что:

$$n_{O_2(1)} = \frac{\nu \mu_{O_2} N_A}{V}; \quad n_{O_2(2)} = \frac{2\nu \mu_{O_2} N_A}{V}; \quad n_{O_2(3)} = \frac{2\nu \mu_{O_2} N_A}{2V} = n_{O_2(1)}; \quad \mapsto \quad (3);$$

3. Парциальное давление азота уменьшится:

$$n_{N_2(1)} = \frac{\nu \mu_{N_2} N_A}{V}; \quad n_{N_2(2)} = \frac{\nu \mu_{N_2} N_A}{2V}; \quad n_{N_2(1)} < n_{N_2(2)}; \quad \mapsto \quad (2)$$

12. Установите соответствие между названием изопроцесса (левый столбец) и формулами, описывающими превращения энергии в этих процессах (правый столбец,  $Q$  — количество теплоты,  $\Delta U$  — изменение внутренней энергии,  $A$  — работа газа).

| НАЗВАНИЕ ИЗОПРОЦЕССА | ФОРМУЛА ДЛЯ РАСЧЁТА   |
|----------------------|-----------------------|
| А) адиабатный        | 1) $Q = \Delta U + A$ |
| Б) изохорный         | 2) $Q = A$            |
|                      | 3) $Q = \Delta U$     |
|                      | 4) $\Delta U = -A$    |

### Решение

А. Адиабатный процесс  $\delta Q = 0$ , из первого начала термодинамики:

$$\delta Q = \Delta U + A; \quad \Rightarrow \quad \Delta U = -A; \quad \mapsto \quad (4)$$

Б. Изохорный процесс  $V = \text{const}$ :

$$\delta Q = \Delta U + A; \quad \Rightarrow \quad A = 0; \quad \delta Q = \Delta U; \quad \mapsto \quad (3);$$

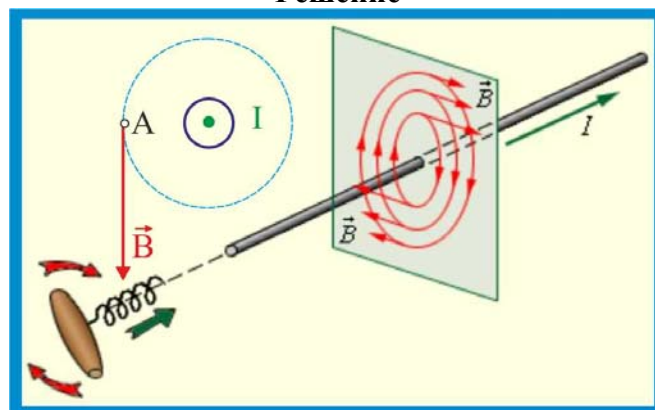
13. На рисунке изображён горизонтальный проводник, по которому течёт электрический ток в направлении «к нам».



В точке А вектор индукции магнитного поля направлен

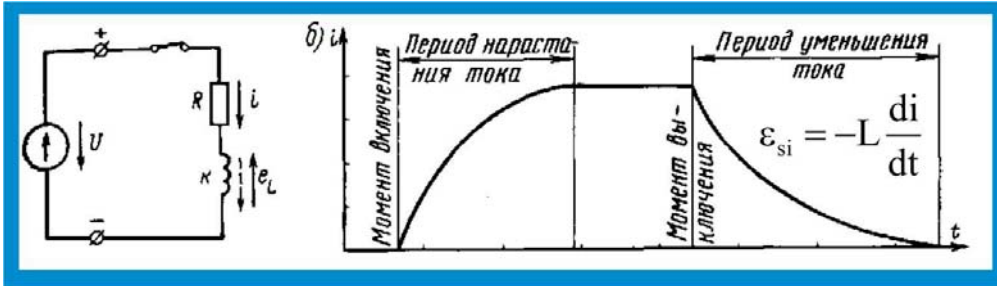
- 1) в плоскости рисунка вертикально вниз  $\downarrow$
- 2) в плоскости рисунка вертикально  $\uparrow$
- 3) перпендикулярно плоскости рисунка к нам  $\odot$
- 4) перпендикулярно плоскости рисунка от нас  $\otimes$

### Решение

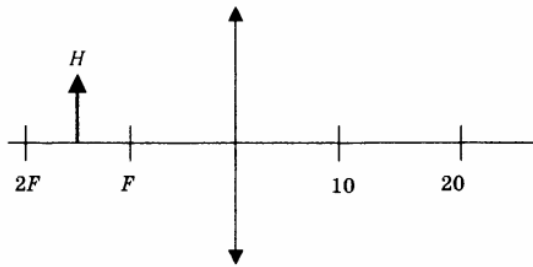


14. В момент размыкания электрической цепи, содержащей катушку,
- 1) индукционный ток не появится
  - 2) появится индукционный ток, помогающий исчезновению тока
  - 3) появится индукционный ток, препятствующий исчезновению тока
  - 4) появится постоянный индукционный ток

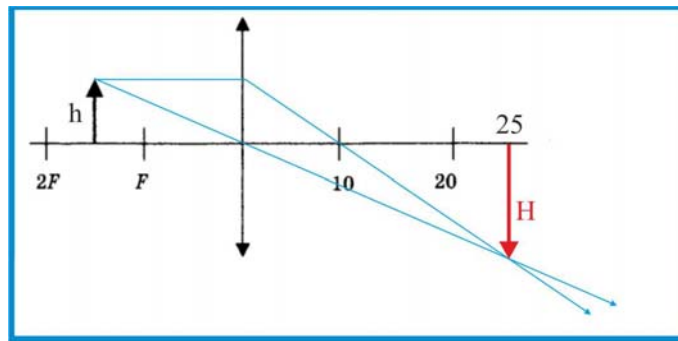
Решение



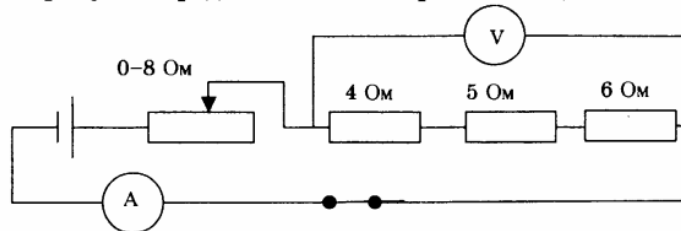
15. На каком расстоянии от тонкой собирающей линзы находится изображение предмета  $H$  ?



Решение



16. На рисунке представлена электрическая цепь.

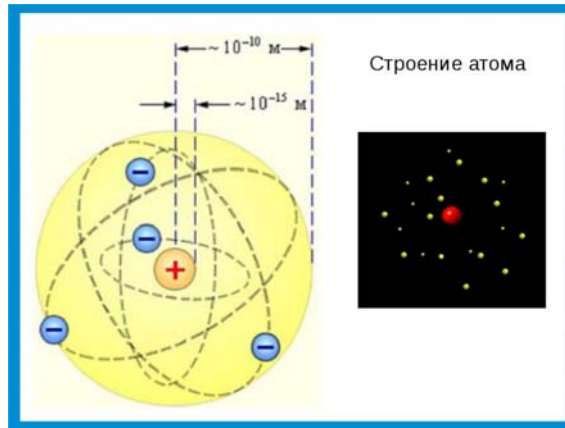


Вольтметр показывает напряжение 12 В. Какую силу тока показывает амперметр?



- 3) электрически нейтральное ядро и отрицательно заряженные электроны  
 4) положительно заряженное ядро и отрицательно заряженные электроны

**Решение**

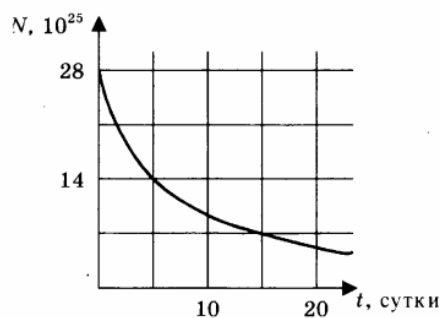


20. Импульс одного фотона видимого излучения равен  $1,47 \cdot 10^{-27}$  кг · м/с. Частота видимого излучения равна  
 1)  $6 \cdot 10^{16}$  Гц  
 2)  $2 \cdot 10^{15}$  Гц  
 3)  $10^{15}$  Гц  
 4)  $6,7 \cdot 10^{14}$  Гц

**Решение**

$$p_f = \frac{h\nu}{c}; \quad \nu = \frac{p_f c}{h} = \frac{1,47 \cdot 10^{-27} \cdot 3 \cdot 10^8}{6,3 \cdot 10^{-34}} \approx 6,7 \cdot 10^{14} \text{ Гц};$$

21. На рисунке показан график зависимости числа нераспавшихся ядер атома висмута  $^{210}_{83}\text{Bi}$  от времени.



Каков период полураспада ядер атомов висмута?

**Решение**

$$\frac{N_0}{N} = 2; \quad N \approx 14 \cdot 10^{25}; \quad \Rightarrow \quad T_{1/2} = 5 \text{ суток};$$



22. Частота колебаний волны рентгеновского фотона увеличилась. Как при этом изменились длина волны фотона и его импульс?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличилось  
2) уменьшилось  
3) не изменилось

### Решение

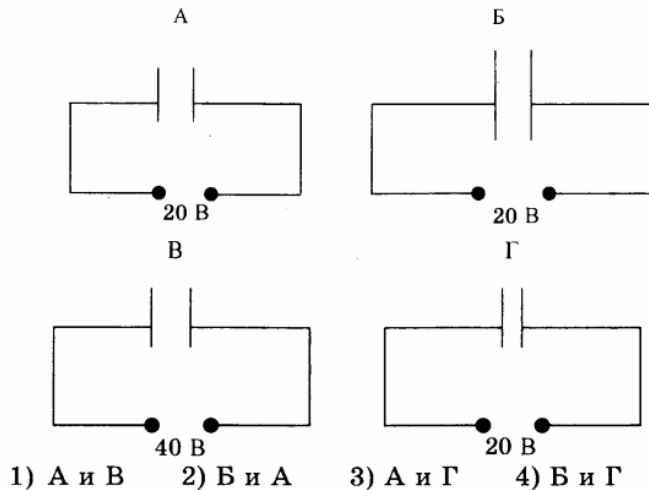
1. Длина волны фотона:

$$\lambda = \frac{c}{\nu}; \Rightarrow \nu \uparrow; \lambda \downarrow; \quad (2);$$

2. Импульс фотона:

$$p_f = \frac{h\nu}{c}; \Rightarrow \nu \uparrow; p_f \uparrow; \quad \mapsto \quad (1);$$

23. Плоский воздушный конденсатор подключён к источнику тока. Была высказана гипотеза, что электроёмкость конденсатора зависит от расстояния между его пластинами. Для проверки этой гипотезы нужно выбрать следующие два опыта из представленных ниже:



### Решение

$$C = \frac{\epsilon_0 S}{d}; \quad \mapsto \quad (3);$$

24. На графике представлены результаты измерения напряжения на реостате  $U$  при различных значениях сопротивления реостата  $R$ . Погрешность измерения напряжения  $\Delta U = \pm 0,2$  В, сопротивления  $\Delta R = \pm 0,5$  Ом.

Выберите два утверждения, соответствующие результатам этих измерений.

- С уменьшением сопротивления напряжение уменьшается.
- При сопротивлении 2 Ом сила тока примерно равна 0,5 А.
- При сопротивлении 1 Ом сила тока в цепи примерно равна 3 А.

4. При сопротивлении 10 Ом сила тока примерно равна 0,48 А.  
 5. Напряжение не зависит от сопротивления.

### Решение

1. Первое утверждение справедливо:

$$U = f(R); \quad R \downarrow; U \downarrow; \quad \mapsto (1);$$

2. Утверждение неверное:

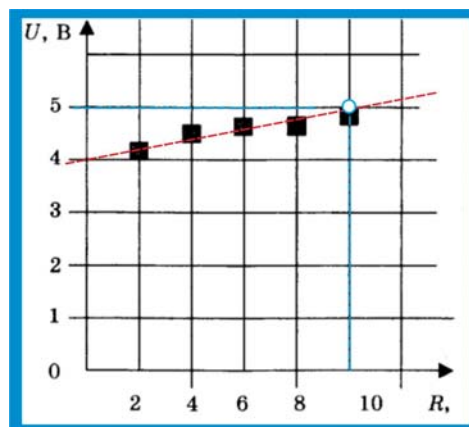
$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} \approx \frac{4,2}{2} \approx 2,1 \text{ А};$$

3. Неверное утверждение:

$$I_3 = \frac{U_3}{R_5} \approx \frac{4,1}{1} \approx 4,1 \text{ А};$$

4. Утверждение в пределах погрешностей верное:

$$I_4 \approx \frac{4,8}{10} \approx 0,48 \text{ А};$$



25. Шарик массой 50 г бросили вертикально вверх с начальной скоростью 10 м/с. Шарик поднялся на высоту 4 м и упал обратно. Чему равна сила сопротивления движению шарика?

### Решение

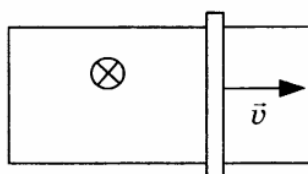
$$\frac{mv_0^2}{2} = mgh + Fh; \quad \frac{mv_0^2}{2} - mgh = Fh; \quad F = m \left( \frac{v_0^2}{2h} - g \right) \approx 0,125 \text{ Н};$$

26. Идеальная тепловая машина работает по циклу Карно, совершая за один цикл работу 2 кДж. Количество теплоты 2 кДж рабочее тело двигателя отдаёт за один цикл холодильнику, температура которого 17 °С. Чему равна температура нагревателя?

### Решение

$$Q_H = Q_X + A = 4 \text{ кДж}; \quad \eta = 1 - \frac{Q_X}{Q_H} = 0,5; \quad \eta = 1 - \frac{T_X}{T_H}; \quad \Rightarrow \quad 1 - \eta = \frac{T_X}{T_H}; \quad T_H = \frac{T_X}{1 - \eta} = 307 \text{ К};$$

27. П-образный контур находится в однородном магнитном поле, перпендикулярном плоскости контура (см. рис.). Индукция магнитного поля  $B = 0,2 \text{ Тл}$ .



По контуру со скоростью  $v = 1 \text{ м/с}$  скользит перемычка длиной  $l = 20 \text{ см}$ . Сила индукционного тока в контуре  $I = 4 \text{ мА}$ . Чему равно сопротивление перемычки?

### Решение

$$i_i = \frac{\varepsilon_i}{R} = \frac{Bl\Delta x}{\Delta t} = \frac{Bvl}{R}; \quad R = \frac{Bvl}{i_i} = \frac{0,2 \cdot 1 \cdot 0,2}{4 \cdot 10^{-3}} = 10 \text{ Ом};$$

- 28.** Человек в очках вошёл с улицы в тёплую комнату и обнаружил, что его очки запотели. Какой должна быть температура на улице, чтобы наблюдалось это явление? Температура воздуха в комнате 18 °С, относительная влажность воздуха 50 %. Поясните, как вы получили ответ.

(Для ответа на этот вопрос воспользуйтесь таблицей для давления насыщенных паров воды.)

**Давление насыщенных паров воды при различных температурах**

|                     |       |       |       |       |      |      |     |      |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|------|------|-----|------|
| $t, ^\circ\text{C}$ | 0     | 2     | 4     | 6     | 8    | 10   | 12  | 14   |
| $p, \text{кПа}$     | 0,611 | 0,705 | 0,813 | 0,934 | 1,07 | 1,23 | 1,4 | 1,59 |

|                     |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $t, ^\circ\text{C}$ | 16   | 18   | 20   | 22   | 24   | 25   | 30   | 40   |
| $p, \text{кПа}$     | 1,81 | 2,06 | 2,19 | 2,64 | 2,99 | 3,17 | 4,24 | 7,37 |

### Решение

1. Конденсация паров воды происходит при понижении температуры на некой поверхности, например, на стекле окна до температуры при которой давление паров становится насыщенным. Точка росы зависит от относительной влажности в комнате и температуры. При стопроцентной влажности точка росы совпадает с температурой в комнате:

$$\varphi = \frac{p_{\text{п}}}{p_{\text{нп}}}; \quad 0,5 = \frac{p_{\text{п}}}{p_{\text{нп}}} = \frac{p_{\text{п}}}{2,06 \cdot 10^3}; \quad p_{\text{п}} = 1,03 \cdot 10^3 \text{ Па}; \quad T_{\text{х}} \approx 7 ^\circ\text{C};$$

- 29.** Мяч бросают вертикально вверх со скоростью 20 м/с. Какой путь пройдёт мяч за 3 секунды движения? Сопротивлением воздуха пренебречь.

### Решение

1. Время подъёма мяча в верхнюю точку траектории:

$$v_0 - gt_{\text{п}} = 0; \quad t_{\text{п}} = \frac{v_0}{g} = 2\text{с};$$

2. Высота подъёма мяча:

$$\frac{mv_0^2}{2} = mgh_1; \quad h_1 = \frac{v_0^2}{2g} = 20\text{м};$$

3. Путь, пройденный телом вниз:

$$h_2 = \frac{gt_2^2}{2} = 5\text{м};$$

4. Полный путь:

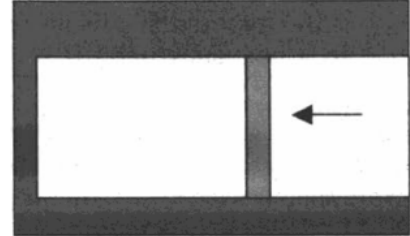
$$S_{\Sigma} = S_1 + S_2 = 2\text{м};$$

30. В горизонтальном теплоизолированном цилиндрическом сосуде под поршнем при комнатной температуре находится 0,5 моль гелия. Поршню сообщают скорость 8 м/с, направленную влево. Масса поршня 1 кг. На сколько изменится температура гелия к моменту остановки поршня? Трением и теплообменом с поршнем пренебречь.

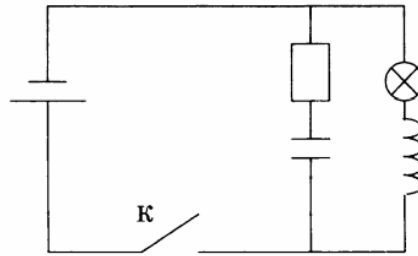
Решение

$$K = \Delta U; \quad \frac{mv^2}{2} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T;$$

$$\Delta T = \frac{mv^2}{3\nu R} = \frac{1 \cdot 64}{3 \cdot 0,5 \cdot 8,3} \approx 5,1 \text{K};$$



31. В электрической цепи, показанной на рисунке, ЭДС источника тока равна 20 В; ёмкость конденсатора 400 мкФ; индуктивность катушки 8 мГн; сопротивление лампы 4 Ом и сопротивление резистора 6 Ом. В начальный момент времени ключ К замкнут. Какая энергия выделится в резисторе после размыкания ключа? Внутренним сопротивлением источника, а также сопротивлением проводов и катушки пренебречь.



Решение

1. Сила тока в цепи:

$$I_0 = \frac{\varepsilon}{R_{\text{Л}}};$$

2. Энергия магнитного поля катушки:

$$W_{\text{В}} = \frac{LI_0^2}{2} = \frac{L\varepsilon^2}{2R_{\text{Л}}^2};$$

3. Энергия электрического поля конденсатора:

$$W_{\text{Е}} = \frac{CU^2}{2} = \frac{C\varepsilon^2}{2};$$

4. Полная энергия контура:

$$W = W_{\text{В}} + W_{\text{Е}} = \frac{L\varepsilon^2}{2R_{\text{Л}}^2} + \frac{C\varepsilon^2}{2} = \frac{\varepsilon^2}{2} \left( \frac{L}{R_{\text{Л}}^2} + C \right);$$

5. Энергия, выделяющаяся в контуре после размыкания ключа:

$$W^* = W_{\text{Л}} + W_{\text{R}} = Q_{\text{Л}} + Q_{\text{R}};$$

$$Q_{\text{Л}} = I^2 R_{\text{Л}} t; \quad Q_{\text{R}} = I^2 R_{\text{R}} t; \quad \frac{Q_{\text{Л}}}{Q_{\text{R}}} = \frac{R_{\text{Л}}}{R_{\text{R}}}; \quad Q_{\text{Л}} = Q_{\text{R}} \frac{R_{\text{Л}}}{R_{\text{R}}}; \quad W^* = Q_{\text{R}} \left( 1 + \frac{R_{\text{Л}}}{R_{\text{R}}} \right);$$

6. Энергия, выделившаяся на сопротивлении  $R_R$ :

$$Q_R = \frac{W^*}{1 + \frac{R_L}{R_R}};$$

7. В соответствии с законом сохранения энергии в идеальном колебательном контуре:

$$W = W^* = \frac{400}{2} \left( \frac{8 \cdot 10^{-3}}{16} + 4 \cdot 10^{-4} \right) = 0,18 \text{ Дж};$$
$$Q_R = \frac{0,18}{1,66} \approx 0,108 \text{ Дж};$$

---

- 32.** Идеальный колебательный контур состоит из конденсатора ёмкостью 20 мкФ и катушки индуктивностью 8 мГн. Амплитуда колебаний заряда на конденсаторе 8 нКл. Какова максимальная энергия магнитного поля катушки?

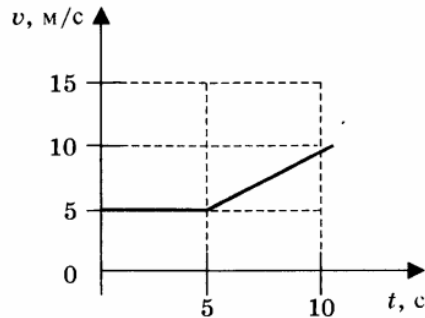
**Решение**

$$\frac{q_m^2}{2C} = \frac{Li_m^2}{2}; \Rightarrow i_m^2 = \frac{q_m^2}{LC};$$
$$W_{B(\max)} = \frac{Li_m^2}{2} = \frac{q_m^2}{2C} = 1,6 \cdot 10^{-12} \text{ Дж} = 1,6 \text{ пДж};$$

---

## Вариант 20

1. На рисунке приведён график зависимости скорости велосипедиста от времени.



Ускорение велосипедиста в интервале времени от 5 с до 10 с равно

- 1) 0  
2)  $0,25 \text{ м/с}^2$   
3)  $0,5 \text{ м/с}^2$   
4)  $1 \text{ м/с}^2$

**Решение**

$$a_{5-10} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}; \quad S_{5-10} = \frac{a_{5-10} t^2}{2} = 12,5 \text{ м}; \quad \mapsto \quad (4);$$

---

2. Брусоч соскальзывает с наклонной плоскости с увеличивающейся скоростью. Для сил, действующих на брусоч, верным является утверждение:

- 1) сумма всех сил, действующих на брусоч, равна нулю  
2) на брусоч действует только сила тяжести  
3) на брусоч не действуют никакие силы  
4) сумма всех сил, действующих на брусоч, не равна нулю

**Решение**

$$\sum_{i=1}^{i=n} \vec{F}_i = m \vec{a}; \quad \vec{a} \neq 0; \quad \Rightarrow \quad \sum_{i=1}^{i=n} \vec{F}_i \neq 0; \quad \mapsto \quad (4);$$

---

3. Самолёт летит со скоростью  $v_1 = 180 \text{ км/ч}$ , а вертолёт со скоростью  $v_2 = 90 \text{ км/ч}$ . Масса самолёта  $m = 3000 \text{ кг}$ . Отношение импульса самолёта к импульсу вертолёта равно 1,5. Чему равна масса вертолёта?

**Решение**

$$v_1 = 50 \frac{\text{м}}{\text{с}}; \quad v_2 = 25 \frac{\text{м}}{\text{с}}; \quad \frac{m_1 v_1}{m_2 v_2} = 1,5; \quad m_2 = \frac{m_1 v_1}{1,5 v_2} = \frac{3 \cdot 10^3 \cdot 50}{1,5 \cdot 25} = 4 \cdot 10^3 \text{ кг};$$

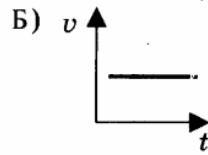
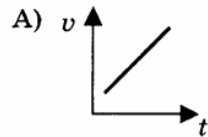
---

4. Мяч падает вертикально вниз на наклонную плоскость со скоростью  $v$ , как показано на рисунке, и упруго отскакивает от неё.



7. Установите соответствие между изображёнными в первом столбце графиками различных движений и названием движения.

ГРАФИКИ



НАЗВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ

- 1) равномерное
- 2) равнозамедленное
- 3) равноускоренное
- 4) с переменным ускорением

**Решение**

А. Равноускоренное движение:

$$v = at; \quad \mapsto \quad (3);$$

Б. Равномерное движение:

$$v = \text{const}; \quad \mapsto \quad (1);$$

8. При понижении абсолютной температуры идеального газа в 2 раза средняя квадратичная скорость теплового движения молекул

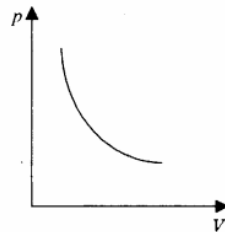
- 1) уменьшится в 1,4 раза
- 2) увеличится в 1,4 раза
- 3) уменьшится в 2 раза
- 4) увеличится в 2 раза

**Решение**

$$v = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}; \quad v \sim \sqrt{T}; \quad \Rightarrow \quad \frac{v_2}{v_1} = \sqrt{2} = 1,41; \quad \mapsto \quad (1);$$

9. На рисунке приведён график зависимости давления 1 кг идеального газа от объёма. Этот график соответствует процессу

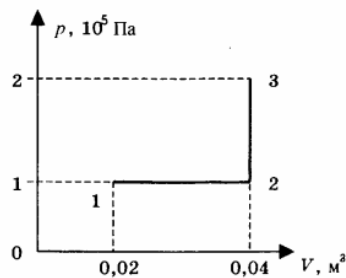
- 1) изохорному
- 2) изобарному
- 3) изотермическому
- 4) неизвестному, так как не задан вид газа



**Решение**

$$T = \text{const}; \quad \Rightarrow \quad pV = \text{const}; \quad \mapsto \quad (3);$$

10. Какую работу совершает газ при переходе из состояния 1 в состояние 3?

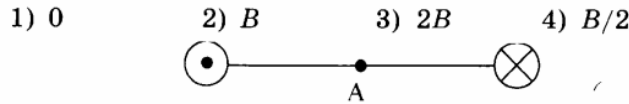


**Решение**

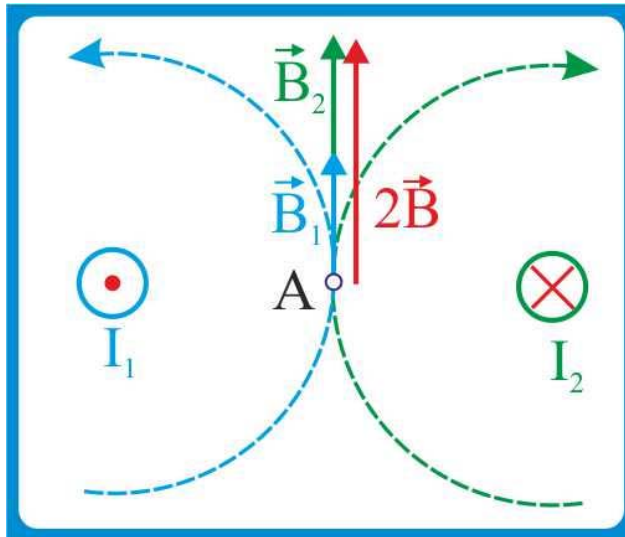
$$A_{23} = 0; \quad A_{12} = p_1(V_2 - V_1) = 10^5 \cdot 0,02 = 2 \cdot 10^3 \text{ Дж} = 2 \text{ кДж};$$







**Решение**



15. Изображение предмета на дисплее цифрового фотоаппарата при съёмке с расстояния 18 м получилось высотой 6 мм, а при съёмке с расстояния 10 м – высотой 11 мм. Определить фокусное расстояние используемого объектива.

**Решение**

1. Будем считать для упрощения анализа, что в фотоаппарате используется собирающая линза, перемещающаяся относительно матрицы, поэтому для заданных условий можно записать следующие уравнения



Рис. 15.172. Дисплей фотоаппарата

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_1} &= \frac{1}{F}; \\ \frac{1}{d_2} + \frac{1}{f_2} &= \frac{1}{F}; \\ \frac{f_1}{d_1} &= \frac{H_1}{h}; \\ \frac{f_2}{d_2} &= \frac{H_2}{h}; \end{aligned} \right\}$$

Полученная система четырёх уравнений содержит четыре неизвестных величины.

2. Решим систему уравнений

$$\begin{aligned} f_1 &= \frac{d_1 H_1}{h}; & f_2 &= \frac{d_2 H_2}{h}; \\ \frac{1}{d_1} + \frac{h}{d_1 H_1} &= \frac{1}{F}; & \frac{1}{d_2} + \frac{h}{d_2 H_2} &= \frac{1}{F}; \end{aligned}$$

Перепишем два последние уравнения



**ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА**

**ФОРМУЛА**

- А) Магнитная индукция  
 Б) напряжённость электрического поля

- 1)  $\frac{\Delta q}{\Delta t}$   
 2)  $\frac{F}{q}$   
 3)  $\frac{F}{Il}$   
 4)  $IU$

**Решение**

А. Магнитная индукция:

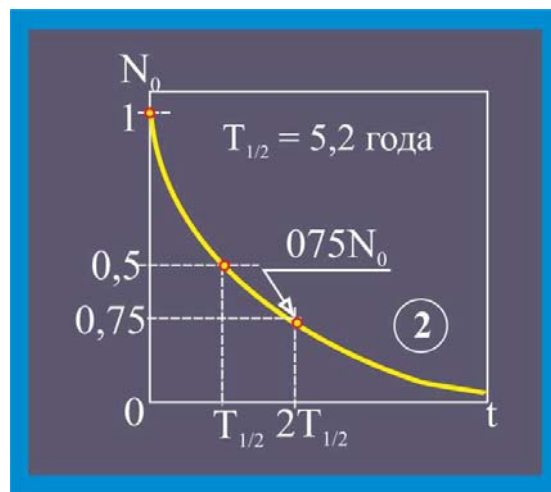
$$|\vec{F}_A| = IB\ell; \Rightarrow B = \frac{F_A}{I\ell}; \mapsto (3)$$

Б. Напряжённость электрического поля:

$$F_K = qE; \Rightarrow E = \frac{F_K}{q}; \mapsto (2);$$

19. Период полураспада ядер атомов кобальта  ${}^{60}_{27}\text{Co}$  составляет 5,2 года. Это означает, что в образце, содержащем большое число атомов кобальта,
- 1) все изначально имевшиеся атомы распадутся через 10,4 года
  - 2) половина начального количества атомов распадется за 5,2 года
  - 3) половина начального количества атомов распадется за 2,6 года
  - 4) все изначально имевшиеся атомы распадутся через 5,2 года

**Решение**



20. Радиоактивный нептуний  ${}^{237}_{93}\text{Np}$  испытал 2  $\alpha$ -распада и 1  $\beta$ -распад. Получившийся в результате изотоп ядра будет иметь заряд  $Z$  и массовое число  $A$ :

- 1)  $A = 245$   
 $Z = 97$   
 2)  $A = 235$   
 $Z = 96$

- 3)  $A = 229$   
 $Z = 90$   
 4)  $A = 233$   
 $Z = 87$

**Решение**

$$\alpha \equiv {}_2^4\text{He}; \quad \beta \equiv {}_{-1}^0\text{e};$$

$$A_X = 237 - 2 \cdot 4 = 229; \quad Z_X = 93 - 2 \cdot 2 + 1 = 80; \quad {}_{80}^{229}\text{X}; \quad \mapsto (3);$$

21. Энергия рентгеновского фотона  $2 \cdot 10^{-14}$  Дж. Чему равна частота волны рентгеновского фотона с энергией, в 2 раза меньшей? Ответ округлите до десятых.

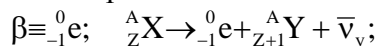
**Решение**

$$\varepsilon_1 = h\nu_1; \quad \nu_1 = \frac{\varepsilon_1}{h} = \frac{2 \cdot 10^{-14}}{6,6 \cdot 10^{-34}} \approx 3 \cdot 10^{19} \text{ Гц}; \quad \nu_2 = 1,5 \cdot 10^{19} \text{ Гц};$$

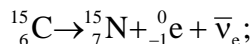
22. Произошел  $\beta$ -распад атомного ядра. Как при этом изменилось число протонов и нейтронов в ядре? Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:  
 1) увеличилось  
 2) уменьшилось  
 3) не изменилось

**Решение**

1. При  $\beta$ -распаде излучается электрон ( $\beta$ -частица). В результате распада одного нейтрона на протон, электрон и антинейтрино:

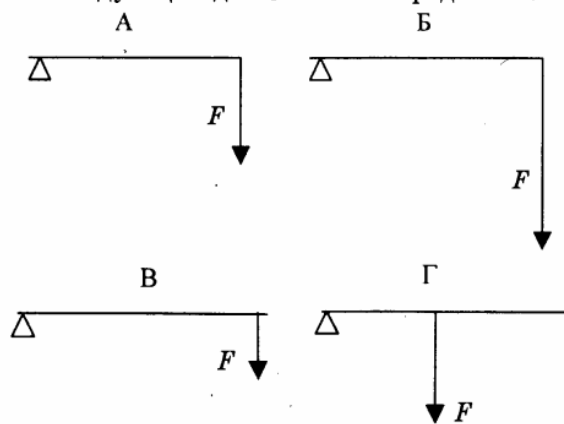


дочернее ядро смещается в периодической системе на одну клетку вперёд, например:



т.е. число протонов увеличивается, а число нейтронов уменьшается,  $A = \text{const}$ ;

23. К рычагу, закреплённому с одного конца, прикладывается сила. Была высказана гипотеза, что момент силы зависит от плеча силы. Для проверки этой гипотезы нужно выбрать следующие два опыта из представленных ниже:



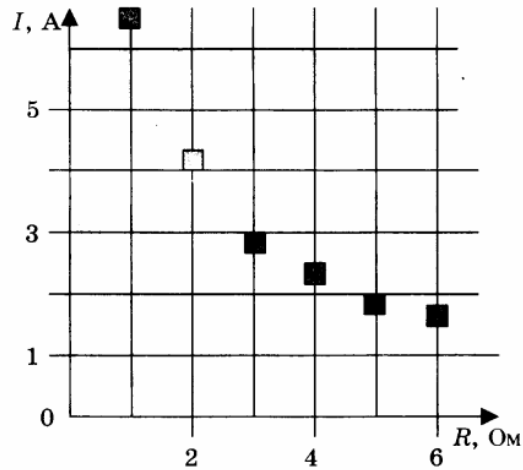
- 1) А и Б  
 2) Б и Г

- 3) А и Г  
 4) А и В

**Решение**

$$M_z(\vec{F}) = |\vec{F}| \ell; \quad \mapsto \quad (3);$$

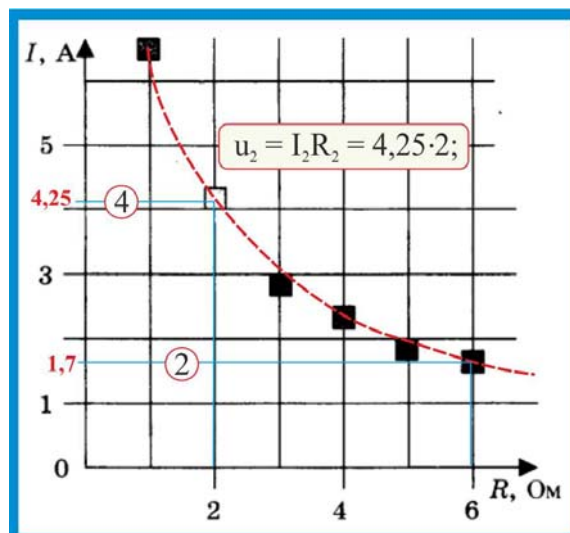
24. На графике представлены результаты измерения силы тока на реостате  $I$  при различных значениях сопротивления реостата  $R$ . Погрешность измерения напряжения  $\Delta U = \pm 0,2$  В, сопротивления  $\Delta R = \pm 0,5$  Ом.



Выберите два утверждения, соответствующие результатам этих измерений.

1. С уменьшением сопротивления сила тока уменьшается.
2. При сопротивлении 2 Ом напряжение примерно равно 8,5 В.
3. При сопротивлении 1 Ом напряжение примерно равно 7 В.
4. При сопротивлении 6 Ом сила тока примерно равна 1,7 А.
5. Напряжение не зависит от сопротивления.

### Решение



25. Пуля массой 10 г, летящая со скоростью 200 м/с, пробивает доску толщиной 2 см и вылетает со скоростью 100 м/с. Чему равна сила сопротивления доски?

**Решение**

1. В соответствии с теоремой об изменении кинетической энергии:

$$\frac{mv_1^2}{2} - \frac{mv_2^2}{2} = F\ell; \Rightarrow \frac{m}{2\ell}(v_1^2 - v_2^2) = \frac{10^{-2}}{4 \cdot 10^{-2}}(4 \cdot 10^4 - 1 \cdot 10^4) = 7,5 \cdot 10^3 \text{ Н};$$

26. По проводнику длиной 8 см течёт ток 50 А. В магнитном поле с индукцией 20 мТл, направленной перпендикулярно проводнику, проводник переместился на расстояние 20 см в направлении действия силы. Какую работу совершила сила Ампера?

**Решение**

$$F_A = IB\ell; \quad A(F_A) = IB\ell x = 50 \cdot 2 \cdot 10^{-2} \cdot 8 \cdot 10^{-2} \cdot 0,2 = 1,6 \cdot 10^{-2} \text{ Дж} = 16 \text{ мДж};$$

27. Предмет высотой 3 см расположен на главной оптической оси тонкой собирающей линзы на расстоянии 40 см от её оптического центра. Фокусное расстояние линзы 20 см. Найдите высоту изображения предмета.

**Решение**

$$F = \frac{df}{d+f}; \quad f = \frac{dF}{d-F} = \frac{40 \cdot 20}{20} = 40 \text{ см}; \Rightarrow \frac{H}{h} = \frac{f}{d} = 1; \quad H = 3 \text{ см};$$

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**

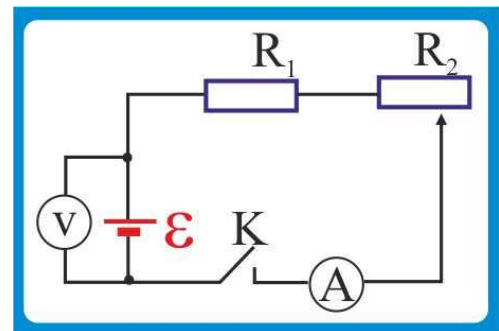
1. Сила тока в цепи:

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

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

2. Показания вольтметра:

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



29. Кусок пластилина сталкивается со скользящим в том же направлении по горизонтальной поверхности стола бруском и прилипает к нему. Скорости пластилина и бруска перед ударом направлены в одну сторону и равны  $v_{пл} = 10$  м/с и  $v_{бр} = 5$  м/с. Масса бруска в 3 раза больше массы пластилина. Коэффициент трения скольжения между бруском и столом  $\mu = 0,48$ . На какое расстояние переместятся слипшиеся брусок с пластилином к моменту, когда их скорость уменьшится на 25%?

### Решение

1. Скорость бруска с налипшим пластилином в момент начала совместного движения:

$$mv_1 + 3mv_2 = (m + 3m)u_1; \quad u_1 = \frac{m(v_1 + 3v_2)}{4m} = 6,25 \frac{м}{с};$$

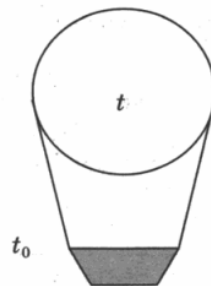
2. Скорость бруска с налипшим пластилином в заданный момент времени, когда их совместная скорость уменьшится на 25%

$$u_2 = 0,75u_1 \approx 4,68 \frac{м}{с};$$

3. В соответствии с теоремой об изменении кинетической энергии:

$$K_1 - K_2 = A(F_T); \quad u_1^2 - u_2^2 = 2\mu gS; \quad \Rightarrow \quad S = \frac{u_1^2 - u_2^2}{2\mu g} \approx \frac{39 - 22}{9,6} \approx 1,78м;$$

30. Аэростат объёмом  $V = 200$  м<sup>3</sup> наполняют горячим воздухом при температуре  $t = 280$  °С и нормальном атмосферном давлении. Температура окружающего воздуха  $t_0 = 0$  °С. Какую максимальную массу должна иметь оболочка аэростата, чтобы он мог подниматься? Оболочка аэростата нерастяжима и имеет в нижней части небольшое отверстие.



### Решение

1. Условие безразличного равновесия шара в воздухе

$$F_A = m_1g + m_2g; \quad \rho_0gV = m_1g + \rho gV; \quad \Rightarrow \quad \rho_0V = m_1 + \rho V; \quad \Rightarrow \quad \rho_0 = \frac{m_1}{V} + \rho;$$

2. Плотность окружающего шар воздуха  $\rho_0$  и плотность нагретого воздуха внутри шара  $\rho$ :

$$\left. \begin{aligned} pV = \frac{m}{\mu}RT; \quad \Rightarrow \quad p = \frac{m}{V} \frac{RT}{\mu}; \quad \Rightarrow \quad p = \rho \frac{RT}{\mu}; \quad \rho = \frac{p\mu}{RT}; \quad \Rightarrow \end{aligned} \right\} \begin{aligned} \rho_0 &= \frac{\mu p}{RT_0}; \\ \rho &= \frac{\mu p}{RT}; \end{aligned}$$

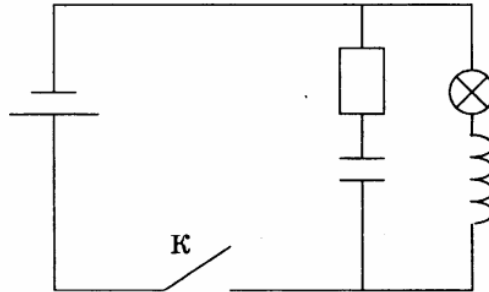
3. Подставим значение плотностей в условие безразличного равновесия шара:

$$\frac{\mu p}{RT_0} = \frac{\mu p}{RT} + \frac{m}{V}; \quad \Rightarrow \quad \frac{\mu p}{R} \left( \frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right) = \frac{m}{V}; \quad \frac{mR}{\mu p V} = \frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} = 1,86 \cdot 10^{-3};$$

$$m = \frac{1,86 \cdot 10^{-3} \mu p V}{R} \approx \frac{1,86 \cdot 10^{-3} \cdot 29 \cdot 10^{-3} \cdot 10^5 \cdot 200}{8,3} \approx 130кг;$$



31. В электрической цепи, показанной на рисунке, ЭДС источника тока равна 20 В; индуктивность катушки 8 мГн; сопротивление лампы 4 Ом и сопротивление резистора 6 Ом. В начальный момент времени ключ К замкнут. Какой должна быть ёмкость конденсатора, чтобы после размыкания ключа в лампе выделилась энергия 120 мДж? Внутренним сопротивлением источника, а также сопротивлением проводов и катушки пренебречь.



### Решение

1. Сила тока в цепи:

$$I_0 = \frac{\varepsilon}{R_L};$$

2. Энергия магнитного поля катушки и электрического поля конденсатора:

$$W_B = \frac{LI_0^2}{2} = \frac{L\varepsilon^2}{2R_L^2}; \quad W_E = \frac{CU^2}{2} = \frac{C\varepsilon^2}{2};$$

4. Полная энергия контура:

$$W = W_B + W_E = \frac{L\varepsilon^2}{2R_L^2} + \frac{C\varepsilon^2}{2} = \frac{\varepsilon^2}{2} \left( \frac{L}{R_L^2} + C \right);$$

5. Энергия, выделяющаяся в контуре после размыкания ключа:

$$W^* = W_L + W_R = Q_L + Q_R;$$

$$Q_L = I^2 R_L t; \quad Q_R = I^2 R_R t; \quad \frac{Q_L}{Q_R} = \frac{R_L}{R_R}; \quad Q_R = Q_L \frac{R_R}{R_L}; \quad W^* = Q_L \left( 1 + \frac{R_R}{R_L} \right);$$

$$W^* = \frac{5}{3} Q_L = \frac{L\varepsilon^2}{2R_L^2} + \frac{C\varepsilon^2}{2}; \quad C = \frac{2W^*}{\varepsilon^2} - \frac{L}{R_L^2} = \frac{10Q_L}{3\varepsilon^2} - \frac{L}{R_L^2} \approx 1 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^{-4} \approx 5 \cdot 10^{-4} \text{ Ф};$$

32. Красная граница фотоэффекта для некоторого металла  $\lambda_{кр} = 497$  нм. Какова максимальная скорость электронов, выбиваемых из пластины светом с длиной волны  $\lambda = 375$  нм?

### Решение

1. Уравнение внешнего фотоэффекта:

$$h\nu = \frac{m_e v_m^2}{2} + A, \quad \frac{hc}{\lambda} = \frac{m_e v_m^2}{2} + \frac{hc}{\lambda_0};$$

2. Максимальная скорость фотоэлектронов:

$$v_m = \sqrt{\frac{2hc}{m_e} \left( \frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0} \right)} \approx 5,3 \cdot 10^5 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$