

# *Особенности оценивания заданий с развернутым ответом ЕГЭ по ФИЗИКЕ*

**Гиголо Антон Иосифович**

член Федеральной комиссии

по разработке контрольно-измерительных материалов

ЕГЭ по физике

## Оценивание №28 (качественная задача)

- Требования к полноте ответа приводятся в самом тексте задания. Как правило, все задания содержат:
- А) требование к формулировке ответа — *«Как изменится ... (показание прибора, физическая величина)», «Опишите движение ...»* или *«Постройте график ...»* и т.п.
- Б) требование привести развёрнутый ответ с обоснованием — *«объясните ..., указав, какими физическими явлениями и закономерностями оно вызвано»* или *«...поясните, указав, какие физические закономерности вы использовали для объяснения»*.
- Как правило, в авторском решении правильный ответ и объяснение выделяются отдельными пунктами.
- В критериях оценивания приводится перечень явлений и законов, на основании которых строится объяснение.

## Оценивание №28 (качественная задача)

Обобщенная схема оценивания строится на основании трех элементов решения:

- ***формулировка ответа;***
- ***объяснение;***
- ***прямые указания на физические явления и законы.***

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное правильное решение, включающее правильный ответ (в данном случае: <u>*****</u>) и исчерпывающие верные рассуждения с прямым указанием наблюдаемых явлений и законов (в данном случае: <u>*****</u>)</p>	3
<p>Дан <u>правильный ответ</u>, и <u>приведено объяснение</u>, но в решении имеются один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>В объяснении <u>не указано или не используется одно из физических явлений, свойств, определений или один из законов (формул), необходимых для полного верного объяснения.</u> (Утверждение, лежащее в основе объяснения, не подкреплено соответствующим законом, свойством, явлением, определением и т.п.)</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но в них содержится один логический недочёт.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p><u>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение, которые не отделены от решения и не зачёркнуты.</u></p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеется <u>неточность в указании на одно из физических явлений, свойств, определений, законов (формул), необходимых для полного верного объяснения</u></p>	<p>2</p> <p>2.1</p> <p>2.2</p> <p>2.3</p> <p>2.4</p>

Представлено решение, соответствующее одному из следующих случаев.

Дан правильный ответ на вопрос задания, и приведено объяснение, но в нём не указаны два явления или физических закона, необходимых для полного верного объяснения.

ИЛИ

Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, направленные на получение ответа на вопрос задания, не доведены до конца.

ИЛИ

Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, приводящие к ответу, содержат ошибку (ошибки).

ИЛИ

Указаны не все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеются верные рассуждения, направленные на решение задачи

Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла

1

1.1

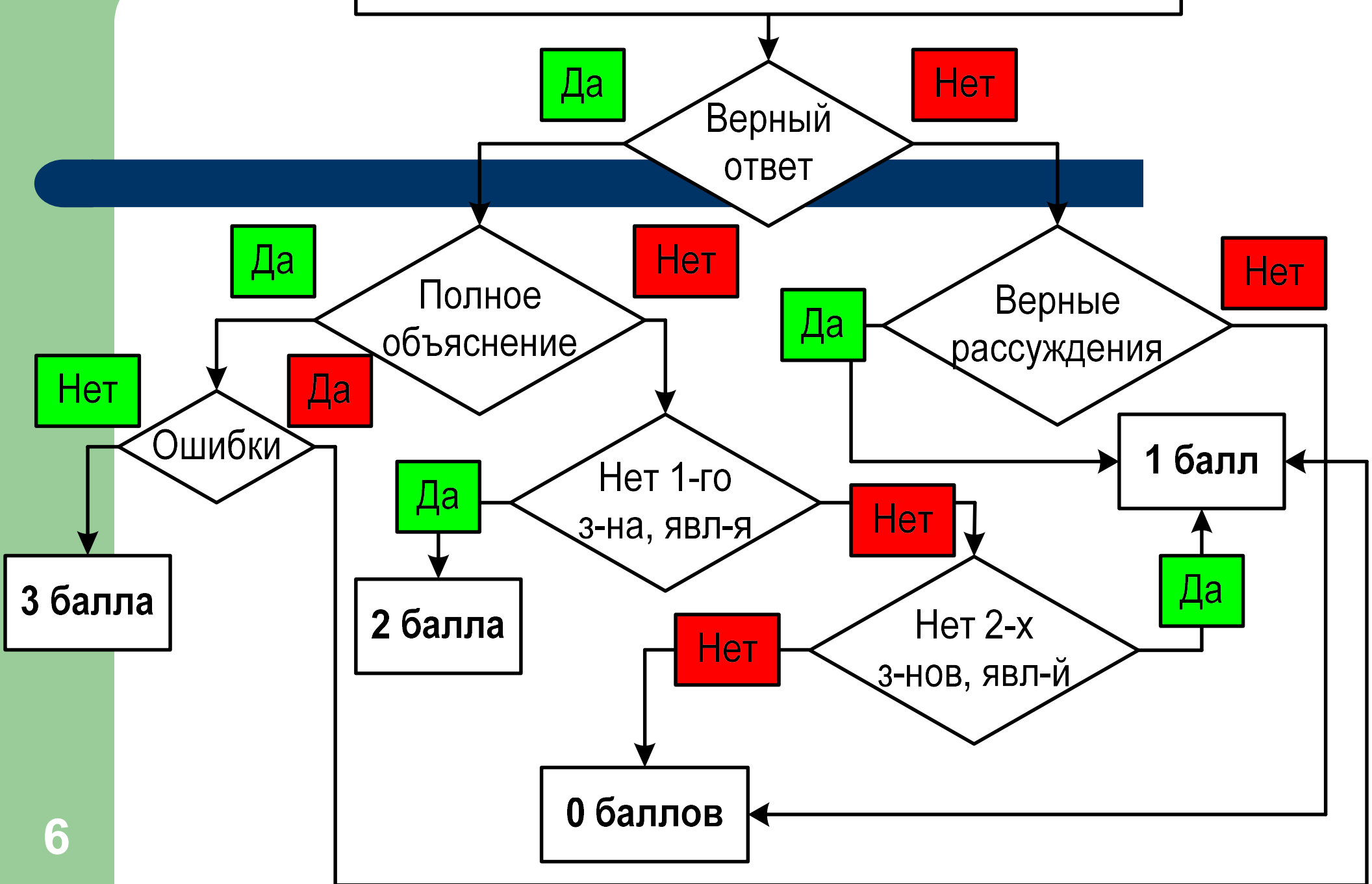
1.2

1.3

1.4

0

Алгоритм принятия решения экспертом при оценивании качественных задач №28



## Изменения в схеме оценивания №28

- **Задания с дополнительными условиями.** Например, дополнительно к объяснению предлагается изобразить схему электрической цепи или рисунок с ходом лучей в оптической системе. В этом случае **в описание полного правильного решения вводится еще один пункт (верный рисунок или схема).**
- Отсутствие рисунка (или схемы) или наличие ошибки в них приводит к снижению на 1 балл.
- Наличие правильного рисунка (схемы) при отсутствии других элементов ответа - 1 балл.

# Задача №28

## Пример - 1

28

Параллельно катушке индуктивности  $L$  включена лампочка (см. рис. а). Яркость свечения лампочки прямо пропорциональна напряжению на ней. На рисунке б представлен график зависимости силы тока  $I$  в катушке от времени  $t$ . Сопротивлением катушки пренебречь. Опираясь на законы физики, изобразите график зависимости яркости свечения лампочки от времени.

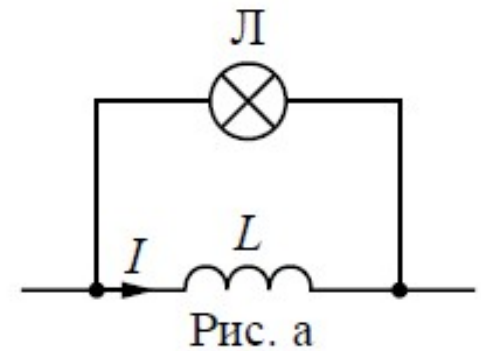
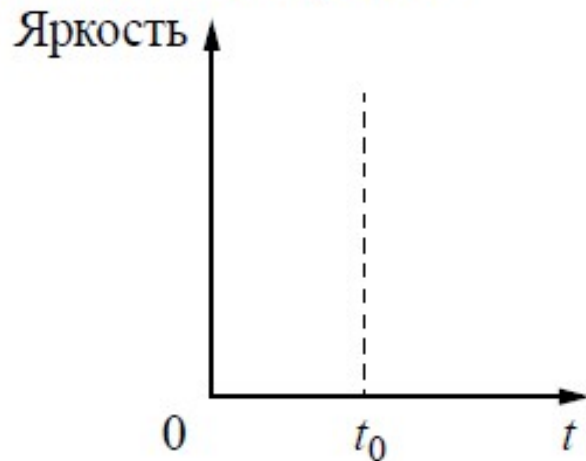


Рис. а

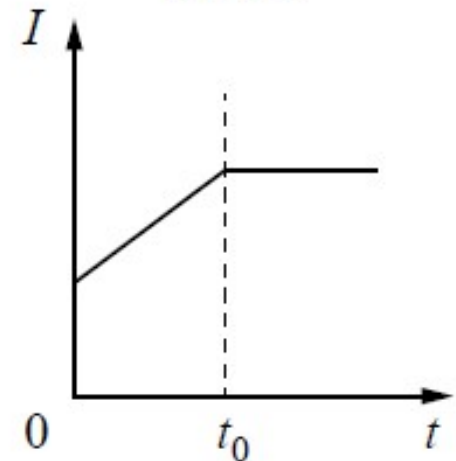
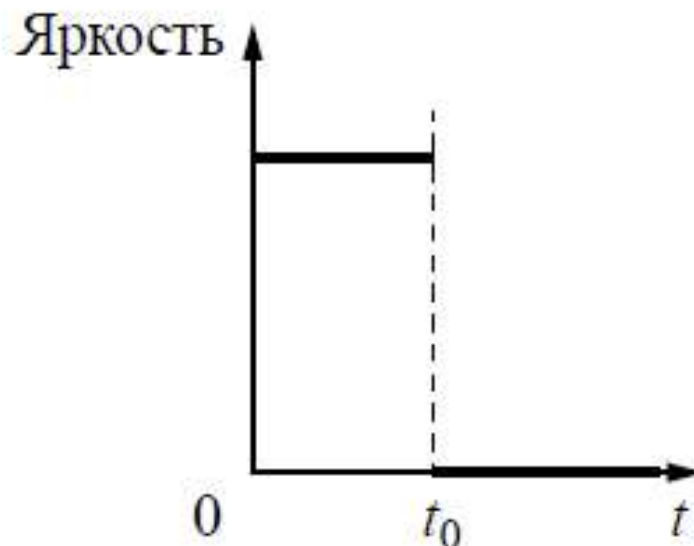


Рис. б



## Возможное решение

1. Катушка и лампочка соединены параллельно, поэтому напряжение на лампочке равно напряжению на катушке.
2. При  $t < t_0$  сила тока в катушке изменяется по линейному закону. ЭДС самоиндукции катушки  $\mathcal{E}_{si} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} = const$ . Напряжение на лампочке равно ЭДС самоиндукции катушки, а значит постоянно, и яркость свечения лампочки на этом интервале времени также постоянна.
3. При  $t > t_0$  сила тока в катушке постоянна,  $\frac{\Delta I}{\Delta t} = 0$  и, следовательно, ЭДС самоиндукции катушки и напряжение на лампочке равны нулю. На этом интервале времени лампочка не светит.
4. График зависимости яркости свечения лампочки от времени приведён на рисунке.



### Критерии оценивания выполнения задания

Баллы

Приведено полное правильное решение, включающее правильный ответ (в данном случае: правильно изображён график зависимости яркости лампочки от времени) и исчерпывающие верные рассуждения с прямым указанием наблюдаемых явлений и законов (в данном случае: указано, что при параллельном соединении элементов цепи напряжения на них одинаковы; правильно применяется формула для расчёта ЭДС самоиндукции катушки)

3

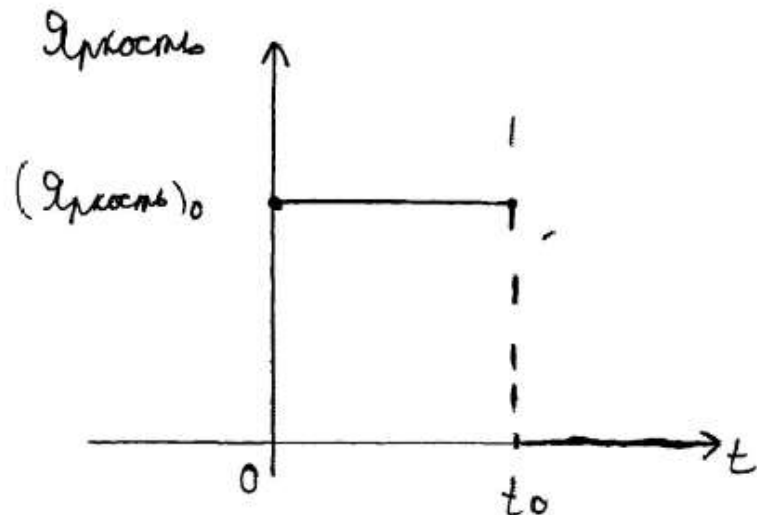
# Примеры решения

№ 28:

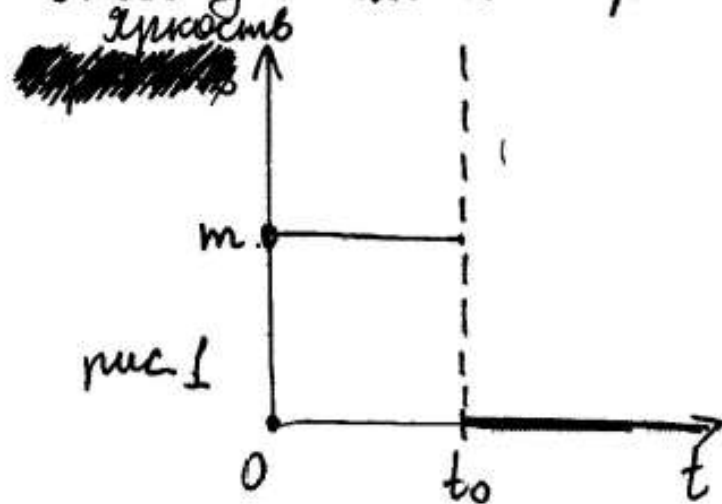
Пусть сопротивление лампы  $R$ . Тогда её напряжение  $U = IR$  по закону Ома. В катушке возникает ЭДС самоиндукции:  $|\mathcal{E}_i| = L \frac{\Delta I}{\Delta t} \Rightarrow$   
 $\Rightarrow |\mathcal{E}_i| = L \frac{dI}{dt}$ . Так как катушка и лампа соединены параллельно, то

$U =$  напряж. катушки. Т.к. сопр. катушки  $= 0$ , то её напряжение равно  $|\mathcal{E}_i|$ . В момент времени  $t_0$  лампочка гаснет, так как  $\mathcal{E}_i = U = 0$  (т.к. далее ток не идет). До времени  $t_0$ :  $U = L(I)'$ ,  
где  $I$  - линейная функция  $\Rightarrow (I)' = \text{const} \Rightarrow U = \text{const} \Rightarrow$   
 $\Rightarrow$  яркость постоянна до времени  $t_0$ .

Ответ:



В момент времени  $t=0$  ток не течет через лампу, поэтому она не светится. Когда сила тока в катушке начинает ~~увеличиваться~~, возникает ЭДС самоиндукции, ~~и~~ через лампу проходит индукционный ток - поэтому лампа горит при  $0 < t < t_0$ .



$$\mathcal{E}_i = L \frac{\Delta y}{\Delta t} = \frac{L \cdot \Delta y}{t_0}, \text{ где } \Delta y - \text{изменение силы тока}$$

яркость лампы пропорц-на  $I$ , след, пропорц-на  $\mathcal{E}_i$ .

Сила тока измен-ся линейно:

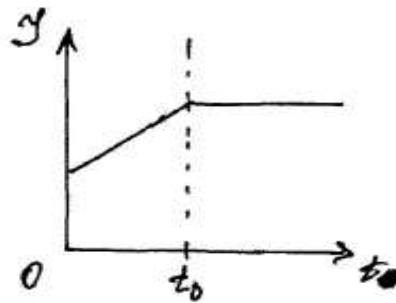
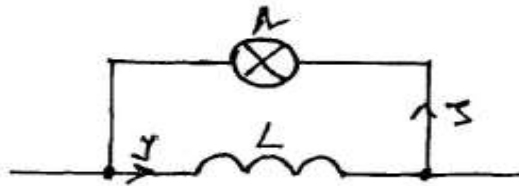
$\frac{\Delta y}{t_0} = k$ , где  $t_0$  - ~~не const~~ <sup>не const</sup> - ~~не const~~ <sup>не const</sup> величина. поэтому  $m$  - ~~не const~~ <sup>не const</sup> - ~~не const~~ <sup>не const</sup> величина.

~~В момент времени  $t > t_0$  сила тока в катушке постоянна, поэтому индукционный ток не возникает и лампа снова не горит~~

Ответ: график представлен на рисунке 1.

2.1  
+  
2.3

№28



Пояснение: 1. В промежуток времени от 0 до  $t_0$  сила тока в катушке увеличилась, а т.к. это катушка индуктивности, то в ней происходит процесс самоиндукции, и по правилу Ленца возникает индуцированный ток такого направления, что он препятствует возрастанию внешнего магнитного поля (свечи машин. колес).

ЭДС самоиндукции:  $\mathcal{E} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$   $\mathcal{E} = U_L$

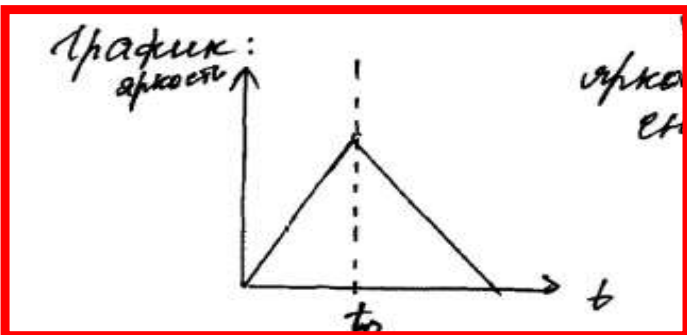
2. По закону Ома:  $I = \frac{U}{R} \Rightarrow U = I \cdot R$ , следовательно для лампочки:

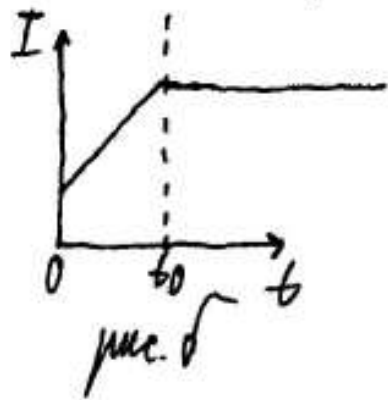
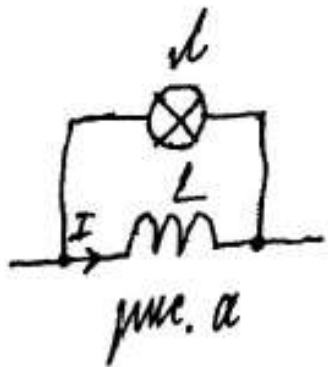
$U_L = I \cdot R_L$  (т.е. напряжение пропорционально силе тока в цепи)

3. т.к. от 0 до  $t_0$  сила тока увеличивалась, то и напряжение тоже увеличивалось, а значит совместно условию задано яркость лампочки увеличивалась.

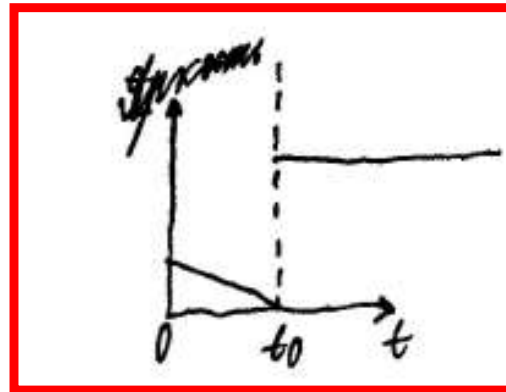
4. В момент времени  $t_0$  и дальше, сила тока в цепи остается постоянной т.е. ЭДС самоиндукции равна нулю.

$U_L = 0$   
~~яркость лампочки~~  
~~считается до нуля.~~  
 яркость лампочки считается до нуля.





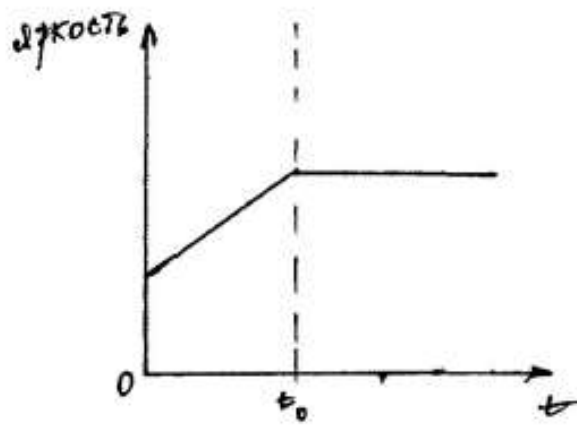
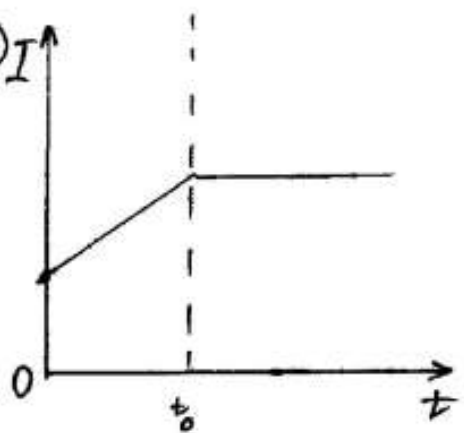
№ 28.



$$\mathcal{E}_{is} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$
 Исходя из рис. б мы видим, что в промежутке времени от 0 до  $t_0$  уменьшается  $I$ . Исходя из формулы, приведенной выше, мы можем сказать, что в катушке возникает ток, который «мешает». Следовательно, в цепи сила тока ( $I$ ) уменьшается, ~~и как уменьшается~~ поэтому уменьшается и напряжение ( $U$ ), т.к.  $U = IR$ . В промежутке времени от  $t_0$  до  $+\infty$   $\Delta I = 0$ , следовательно  $\mathcal{E}_{is} = 0$ , поэтому «мешающий» ток исчезает, поэтому  $U$  возрастает и не меняется не будет.

28

1



② При изменении силы тока, в цепи возникает ЭДС самоиндукции, которое препятствует мгновенному нарастанию тока.

Чем больший заряд будет в цепи, тем ярче загорится лампочка,  $I = \frac{q}{t}$ , где  $q$  - заряд.

По условию, яркость прямо пропорциональна напряжению. По закону Ома для участка цепи  $I = \frac{U}{R}$ , где  $U$  - напряжение;  $R$  - сопротивление

③  $I = \frac{U}{R} = \frac{q}{t} \Rightarrow$  яркость прямо пропорциональна заряду в цепи  $\Rightarrow$  яркость прямо пропорциональна  $I$

№ 28. I- сила тока в цепи

$$I = I_k + I_n$$

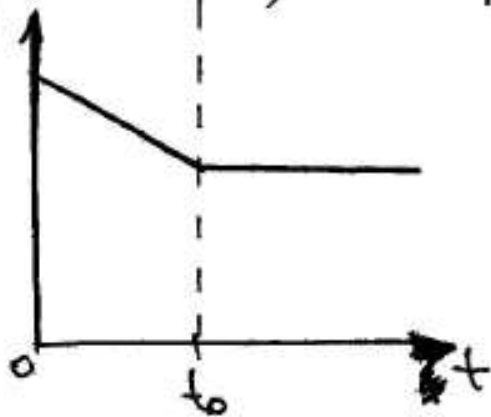
$I_k$  в начале возрастает, тогда  $I_n$  убывает

$$U = IR$$

$U_n = I_n R_n$ , напряжение на лампочке тоже убывает,

а по условию яркость свечения лампочки прямо пропорциональна

напряжению  
яркости на ней, тогда

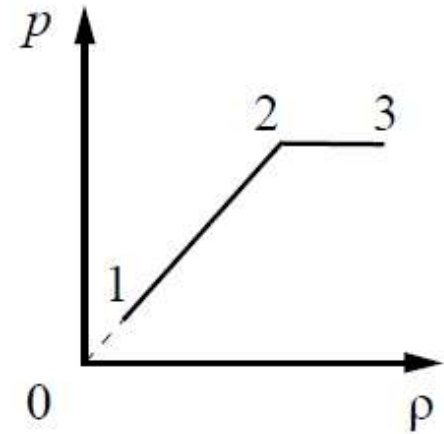


0



## Задача №28    Пример - 2

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



### Возможное решение

1. Плотность газа  $\rho = \frac{m}{V}$ , где  $m$  – масса газа,  $V$  – его объём. В соответствии с уравнением Менделеева – Клапейрона  $p = \frac{m}{\mu V} RT = \frac{\rho}{\mu} RT$ . На участке 1–2 давление изменяется пропорционально плотности газа:  $p \sim \rho$ . Следовательно, в этом процессе температура газа не изменяется. Поскольку плотность газа на этом участке возрастает, объём газа уменьшается.
2. В процессе 2–3 плотность газа возрастает, что означает уменьшение его объёма. Давление газа при этом не изменяется, следовательно, согласно уравнению Менделеева – Клапейрона температура газа уменьшается.

### Критерии оценивания выполнения задания

Баллы

Приведено полное правильное решение, включающее правильный ответ (в данном случае: изменение температуры и плотности газа в процессах 1–2 и 2–3) и исчерпывающие верные рассуждения с прямым указанием наблюдаемых явлений и законов (в данном случае: уравнение Менделеева – Клапейрона, формула плотности вещества)

3

## Примеры решения

~ 27 по условию масса газа  $m$  не изменяется.

1) воспользуемся формулой  $p = \frac{pRT}{\mu} \Rightarrow \frac{p}{p} = \frac{RT}{\mu}$

Как видно из графика,  $\frac{p}{p} = \text{const}$ .  $R - \text{const}$   
в ходе процесса 1-2.  $\mu - \text{const} \Rightarrow \Delta T_{1-2} = 0$ .

$\Delta T_{1-2} = 0 \Rightarrow$  процесс 1-2 - изотермический.  $pV = \text{const}$

давление в ходе процесса увеличивается  $\uparrow p V \downarrow = \text{const} \Rightarrow$  объем  $V$  уменьшается.

2) Как видно из графика, в ходе процесса 2-3 давление  $p$  не меняется.

процесс 2-3 - изобарический  $\frac{p}{T} = \text{const}$ .

$\uparrow p = \frac{p\mu}{RT} \downarrow$  плотность газа в процессе 2-3 увеличивается  $\Rightarrow$  температура газа  $T$  уменьшается.

$\frac{\downarrow V}{\downarrow T} = \text{const}$  процесс изобарический  $\Rightarrow V$  уменьшается.

Ответ: 1-2: температура не изменяется, объем уменьшается.

2-3: температура уменьшается, объем уменьшается.

Воспользуемся уравнением Клапейрона - Менделеева  $PV = \frac{m}{M}RT$  и формулой плотности  $\rho = \frac{m}{V}$

процесс 1-2: возрастает давление и плотность

из формулы  $\rho = \frac{m}{V}$  выразим объем  $V = \frac{m}{\rho}$ , т.к.  $m = \text{const}$  (по условию), а плотность увеличивается, то объем будет уменьшаться

Теперь температура

выразим температуру из  $PV = \frac{m}{M}RT$ ,  $T = \frac{PVM}{mR}$

температура газа не изменится, т.к.  $m = \text{const}$ , и во столько раз увеличивается давление, во столько раз уменьшится и объем (т.к. давление и плотность на участке 1-2 увелич. равномерно, а объем  $\propto$  обратнопропорционален плотности).

процесс 2-3:

Давление не изменяется, а плотность увеличивается.

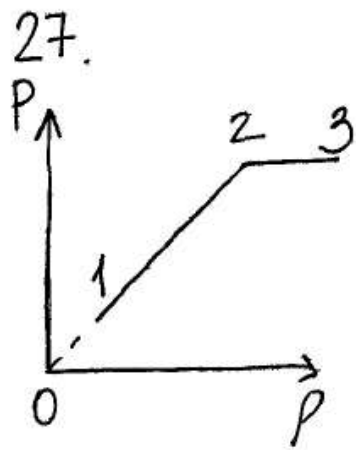
из формулы плотности выразим объем  $V = \frac{m}{\rho}$ ,

$m = \text{const}$  (по условию), а плотность увеличивается, то объем уменьшается

из формулы  $PV = \frac{mRT}{M}$  выразим температуру  $T = \frac{PVM}{mR}$ ,

$m = \text{const}$ , давление не изменяется, а объем уменьшается, то и температура уменьшается.

Ответ. участок 1-2: объем уменьшается, температура не изменяется  
участок 2-3: объем уменьшается, температура уменьшается



- 1)  $m = \text{const}$  (по условию);  $\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow \rho \sim \frac{1}{V}$
- 2) процесс 1-2  ~~$PV = \nu RT$~~   $P \uparrow$  (увеличивается);  $\rho \uparrow$  (уб.)  
 $\Rightarrow V \downarrow$  (уменьшается)  $\Rightarrow T = \text{const}$  ( $P_1 V_1 = P_2 V_2$  по уравнению Клапейрона)
- 3) процесс 2-3  $P = \text{const}$ ;  $\rho \uparrow$  (уб.)  $\Rightarrow V \downarrow$  (уб.)  
 $\Rightarrow T \downarrow$  (уб.) ( $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$ ) по уравнению Клапейрона

Ответ: 1-2  $V$ -уменьшается;  $T = \text{const}$ ; 2-3  $V$  и  $T$  - уменьшаются

2.1  
+  
2.3

27) Основное уравнение МКТ:  $p = \frac{1}{3} m_0 n \bar{v}^2 = \frac{1}{3} \rho \bar{v}^2$ , где  $p$  - давление газа,  $m_0$  - масса одной молекулы,  $n$  - концентрация молекул,  $\bar{v}$  - средняя скорость др. молекул,  $\rho$  - плотность газа.

Закон теплового движения молекул:  $\bar{E}_k = \frac{m_0 \bar{v}^2}{2} = \frac{3}{2} kT$ ,  $\bar{E}_k$  - ср. кинетич. энергия движения молекул газа,  $T$  - абсолютная температура.

Процесс (1-2): зависимость  $p(p)$  прямая. Из формулы  $p = \frac{1}{3} \rho \bar{v}^2$  следует, что  $\bar{v} = \text{const}$ . Значит,  $T$  не меняется, т.к.  $\frac{m_0 \bar{v}^2}{2} = \frac{3}{2} kT$ ,  $m_0 = \text{const}$ ,  $k = \text{const}$ .  
 $\frac{1}{3} \rho \bar{v}^2 = \frac{1}{3} m_0 n \bar{v}^2 \Rightarrow \rho = m_0 n = m_0 \frac{N}{V}$ , где  $N$  - количество молекул,  $V$  - объем.

Т.к.  $N = \text{const}$  и  $m_0 = \text{const}$ , то  $\rho \sim \frac{1}{V} \Rightarrow$  значит  $V$  увеличивается, т.к.  $\rho$  уменьшается.

Процесс (2-3): Из осн. ур. МКТ:  $\rho = \frac{3p}{\bar{v}^2}$ , т.к.  $p = \text{const}$ , а  $\rho$  увеличивается, то  $\bar{v}$  уменьшается, следовательно,  $T$  уменьшается, т.к.  $\frac{m_0 \bar{v}^2}{2} = \frac{3}{2} kT$ ,  $m_0 = \text{const}$ ,  $k = \text{const}$ . Из процесса (1-2):  $\rho \sim \frac{1}{V} \Rightarrow V$  увеличивается, т.к.  $\rho$  увеличивается.

Ответ: в процессе (1-2): температура газа не изменяется; объем увеличивается в процессе (2-3): температура газа уменьшается, объем газа увеличивается.

24) В процессе 1-2 увеличивается  $\uparrow p$  и увеличивается  $\uparrow p$  (минус работа), если при  $m = \text{const}$  процесс  $p = \frac{m}{V}$ , но  $V$  тоже увеличивается, т.е. масса из объема испаряется. Внутренняя энергия  $\downarrow$  и соответственно  $\downarrow$

при увеличении  $\uparrow p$  (из процесса) тоже увеличивается работа. Температура  $\uparrow T$  (изменилась температура  $Q = \Delta U + A_{\text{ext}}$ , где работа  $A_{\text{ext}}$  меньше работы на работу  $A_{\text{ext}}$  и  $\Delta U$  увеличивается).

В процессе 2-3, процесс изобарный  $p = \text{const}$ ,  $\uparrow p$  увеличивается (из процесса), масса при  $m = \text{const}$   $p = \frac{m}{V}$ ;  $V$  тоже увеличивается; если  $p = \text{const}$ , то масса  $Q = \Delta U + A_{\text{ext}}$ , где  $A_{\text{ext}}$  уменьшается все большее количество энергии за счет своей внутренней энергии  $\Delta U$  (внутренняя  $-\Delta U = A_{\text{ext}}$ ) т.е.  $\Delta U$  увеличивается и соответственно уменьшается температура.

1.3

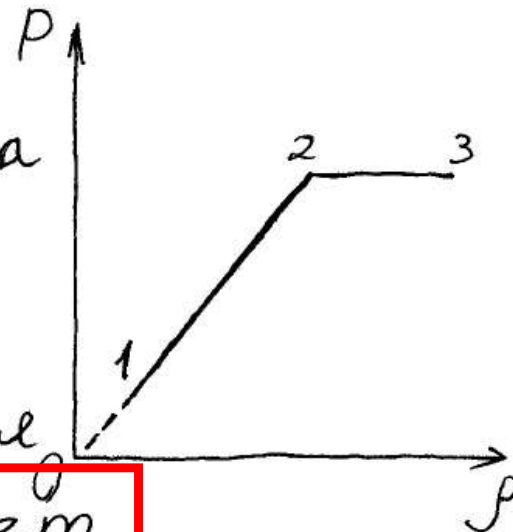
Ответ: процесс 1-2: температура увеличивается; объем - уменьшается; процесс 2-3: температура уменьшается, объем - увеличивается.



27. Процесс 1-2 — изохорный,  
 $V = \text{const}$  (т.к. прямая 1-2 направлена  
в начало координат).

$$p = \frac{1}{3} \rho \bar{v}^2 = nkT \Rightarrow$$

с ростом плотности и давления  
газа температура тоже растет.



Из графика видно, что процесс 2-3 — изобарный,  
 $p = \text{const}$ . Следовательно, температура газа с  
ростом плотности будет уменьшаться (по  
формулам давления). При изобарном процессе  
выполняется уравнение Гей-Люссака:

$\frac{V}{T} = \text{const}$ . Поэтому объем будет уменьшаться  
вместе с температурой газа.

Ответ: в процессе 1-2  $V = \text{const}$ ,  $T$  увеличивается;  
в процессе 2-3  $V$  и  $T$  уменьшаются  
с ростом плотности газа.

№ 27) На ~~рис~~ рисунке представлена зависимость  
от давления и температуры (P) и (P), в отрезке  
1-2  $T = \text{const}$ , температурный коэффициент  
значения это изотермический процесс, 2-3  $P =$   
 $\text{const}$ , давление не меняется изостатический  
процесс

0

## Оценивание №29-32 (расчетных задач)

Обобщенная схема оценивания строится на основании четырех (пяти) элементах решения:

- *Исходные формулы и законы (кодификатор);*
- *Обозначения физических величин (рисунок);*
- *Рисунок с указанием сил (если требуется);*
- *Математические преобразования и расчеты;*
- *Правильный числовой ответ, размерность.*

## Обобщенная схема оценивания заданий 29-32

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <u>*****</u>);</p> <p>II) <u>описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин</u> (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);</p> <p>III) <u>проведены необходимые математические преобразования и расчёты</u>, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) <u>представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины</u></p>	3

<sup>1</sup> Здесь и далее стандартными считаются обозначения, принятые в кодификаторе элементов содержания и требований к уровню подготовки выпускников общеобразовательных учреждений для проведения единого государственного экзамена по физике

## Обобщенная схема оценивания заданий 29-32

Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования. Но имеются один или несколько из следующих недостатков.

2

Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.

2.1

И (ИЛИ)

В решении имеются лишние записи, не входящие в решение, которые не отделены от решения и не зачёркнуты.

2.2

И (ИЛИ)

В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.

2.3

И (ИЛИ)

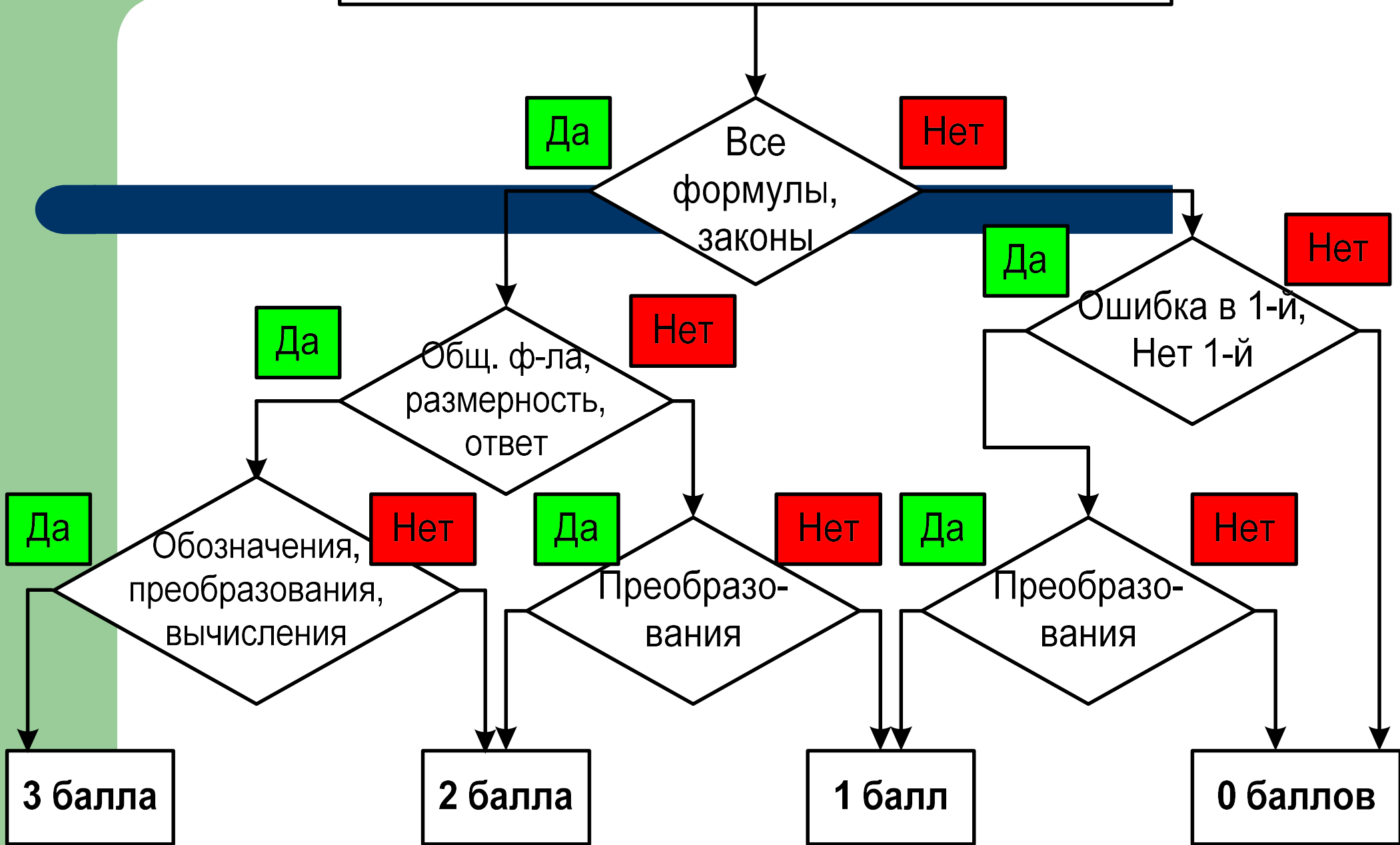
Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка

2.4

## Обобщенная схема оценивания заданий 29-32

Представлены записи, соответствующие <u>одному</u> из следующих случаев.	1
Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых <u>необходимо и достаточно</u> для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи.	1.1
ИЛИ	
В решении отсутствует <u>ОДНА</u> из исходных формул, необходимая для решения данной задачи (или утверждение, лежащее в основе решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.	1.2
ИЛИ	
В <u>ОДНОЙ</u> из исходных формул, необходимых для решения данной задачи (или в утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи	1.3
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла	0

Алгоритм принятия решения экспертом при оценивании расчетных задач №29-32



## Возможные изменения в схеме оценивания заданий 29-32

а) Требуется дополнительно сделать **рисунок с указанием сил, действующих на тело**. В этом случае включается требование к правильности рисунка в описание полного правильного ответа, а также дополнительные условия к выставлению **2 баллов**.

б) Требуется изобразить **схему электрической цепи или оптическую схему**. В этом случае включается требование к правильности рисунка в описание полного правильного ответа, а также дополнительные условия к выставлению **2 и 1 баллов**.

в) В задании **не требуется получения числового ответа**. В этом случае в описании полного верного решения снимается требование к указанию числового ответа, и вносятся изменения в критерии оценивания **на 2 балла**.

г) Условие задачи предполагает **определение данных по графику, таблице или рисунку экспериментальной установки**. В этом случае в описании полного верного решения вносится дополнительное требование к правильности определения исходных данных по графику, таблице или рисунку экспериментальной установки, а также указывается дополнительное требование к выставлению **2 баллов**.



## Комментарии к обобщённой системе оценивания расчетных задач

Решение учащегося может иметь логику, отличную от авторской логики решения (альтернативное решение). В этом случае эксперт оценивает возможность решения конкретной задачи тем способом, который выбрал учащийся. Если ход решения учащегося допустим, то *эксперт оценивает полностью и правильность этого решения на основании того списка основных законов, формул или утверждений, которые соответствуют выбранному способу решения.*

В качестве исходных формул принимаются только те, которые указаны в кодификаторе. При этом форма записи формулы значения не имеет (например:  $Q = cm\Delta T$  ,  $c = \frac{Q}{m\Delta T}$  и т.п.). Если же учащийся использовал в качестве исходной формулы ту, которая не указана в кодификаторе, то работа оценивается исходя из отсутствия одной из необходимых для решения формул. (Например, учащийся может в качестве исходной использовать формулу для изменения внутренней энергии одноатомного идеального газа  $U = \frac{3}{2}\nu RT = \frac{3}{2}pV$  , поскольку она есть в кодификаторе. Однако, формулу для количества теплоты , полученного газом в изобарном процессе  $Q = \frac{5}{2}p\Delta V$  , в качестве исходной использовать нельзя (отсутствует в кодификаторе). В этом случае даже такая работа оценивается по критерию отсутствия одной из основополагающих формул и оценивается в 1 балл, даже при наличии верного числового ответа.

# Кодификатор

2.1.7	Абсолютная температура: $T = t^{\circ} + 273 \text{ К}$
2.1.8	Связь температуры газа со средней кинетической энергией поступательного теплового движения его частиц: $\overline{\varepsilon_{\text{пост}}} = \left( \frac{m_0 v^2}{2} \right) = \frac{3}{2} kT$
2.1.9	Уравнение $p = nkT$
2.1.10	Модель идеального газа в термодинамике: { Уравнение Менделеева – Клапейрона { Выражение для внутренней энергии Уравнение Менделеева – Клапейрона (применимые формы записи): $pV = \frac{m}{\mu} RT = \nu RT = NkT, \quad p = \frac{\rho RT}{\mu}$ Выражение для внутренней энергии одноатомного идеального газа (применимые формы записи): $U = \frac{3}{2} \nu RT = \frac{3}{2} NkT = \frac{3}{2} \frac{m}{\mu} RT = \nu c_v T = \frac{3}{2} pV$
2.1.11	Закон Дальтона для давления смеси разреженных газов: $p = p_1 + p_2 + \dots$

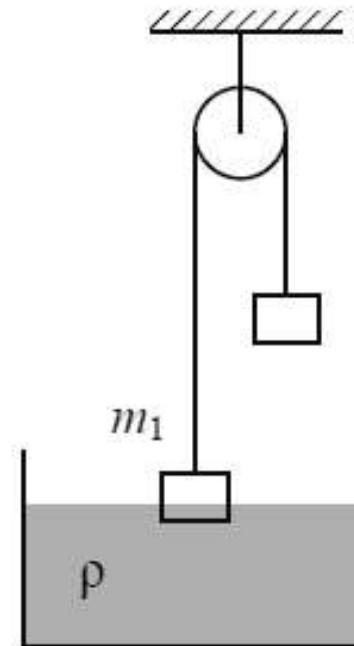
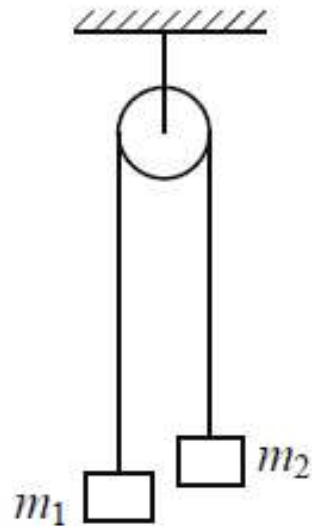
При работе с формулами, помещенными в кодификатор следует иметь в виду, что учащиеся не обязаны писать эти формулы в точном соответствии с записью в кодификаторе. Например, возможна запись формулы для частного случая применения физического закона или определения физической величины.

Встречаются случаи, когда ученик представляет решение задачи, в котором «подменяется» условие задачи и определяет другую физическую величину. Здесь можно рассматривать три варианта:

- \* Если в задании требовалось определить отношение величин « $A/B$ », а участник экзамена определил значение отношения « $B/A$ », то это не считается ошибкой или погрешностью.
  
- \* Если подмена сводится к тому, что учащийся определил не ту величину, которую требовалось рассчитать по условию задачи, а другую (при условии, что полученный ответ можно считать промежуточным этапом при определении требуемой величины и при этом в других вариантах не требуется определить именно найденную тестируемым величину), то это может быть отнесено к ошибке того же порядка, что и ошибки в преобразованиях.
  
- \* Если же подмена сводится к решению задачи, представленной в другом варианте экзаменационной работы, то такое решение оценивается 0 баллов.

## Задача №29 Пример - 3

29 Два тела подвешены за нерастяжимую и невесомую нить к идеальному блоку, как показано на рисунке. При этом первое тело массой  $m_1 = 500$  г движется из состояния покоя вниз с ускорением  $a$ . Если первое тело опустить в воду с плотностью  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>, находящуюся в большом объёме, система будет находиться в равновесии. При этом объём погруженной в воду части тела равен  $V = 1,5 \cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup>. Сделайте рисунки с указанием сил, действующих на тела в обоих случаях. Определите ускорение  $a$  первого тела.



## Возможное решение

1. Систему отсчёта, связанную с Землёй, считаем инерциальной. Направим ось  $x$  декартовой системы координат, как показано на рисунке.
2. Запишем в первом случае второй закон Ньютона для грузов в проекциях на ось  $x$ , а также уравнение кинематической связи:

$$\begin{cases} m_1 a_1 = m_1 g - T \\ m_2 a_2 = m_2 g - T \\ a_1 = -a_2 \end{cases} \quad (1)$$

Решая полученную систему уравнений с учётом того, что по условию задачи  $a_1 = a$ , определим массу второго тела:

$$m_2 = \frac{m_1 (g - a)}{g + a}. \quad (2)$$

3. Во втором случае система находится в равновесии за счёт появления силы Архимеда, следовательно:

$$\begin{cases} m_2 g - T' = 0 \\ m_1 g - T' - F_{\text{арх}} = 0 \end{cases} \quad (3)$$

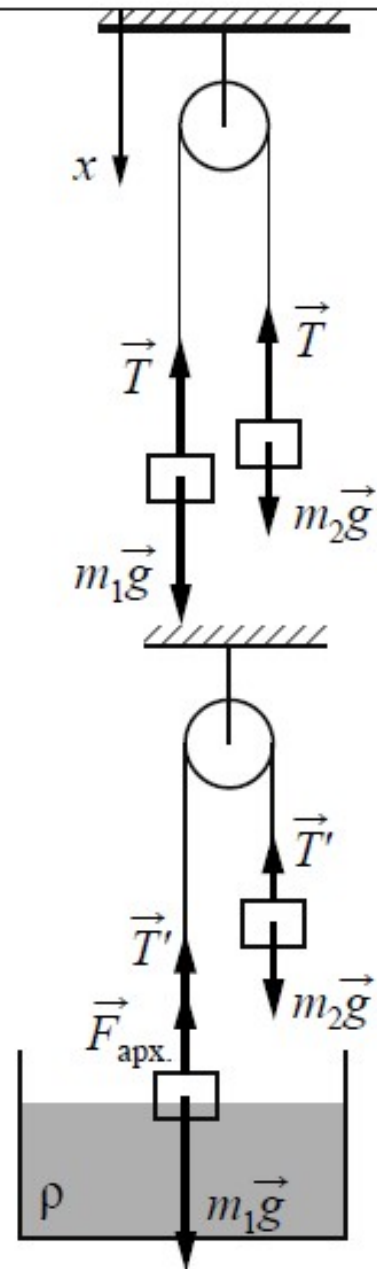
где

$$F_{\text{арх}} = \rho g V. \quad (4)$$

Решая систему уравнений (3) с учётом (2) и (4), получим:

$$a = \frac{\rho g V}{2m_1 - \rho V} = \frac{1000 \cdot 10 \cdot 1,5 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 0,5 - 1000 \cdot 1,5 \cdot 10^{-4}} \approx 1,8 \text{ м/с}^2.$$

Ответ:  $a \approx 1,8 \text{ м/с}^2$



Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>второй закон Ньютона, условие равновесия тел в инерциальной системе отсчёта, формула для силы Архимеда</i>);</p> <p>II) сделаны правильные рисунки, с указанием сил, действующих на тела в обоих случаях;</p> <p>III) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);</p> <p>IV) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>V) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины</p>	3

# Примеры решения

№29

Дано:

$$m_1 = 0,5 \text{ кг}$$

$$\rho = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$V = 15 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$$

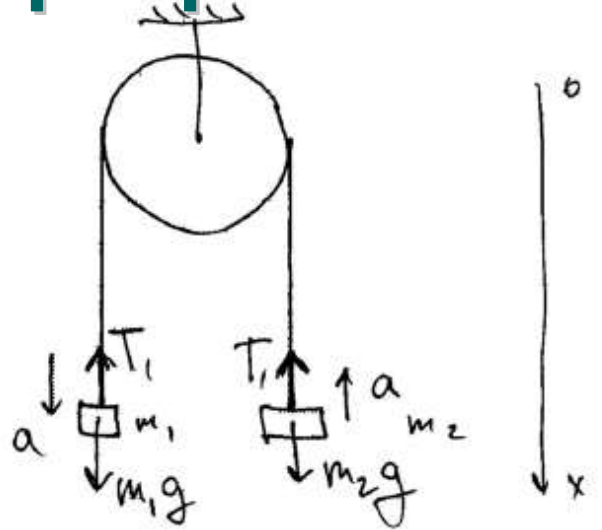
$$g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

Решение:

1) Т.к. нить нерастян., 1) то  $m_2$  будет двигаться вверх с ускор.  $a$ .

На тела действует сила натяжения нити  $T_1$ .

$a = ?$



2) II закон Ньют. на  $0x$ :

для  $m_1$  :  $m_1 a = m_1 g - T_1$  (1)

для  $m_2$  :  $-m_2 a = m_2 g - T_1$  (2)

Из (2) подставим  $T_1$  в (1):

$$m_1 a = m_1 g - m_2 (a + g) \quad (3)$$

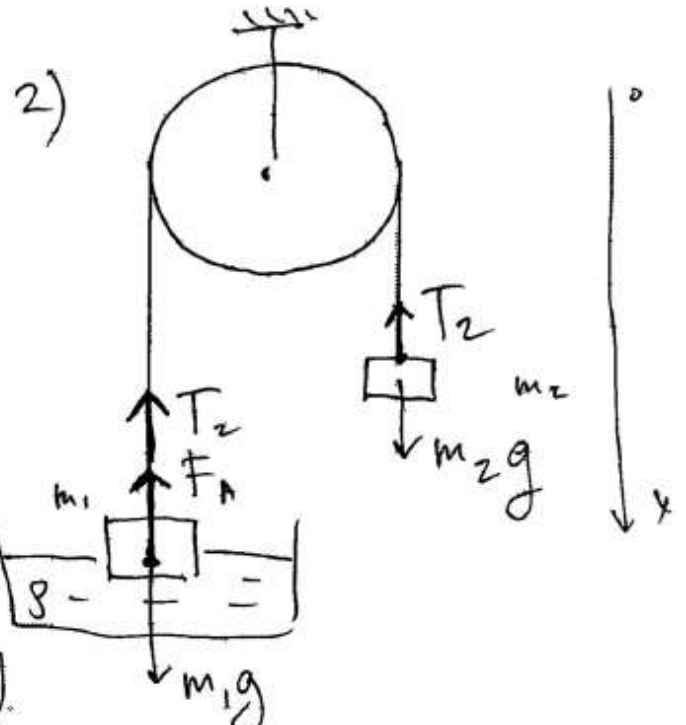
4) Во втором случае тела покоятся  $\Rightarrow a = 0$ .  $T_2$  - сила натяжения.

II закон Ньют. на  $0x$ :

для  $m_1$  :  $0 = m_1 g - F_A - T_2$ , где (4)

$F_A = \rho V g$  - сила Архимеда.

для  $m_2$  :  $0 = m_2 g - T_2$  (5)





Подставим (5) в (4):  $F_A + m_2 g = m_1 g$  (6)

Подставим  $m_2$  из (6) в (3):  $m_1 a = m_1 g - \left(m_1 - \frac{F_A}{g}\right)(a+g)$

$$m_1 a = m_1 g - m_1 a - m_1 g + F_A \cdot \frac{a}{g} + F_A ; F_A = \rho V g$$

$$m_1 a = \rho V a + \rho V g - m_1 a$$

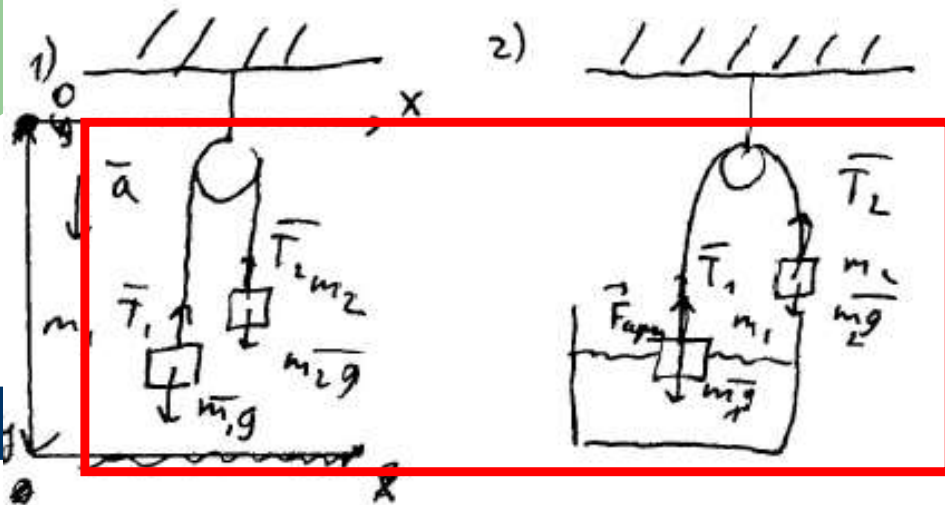
$$(2 m_1 - \rho V) a = \rho V g ;$$

$$= \frac{1,5}{1 - 0,15} = 1,8 \text{ м/с}^2$$

$$\text{Ответ: } a = 1,8 \text{ м/с}^2$$

$$a = \frac{\rho V g}{2m_1 - \rho V} = \frac{1000 \cdot 1,5 \cdot 10^{-4} \cdot 10}{2 \cdot 0,5 - 1000 \cdot 1,5 \cdot 10^{-4}} =$$

W 29



1) no II zak ukna  
 $\vec{m}\vec{a} = \vec{m}_1\vec{g} + \vec{m}_2\vec{g} + \vec{T}_1 + \vec{T}_2$   
 Og:  $m_1g = m_1g - T_1 + m_2g + T_2$

m.a ukna nepravimim  
 $T_1 = T_2$        $m = m_1 + m_2$

$ma = m_1g - m_2g$   
 $a = \frac{g(m_1 - m_2)}{m_1 + m_2}$

2) no II zak ukna ukna  
 $\vec{m}\vec{a} = F_{Arch} + \vec{m}_1\vec{g} + \vec{T}_1 + \vec{m}_2\vec{g} + \vec{T}_2$   
 m.a ukna ukna v nohol  
 4 ukna nepravimim

Og:  $m_1g = m_2g + F_{Arch}$   
 $F_{Arch} = \rho g V$

$m_1 = m_2 + \rho V$   
 $m_2 = m_1 - \rho V$

cm ukna ukna

$m_1 = 5002 = 0,5 \text{ kg}$

$a = \frac{g(m_1 - m_2)}{m_1 + m_2} = \frac{g \rho V}{2m_1 - \rho V}$

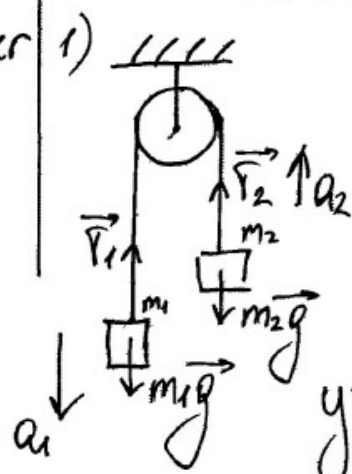
$a = \frac{10 \cdot 1000 \cdot 1,5 \cdot 10^{-4}}{1 - 1000 \cdot 1,5 \cdot 10^{-4}} = \frac{1,5}{1 - 0,15} = \frac{1,5}{0,85} \approx 1,77 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$   
 Otkon:  $1,77 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

2.1

29. Дано:  
 $m_1 = 500 \text{ г}$   
 $\rho = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$   
 $V = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$   
 $a = ?$

СИ  
 $0,5 \text{ кг}$

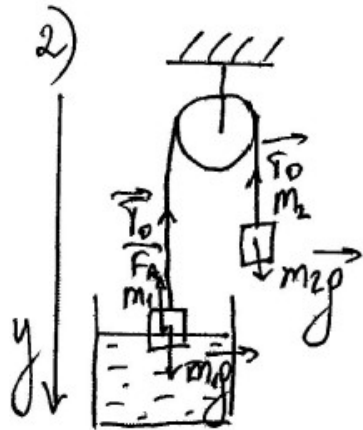
Решение:



Г.к. блок идеальной,  
 нить невесомая и  
 нерастяжима, а  
 скорость звука, то  
 время лет и

$$\begin{cases} a_1 = a_2 = a \\ T_1 = T_2 = T \end{cases}$$

Анализировать для случая (2)  
 $F_A$  - сила Архимеда, действующая  
 на тело массой  $m_1$



Рассмотрим (1):

по II закону Ньютона:

$$\begin{cases} m_1 \vec{a} = m_1 \vec{g} + \vec{T} \\ m_2 \vec{a} = m_2 \vec{g} + \vec{T} \end{cases}$$

В проекции

$$\begin{aligned} y: & \begin{cases} m_1 a = m_1 g - T \\ m_2 a = T - m_2 g \end{cases} \\ & m_1 a + m_2 a = m_1 g - m_2 g \\ & a = g \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \quad (3) \end{aligned}$$

Рассмотрим (2):

по II закону Ньютона, Г.к. скорость  
 находится в равновесии:

$$\begin{cases} 0 = m_1 \vec{y} + \vec{F}_A + \vec{T}_0 \\ 0 = m_2 \vec{y} + \vec{T}_0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} y: 0 = m_1 y - F_A - T_0 \\ y: 0 = m_2 y - T_0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} m_1 y = F_A + T_0 \\ m_2 y = T_0 \end{cases} \Rightarrow T_0 = m_2 y - F_A$$

$$\begin{aligned} m_2 y &= m_1 y - F_A \\ m_2 &= m_1 - \frac{F_A}{y} \end{aligned}$$

$$m_2 = m_1 - \frac{f g V}{g} = m_1 - f V$$

Переходим к (3):  $a = \frac{f(m_1 - m_1 + fV)}{m_1 + m_1 - fV} =$

$$= \frac{f g V}{2m_1 - fV}$$

Ответ:  $a = \frac{f g V}{2m_1 - fV} = ???$

2.3

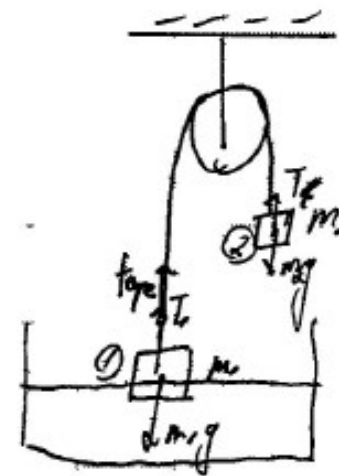
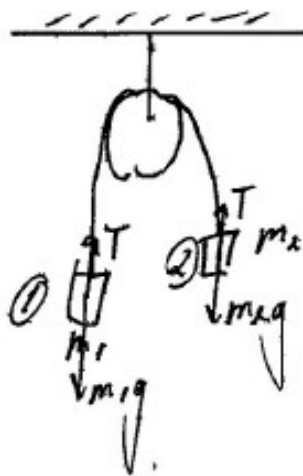
Dato:

$$m_1 = 500 \text{ g}$$

$$\rho = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$V = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

1.



II 3# Погружена.

$$1) m_1 a = m_1 g - T$$

$$2) -m_2 a = m_2 g - T \quad ; \quad T = m_2 g + m_2 a$$

2.

$$1) m_1 g = F_{ap} + T$$

$$m_1 g = F_{ap} + m_2 g$$

$$2) m_2 g = T$$

$$m_2 = \frac{m_1 g - F_{ap}}{g}$$

$$m_1 a = m_1 g - m_2 g - m_2 a$$

$$m_1 a = (m_1 g - m_2 (g + a))$$

$$m_1 a = (m_1 g - \frac{(m_1 g - F_{ap}) \cdot (g + a)}{g})$$

$$m_2 g - m_2 a = \frac{(m_1 g - F_{ap})(g + a)}{g}$$

$$a = g = \frac{m_2 (g - a) \cdot g}{m_1 g - F_{ap}} \quad ; \quad a = \frac{m_2 (g - a) g}{m_1 g - F_{ap}} = g$$

$$a (m_1 - \rho V) = m_1 g - m_2 a - g m_2 + \rho g V$$

$$a = \frac{m_1 - m_2 + \rho V}{m_1 + \rho V + m_2} \approx 1,8$$

Ответ = 1,8

2.3

+

2.4

29.

Дано:

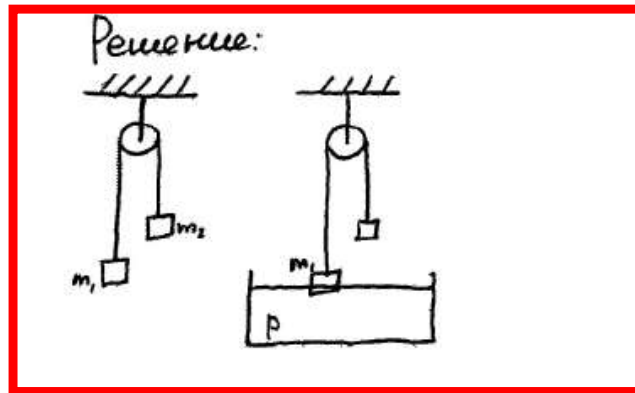
$$m_1 = 500 \text{ г}$$

$$\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$$

$$V = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$$

Найти:

а-?



II закон Ньютона

$$T = T_2 + F_{\text{Арх}} - m_1 g = m_1 \cdot 0 \quad (\text{ускорение} = 0; \text{ тело покоится}) \rightarrow$$

$$T_2 + F_{\text{Арх}} = m_1 g = 5 \text{ Н}$$

$$F_{\text{Арх}} = \rho_{\text{ж}} \cdot g \cdot V_{\text{погр}} = 1000 \cdot 10 \cdot 1,5 \cdot 10^{-4} = 1,5 \text{ Н}$$

$$T_2 + 1,5 \text{ Н} = 5 \text{ Н} \rightarrow T_2 = 3,5 \text{ Н}$$

II закон для 2-ого тела

$$T_2 - m_2 g = m_2 \cdot 0 = 0 \quad (\text{ тело покоится})$$

$$T_2 = m_2 g \rightarrow m_2 = 0,35 \text{ кг}$$

$$T_2 = 3,5 \text{ Н}$$

$$\begin{cases} m_1 g - T_1 = m_1 a \\ T_1 - m_2 g = m_2 a \end{cases} \rightarrow \begin{cases} 5 \text{ Н} - T_1 = 0,5 \cdot a \\ T_1 - 3,5 \text{ Н} = 0,35 a \end{cases} \quad (\text{сложим 2 ур-я})$$

$$5 \text{ Н} - T_1 + T_1 - 3,5 = (0,5 + 0,35) a$$

$$1,5 \text{ Н} = 0,85 a$$

$$a \approx 1,76 \text{ м/с}^2$$

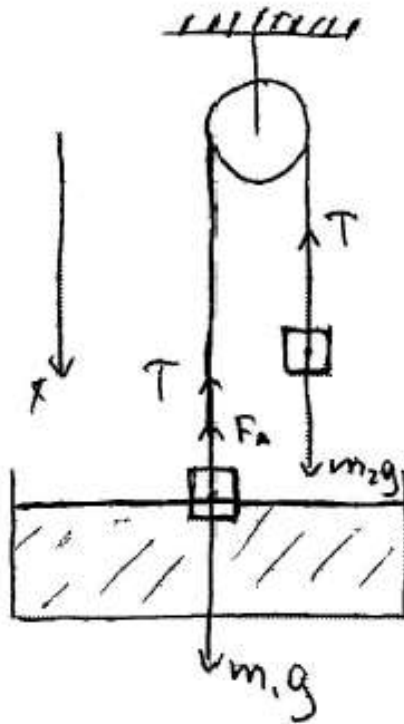
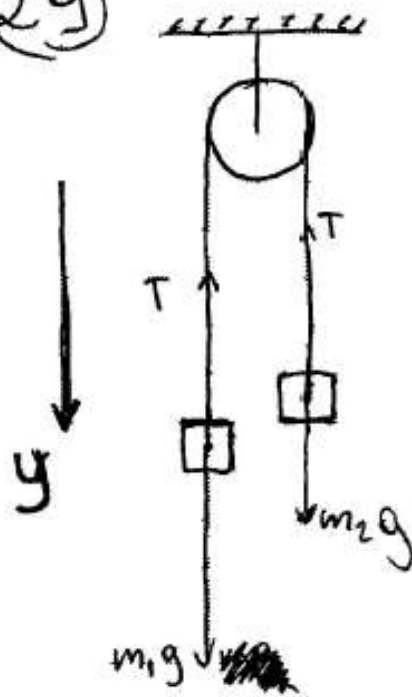
Ответ:  $a \approx 1,76 \text{ м/с}^2$

2.1

+

2.4

29



Дано:

$$m_1 = 0,5 \text{ кг}$$

$$V = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$$

$$\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$$

$a = ?$

Решение:

$$\left\{ \begin{array}{l} x: m_1 g - T - F_A = 0 \quad \text{II закон Ньютона по оси } x \\ F_A = \rho V g \quad \text{сила Архимеда} \\ y: m_1 g - T = m_1 a \quad \text{II закон Ньютона по оси } y \end{array} \right.$$

$$m_1 g - T - \rho V g = 0$$

$$-T = \rho V g - m_1 g$$

$$m_1 g + \rho V g - m_1 g = m_1 a$$

$$a = \frac{\rho V g}{m_1}$$

$$a = \frac{10^3 \cdot 1,5 \cdot 10^{-4} \cdot 10}{0,5} = 3 \text{ м/с}^2$$

Ответ: ~~а = 3 м/с²~~  $a = 3 \text{ м/с}^2$

1.3

№ 29

Решено

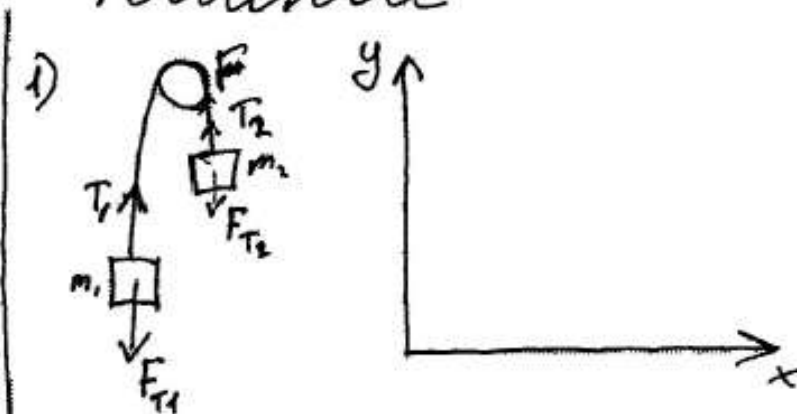
$$m_1 = 500 \text{ г} = 0,5 \text{ кг}$$

$$\rho = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$V = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$$

$a = ?$

Решение



$$y: T_1 + T_2 + F = F_{T1} + F_{T2}, \quad F = ma$$

$$(1) \quad T_1 + T_2 + m_1 a = m_1 g + m_2 g$$

$$m_1 a = m_1 g + m_2 g - T_1 - T_2$$

⊗

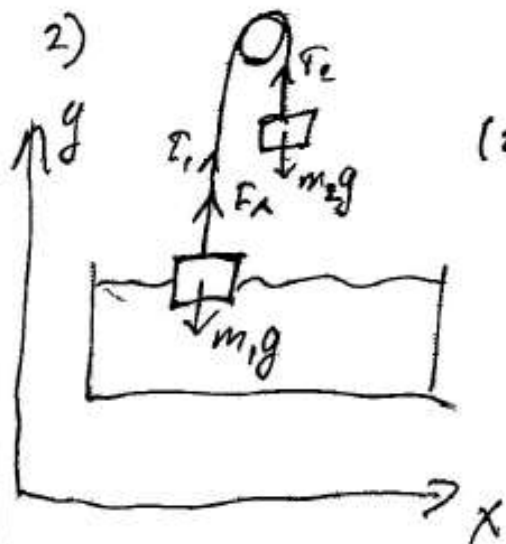
$$(2) \quad y: m_1 g + m_2 g = T_1 + T_2 + F_A$$

$$F_A = m_1 g + m_2 g - T_1 - T_2 = \dots$$

~~из (1) и (2) получаем:~~

$$F_A = -m_1 a$$

$$\rho V g = -m_1 a, \quad m = (m_1 + m_2)$$





$$m_1 g = F_A - T_1 = m_2 g + T_2$$

т.к. и во втором случае блоки находятся в равновесии, то  $T_1 + T_2 = 0$

Следует:

$$m_1 g - F_A - T_1 = m_2 g - T_2$$

$$m_1 g - F_A = m_2 g$$

$$\begin{aligned} \& \frac{m_1 g - \rho V g}{g} = m_2 = m_1 - \rho V = 0,5 \text{ кг} - 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 \cdot 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \\ & = 0,35 \text{ кг}. \end{aligned}$$

Из (1) уравнения следует

0 или

2???

$$T_1 - T_2 + F = F_{T_1} - F_{T_2}, \quad T_1 = T_2$$

$$F = F_{T_1} - F_{T_2} = 0,5 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} - 0,35 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 15 \text{ Н}$$

$$F = 15 \text{ Н}$$

$$F = (m_1 + m_2) a \Rightarrow a = \frac{F}{m_1 + m_2} = \frac{15 \text{ Н}}{0,85 \text{ кг}} \approx$$

$$\approx 17,6 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$\text{Ответ: } a \approx 17,6 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

## Задача №30

### Пример - 4

В комнате размерами  $4 \times 5 \times 3$  м, в которой воздух имеет температуру  $10^\circ\text{C}$  и относительную влажность  $30\%$ , включили увлажнитель воздуха производительностью  $0,2$  л/ч. Чему станет равна относительная влажность воздуха в комнате через  $1,5$  ч? Давление насыщенного водяного пара при температуре  $10^\circ\text{C}$  равно  $1,23$  кПа. Комнату считать герметичным сосудом.

Относительная влажность определяется парциальным давлением водяного пара  $p$  и давлением  $p_{\text{нас}}$  насыщенного пара при той же температуре:  $\varphi = \frac{p}{p_{\text{нас}}}$ .

За время  $\tau$  работы увлажнителя с производительностью  $I$  испаряется масса воды  $m = \rho I \tau$  плотностью  $\rho$ .

В результате исходная влажность в комнате,  $\varphi_1 = \frac{p_1}{p_{\text{нас}}}$ , возрастает до значения

$$\varphi_2 = \frac{p_2}{p_{\text{нас}}} = \frac{p_1 + \Delta p}{p_{\text{нас}}} = \varphi_1 + \frac{\Delta p}{p_{\text{нас}}}.$$

Водяной пар в комнате объёмом  $V$  является разреженным газом, который подчиняется уравнению Менделеева – Клапейрона:

$$pV = \frac{M}{\mu} RT,$$

где  $M$  – масса водяного пара,  $p$  – парциальное давление,  $\mu$  – его молярная масса. Увеличение массы пара в комнате на  $m$  (от  $m_1$  до  $m_2 = m_1 + m$ ) приводит к увеличению парциального давления на величину, пропорциональную

испарившейся массе:  $\Delta p = \frac{m RT}{\mu V} = \frac{\rho I \tau RT}{\mu V}$ .

Отсюда:  $\varphi_2 = \varphi_1 + \frac{\Delta p}{p_{\text{нас}}} = \varphi_1 + \frac{\rho I \tau}{\mu} \cdot \frac{RT}{p_{\text{нас}} V}$ .

Подставляя значения физических величин, получим:

$$\varphi_2 = 0,3 + \frac{10^3 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} \cdot 1,5}{18 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{8,31 \cdot 283}{1,23 \cdot 10^3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 3} \approx 0,83 = 83\%.$$

### Критерии оценивания выполнения задания

Баллы

Приведено полное решение, включающее следующие элементы:

3

I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае: *определение относительной влажности для двух состояний воздуха, уравнение Менделеева – Клапейрона, выражение для производительности увлажнителя*);

II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);

III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);

IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины

# Примеры решения

$$V_{\text{комнаты}} = a \cdot b \cdot c = 60 \text{ м}^3$$

Увлажнитель воздуха увлажнит массу воды в комнате

$$m_{\text{в}} = V_{\text{в}} \cdot \rho_{\text{в}} \quad (\rho_{\text{в}} - \text{плотность воды})$$

(объем воды)

$$V_{\text{в}} = V_{\text{ув}} \cdot t$$

$$V_{\text{ув}} = 0,2 \text{ л/ч (дано)}$$

$$V_{\text{в}} = 0,2 \text{ л/ч} \cdot 1,5 \text{ ч} = 0,3 \text{ л} = 0,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$\varphi_0 = 30\%$$

$$\varphi_0 = \frac{p_0}{p_{\text{н.п}}} \cdot 100\% \quad p_0 = \frac{\varphi_0 \cdot p_{\text{н.п}}}{100\%}$$

$$p_0 V_{\text{к}} = \nu R T$$

$$p_0 V_{\text{к}} = \frac{m_0}{M_{\text{в}}} R \cdot T$$

$$m_0 = \frac{p_0 V_{\text{к}} \cdot M_{\text{в}}}{R T}$$

$\varphi_1$  влажность после увлажнения

$$\varphi_1 = \frac{p_1}{p_{\text{н.п}}} \cdot 100\%$$

$$V_{\text{к}} p_1 = \frac{m_1}{M_{\text{в}}} R \cdot T$$

( $V_{\text{к}}$  и  $T$  постоянны)

$$V_{\text{к}} = 60 \text{ м}^3$$

$$T = 10^\circ\text{C} + 273 = 283 \text{ К}$$

$$p_{\text{н.п}} \text{ при } t = 10^\circ\text{C} = 1,23 \cdot 10^3 \text{ Па}$$

$$m_1 = m_0 + m_{\text{в}}$$

$m_{\text{в}}$  - масса воды, полученной от увлажнителя

$$\varphi_1 = \left[ \frac{p_0 V_{\text{к}} \cdot M_{\text{в}}}{R T} + V_{\text{ув}} \cdot t \cdot \rho_{\text{в}} \right] \cdot R \cdot T \cdot 100\% \text{ , где } p_0 = \frac{\varphi_0 \cdot p_{\text{н.п}}}{100\%}$$

$$\varphi_1 = \left[ \frac{30\% \cdot 1,23 \cdot 10^3 \text{ Па} \cdot 18 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль} \cdot 60 \text{ м}^3}{100\% \cdot 8,31 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К} \cdot 283 \text{ К}} + 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{ч} \cdot 1,5 \text{ ч} \cdot 1000 \text{ кг/м}^3 \right] \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

$$= \frac{283 \text{ К} \cdot 100\%}{18 \cdot 10^3 \text{ кг/моль} \cdot 60 \text{ м}^3 \cdot 1230 \text{ Па}}$$

$$\varphi_1 = 83,1\%$$

Ответ: 83,1%

см на обороте

Дано  
 $V = 4,5 \cdot 3 \text{ м}^3$   
 $T = 283 \text{ К}$   
 $n_1 = 30\%$   
 $A = 0,2 \text{ м}^2$   
 $t = 1,5 \text{ ч}$   
 $P_H = 1230 \text{ Па}$   
 Найти  
 $n_2$

Решение:

1) Найдем парциальное давление водяного пара в комнате при влажности 30%:

$$n_1 = \frac{P_1}{P_H} \Rightarrow P_1 = n_1 \cdot P_H$$

$$P_1 = 0,3 \cdot 1230 \text{ Па} = 369 \text{ Па}$$

2) Найдем сколько моль водяного пара производит увлажнитель за 1,5 ч.:

$$V_2 = \frac{m}{\mu};$$

$$V_2 = A \cdot t; \quad m = V \cdot \rho;$$

$$\left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \Rightarrow V_2 = \frac{A \cdot t \cdot \rho}{\mu}$$

$$V_2 = \frac{50}{3} \text{ моль}$$

3) По формуле Менделеева - Клапейрона найдем сколько моль водяного пара будет в комнате, после работы увлажнителя:

$$P_1 V = \nu_1 R T \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \nu_1 = \frac{P_1 V}{R T}$$

$$\nu_1 = \frac{369 \cdot 60}{8,31 \cdot 283} \approx 9,41 \text{ моль}$$

$$\nu = \nu_1 + \nu_2$$

$$\nu = 9,41 + \frac{50}{3} \approx 26,1 \text{ моль}$$

4) По формуле Менделеева - Клапейрона найдем давление, установившееся в комнате после работы увлажнителя:

$$P = \frac{\nu R T}{V}$$

$$P = \frac{26,1 \cdot 8,31 \cdot 283}{60} \approx 1022,26 \text{ Па}$$

5) Найдем относительную влажность:

$$n_2 = \frac{1022,26}{1230} \approx 83\%$$

Ответ: 83%

29.

Дано:

$$V = 60 \text{ м}^3$$

$$T = 283 \text{ K}$$

$$\eta_1 = 30\%$$

$$W = 0,2 \frac{\text{л}}{\text{ч}}$$

$$t = 1,5 \text{ ч}$$

$$P_H = 1,23 \cdot 10^3 \text{ Па}$$

$$\eta_2 - ?$$

$$1. PV = \nu RT \quad V - \text{const}; R - \text{const}; T - \text{const}$$

2. воздушной пар  $\rho$  сферического в масле  $\rho_{\text{м}} = 0,3 \text{ кг/л} = M_1$

$$3. \frac{p}{P_H} = \eta$$

$$4. \frac{\nu RT}{V \cdot P_H} = \eta \Rightarrow \nu_{\text{пара в цилиндре}} = \frac{\eta_1 \cdot V \cdot P_H}{T \cdot R}$$

5. масса пара в цилиндре  $M_2 = \nu_1 \cdot M + M_1$  (через 1,5 ч.)

$$6. \eta_2 = \frac{\nu_{\text{через 1,5 часа}} \cdot R \cdot T}{V \cdot P_H}$$

$$\nu_{\text{через 1,5 часа}} = \nu_2 = \frac{M_2}{M} = \frac{\nu_1 \cdot M + M_1}{M}$$

$$\eta_2 = \left( \frac{\eta_1 \cdot V \cdot P_H}{T \cdot R} + \frac{M_1}{M} \right) \cdot \frac{R \cdot T}{V \cdot P_H} = \frac{26,081 \cdot 0,31 \cdot 283}{60 \cdot 1,23 \cdot 10^3} = 83,1\%$$

~~Ответ: 83,1%~~ Ответ:  $83,1\% = \eta_2$

Дано:

$$V_{\text{конч}} = 60 \text{ м}^3,$$

$$T = 283 \text{ К},$$

$$\varphi = 30\%, \quad m_{\text{возг}} = 29 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

$$p_{\text{жид}} = 0,5112;$$

$$p_{\text{нас. пар}} = 1,235 \text{ Па};$$

Найти:

$$\varphi \text{ через } 152$$

Решение:

$$\textcircled{1} \frac{p_{\text{возг пар}}}{p_{\text{нас пар}}} = 0,7, \quad p = 861 \text{ Па}$$

$$\textcircled{2} p V_{\text{кон}} = \nu R T$$
$$861 \cdot 60 = \nu \cdot 8,31 \cdot 283$$

$$\nu = 22 \text{ моль}, \quad 22 = \frac{m}{29 \cdot 10^{-3}}, \quad m = 0,64 \text{ кг}$$

$\textcircled{3}$  За 1,5 ч отпаривает 0,314 кг 0,3 кг.  
Т.е. остается:  $0,64 - 0,3 = 0,34 \text{ кг}$   
ис. возг. паров.



④ Всього скільки всього:

$$1230 \cdot 60 = 2,13 \cdot 10^5$$

$$m = 0,91 \text{ кг.}$$

⑤,  $T, e$ , ~~на~~ Вог. паров. станок:

$$0,91 - 0,34 = 0,57 \text{ кг}$$

⑥ Кінцева робота паров. кобле:

$$p \cdot V = 2,13 \cdot 10^5$$

$$p \cdot 60 = \frac{0,57}{29 \cdot 10^{-3}} \cdot 8,31 \cdot 283$$

$$p = 770 \text{ Па.}$$

⑦  $\varphi = ?$

$$\varphi = \frac{p_{\text{Вог. пар}}}{p_{\text{наг. пар}}} = \frac{770}{1230} \cdot 100\%$$

$$= 62,6\% - \text{ОТВЕТ}$$

29

Дано:  
 $T = \text{const} = 10^\circ \text{C}$   
 $k = 0,2 \text{ м/ч}$   
 $a = 4 \text{ м}$   
 $b = 5 \text{ м}$   
 $h = 3 \text{ м}$   
 $t = 1,5 \text{ ч}$   
 $\varphi_1 = 30\%$   
 $p_{\text{нп}} = 1,23 \text{ кПа}$

Решение: см  
 $283 \text{ К}$   
 $0,2 \cdot 10^{-3} \text{ м/ч}$   
 $0,3$   
 $1,23 \cdot 10^3 \text{ Па}$

Температура:  
 Влажность до включения увлажнителя:  
 $\varphi_1 = \frac{p_{\text{п}}}{p_{\text{нп}}}$  где  $p_{\text{п}}$  - давление пара  
 По уравнению Менделеева-Клапейрона:  
 $pV = \nu RT$   
 $p_{\text{п}} \cdot V = \nu RT$   
 $\nu = \frac{m_{\text{п}}}{\mu_{\text{п}}}$

$\varphi_2 = ?$

$$p_{\text{п}} V = \frac{m_{\text{п}}}{\mu_{\text{п}}} RT$$

П.к. комната имеет форму прямоугольного параллелепипеда;  
 $m_{\text{п}} V = a \cdot b \cdot h \Rightarrow p_{\text{п}} a b h = \frac{m_{\text{п}}}{\mu_{\text{п}}} RT$

$$p_{\text{п}} = \frac{m_{\text{п}} RT}{\mu_{\text{п}} a b h}, \text{ тогда } \varphi_1 = \frac{m_{\text{п}} RT}{\mu_{\text{п}} a b h \cdot p_{\text{нп}}} \Rightarrow m_{\text{п}} = \frac{\mu_{\text{п}} a b h \cdot p_{\text{нп}} \cdot \varphi_1}{RT}$$

Proses difusi terjadi pada keadaan kesetimbangan.

$$V_1 = k \cdot t$$

$$\frac{m_{n1}}{m_{n2}} = \frac{V_1 \rho}{(V_2 - V_1) \rho}$$

$$\frac{m_{n1}}{m_{n2}} = \frac{V_1}{V_2 - V_1}, \text{ sehingga } m_{n2} = \frac{V_2 - V_1}{V_1} m_{n1} = \frac{V_2 - V_1}{V_1} \frac{p_{n2} a b h \cdot l_1}{RT} =$$

$$= \frac{(a b h + k t) p_{n2} a b h \cdot l_1}{RT} = \frac{(a b h + k t) p_{n1} l_1}{RT}$$

$$p_2 = \frac{p_{n2}}{p_{n1}}$$

$$p_2 V = \frac{m_{n2}}{\mu} RT$$

$$p_{n2} a b h = \frac{(a b h + k t) p_{n1} l_1 \cdot RT}{\mu \cdot RT}$$

$$p_{n2} = \frac{(a b h + k t) p_{n1} l_1}{a b h}$$

$$p_2 = \frac{(a b h + k t) p_{n1} l_1}{p_{n1} a b h}$$

29

$$u = 0,2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

$$\tau = 1,5 \text{ ч}$$

$$f_0 = 0,3$$

$$V = 60 \text{ м}^3$$

$$p_0 = 1,23 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$T = 283 \text{ К}$$

$f = \frac{p}{p_0}$ ,  $p_0$  - давление насыщ. вод. пара,  $p$  - давление вод. пара  
 $f$  - относ. влажность

$\Delta V = u \tau$  - объем водян. пара, выделившийся увлажнителем за  $\tau$  часов.

По закону Менделеева - Клапейрона:

$$(p + p_1) V = \nu R T_0 \quad p_1 - \text{давление воздуха в начале}$$

$$f = \frac{V_0 + \Delta V}{V}, \quad V_0 - \text{пар} \\ \text{объем вод. пара}$$

$f = \frac{p_2}{p_0}$  - искомая относ. влажность,  $p_2$  - давл. вод. пара через 1,5 часа.

Дано:

$$V_k = 60 \text{ м}^3$$

$$T = 10^\circ \text{C}$$

$$\varphi_6 = 30\%$$

$$\text{Производ.} = 0,2 \frac{\text{л}}{\text{ч}}$$

$$t = 1,5 \text{ ч}$$

$$P = 1,23 \text{ кПа}$$

$$\varphi_6' = ? + \varphi_6 = ?$$

Решение:

$$1) \varphi_6 = \frac{P_n}{P_H} \cdot 100\%$$

$$\frac{P_n}{1,23} \approx 100\% = 30 \Rightarrow P_n = 0,369$$

2) За 1,5 ч увлажнитель увлажнит воздух на  $0,2 \cdot 1,5 = 0,3 \text{ л}$

$$3) 60 \cdot 0,3 = 18 \text{ м}^3$$

~~$$30 - 0,3 = 9$$~~

$$60 - 18 = 42 \text{ м}^3$$

$$\frac{42}{60} = 0,7$$

$$\frac{0,7}{0,3} = \frac{30}{\varphi_6} \Rightarrow \varphi_6' = \frac{30 \cdot 0,3}{0,7} \approx 12,9\%$$

$$\varphi_6' + \varphi_6 = 30\% + 12,9\% = 42,9\%$$

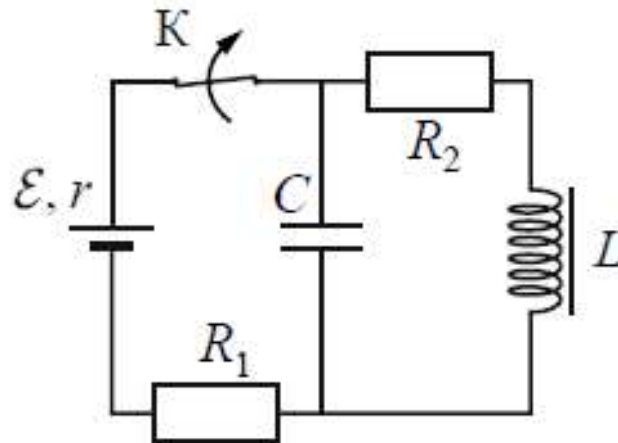
Ответ: 42,9%

## Задача №31

### Пример - 5

31

На рисунке показана схема электрической цепи, состоящей из источника тока с ЭДС  $\mathcal{E} = 12$  В и внутренним сопротивлением  $r = 1$  Ом, двух резисторов с сопротивлениями  $R_1 = 8$  Ом и  $R_2 = 3$  Ом, конденсатора ёмкостью  $C = 4$  мкФ и катушки с индуктивностью  $L = 24$  мкГн. В начальном состоянии ключ  $K$  длительное время замкнут. Какое количество теплоты выделится на резисторе  $R_2$  после размыкания ключа  $K$ ? Сопротивлением катушки пренебречь.



### Возможное решение

До размыкания ключа электрический ток протекает через последовательно соединённые резисторы  $R_1$ ,  $R_2$  и катушку  $L$ . Согласно закону Ома для полной цепи  $I = \frac{\mathcal{E}}{R_1 + R_2 + r} = \frac{12}{8 + 3 + 1} = 1$  А. При этом напряжение на конденсаторе равно  $U = IR_2 = 1 \cdot 3 = 3$  В. Таким образом, до размыкания ключа в конденсаторе была накоплена энергия

$$W_C = \frac{CU^2}{2} = \frac{4 \cdot 10^{-6} \cdot 9}{2} = 18 \cdot 10^{-6} \text{ Дж} = 18 \text{ мкДж},$$

и в катушке индуктивности –

$$W_L = \frac{LI^2}{2} = \frac{24 \cdot 10^{-6} \cdot 1}{2} = 12 \cdot 10^{-6} \text{ Дж} = 12 \text{ мкДж}.$$

После размыкания ключа вся накопленная в элементах цепи энергия выделится в виде тепла на резисторе  $R_2$ :  $Q = W_C + W_L = 18 + 12 = 30$  мкДж.

Ответ:  $Q = 30$  мкДж

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p data-bbox="107 440 1850 500">Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p data-bbox="107 508 1850 951">I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>формула расчёта сопротивления последовательно соединённых резисторов, законы Ома для полной цепи и участка цепи, формула энергии электрического поля конденсатора и магнитного поля катушки с током, закон сохранения энергии</i>);</p> <p data-bbox="107 959 1850 1276">II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);</p> <p data-bbox="107 1284 1850 1471">III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p data-bbox="107 1479 1850 1601">IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины</p>	3



# Примеры решения

№33

Дано

$$E = 12 \text{ В}$$

$$r = 1 \text{ Ом}$$

$$R_1 = 8 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 3 \text{ Ом}$$

$$C = 4 \text{ мкФ}$$

$$L = 24 \text{ мкГн}$$

$$Q_{R_2} = ?$$

... ..,  $\gamma = 0,32 \text{ мкс}$  и т.д.

Решение

После размыкания ключа К начнется колебание.

По закону Ома для полной цепи:

$$I = \frac{E}{R_1 + R_2 + r} = \frac{12 \text{ В}}{8 \text{ Ом} + 3 \text{ Ом} + 1 \text{ Ом}} = 1 \text{ А}$$

т.к. сопротивление катушки можно пренебречь, то  $I_L = \frac{U_{R_2}}{R_2}$

$$Q_C = W_C = \frac{C U_C^2}{2} = \frac{C U_{R_2}^2}{2}$$

$$U_{R_2} = I_L \cdot R_2 = 1 \text{ А} \cdot 3 \text{ Ом} = 3 \text{ В}$$

$$Q_C = W_C = \frac{C U_C^2}{2} = \frac{C U_{R_2}^2}{2} = \frac{4 \cdot 10^{-6} \text{ Ф} \cdot 9 \text{ В}^2}{2} = 18 \cdot 10^{-6} \text{ Дж}$$

$$W_L = \frac{L I^2}{2} = \frac{24 \cdot 10^{-6} \text{ Гн} \cdot 1 \text{ А}^2}{2} = 12 \cdot 10^{-6} \text{ Дж}$$

3

$$Q_{R_2} = W_L + W_C = 12 \cdot 10^{-6} \text{ Дж} + 18 \cdot 10^{-6} \text{ Дж} = 30 \cdot 10^{-6} \text{ Дж}$$

$$= 30 \text{ мкДж}$$

Ответ:  $Q_{R_2} = 30 \text{ мкДж}$

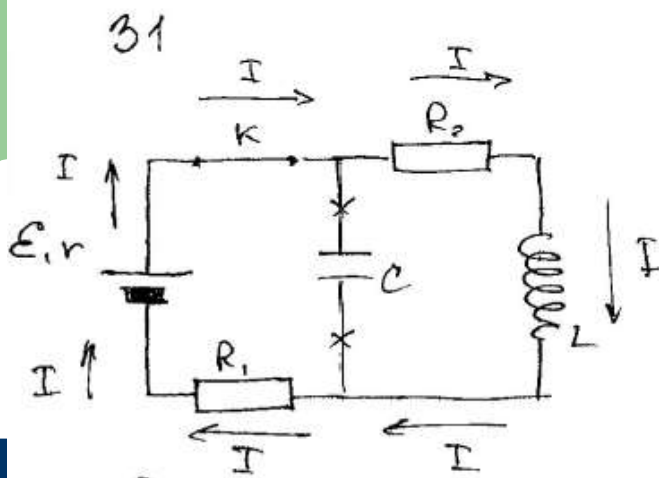


Рисунок 1

Решение:

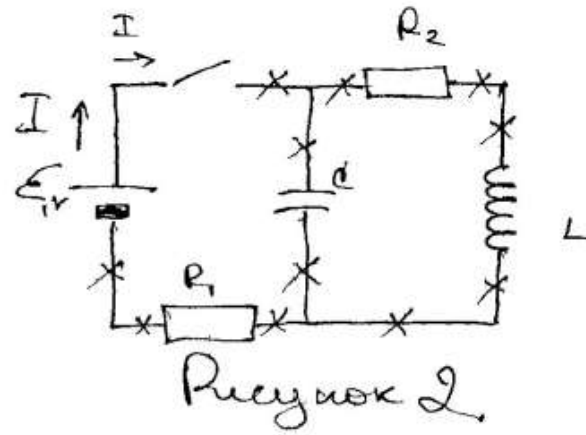


Рисунок 2

Дано.

$$E = 12 \text{ В}, C = 4 \text{ мкФ}$$

$$r = 1 \text{ Ом}, L = 24 \text{ мкГн}$$

$$R_1 = 8 \text{ Ом},$$

$$R_2 = 3 \text{ Ом},$$

$$Q_2 = ?$$

Сначала ключ длительное время замкнут, ток пойдет так как на рисунке 1.

По закону Ома для полной цепи

$$I = \frac{E}{r + R_{\text{ос}}} = \frac{E}{r + R_1 + R_2} \quad (R_2 \text{ и } R_1 \text{ соединены непосредственно здесь)} =$$

$$= \frac{12}{1 + 3 + 8} = 1 \text{ А}$$

Напряжение на конденсаторе равно напряжению на резисторе  $R_2$ , то есть  $U_C = I R_2 = 3 \text{ В}$ , значит энергия конденсатора в тот момент =

$$= W_C = \frac{C U_C^2}{2} = \frac{4 \cdot 10^{-6} \cdot 9}{2} = 18 \text{ мкДж}$$

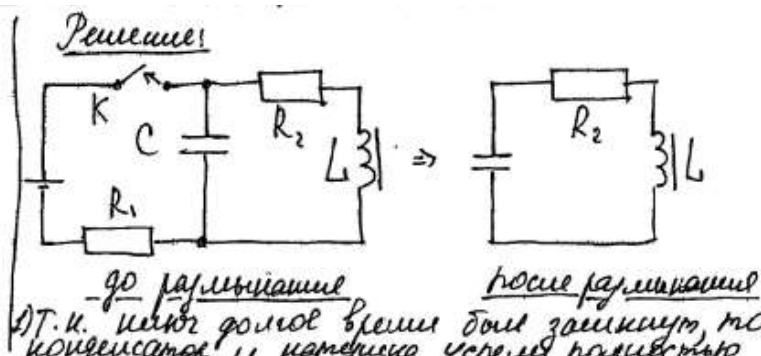
Катушка тогда обладает энергией  $W_L = \frac{L I^2}{2} = \frac{24 \cdot 10^{-6} \cdot 1^2}{2} = 12 \text{ мкДж}$ , значит полная энергия системы была равной  $W_{\text{нач}} = W_C + W_L = 18 + 12 = 30 \text{ мкДж}$

Когда ключ замыкают, ток перестает течь, работа источника обнуляется ( $A_{ист} = \mathcal{E}I = \mathcal{E} \cdot 0 = 0$ ), значит вся энергия выделится на нагревание резисторов  ~~$R_1$  и  $R_2$~~ .  ~~$Q_{обус} = Q_{R_1} + Q_{R_2} = W_{наз}$~~  При этом количество теплоты разобьется на те же доли, что и сопротивление одного резистора к общему сопротивлению, то есть  $Q_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} Q_{обус} = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + r} W_{наз} =$

$$= \frac{3}{2+3+1} \cdot 30 \cdot 10^{-6} = 7,5 \cdot 10^{-6} \text{ Дж} = 7,5 \text{ мкДж}$$

Ответ 7,5 мкДж.

31. Дано:  
 $\mathcal{E} = 12 \text{ В}$   
 $r = 1 \text{ Ом}$   
 $R_1 = 8 \text{ Ом}$   
 $R_2 = 3 \text{ Ом}$   
 $C = 4 \text{ мкФ} = 4 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$   
 $L = 24 \text{ мГн} = 24 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}$   
 $Q = ?$



Заряженный конденсатор эквивалентен разрыву цепи (через него ток не течёт), сопротивление катушки или, по-условности, индуктивности. Тогда напряжение на конденсаторе  $U_C$  равно напряжению на клеммах источника  $\mathcal{E}$ ; ток через катушку  $I_L$  равен току в цепи  $I$ .

2) По закону Ома для замкнутой цепи и для участка цепи:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{r + R}; \quad U = IR = \frac{R}{r + R} \mathcal{E}, \text{ где } R - \text{ суммарное внешнее сопротивление.}$$

Т.к. резисторы соединены последовательно (топливу через конденсатор ток не течёт),  $R = R_1 + R_2$

3) Энергия заряженной катушки  $W_L = \frac{L I^2}{2} = \frac{L \mathcal{E}^2}{2 (r + R)^2}$   
 Энергия заряженного конденсатора  $W_C = \frac{C U^2}{2} = \frac{C \mathcal{E}^2 R^2}{2 (r + R)^2}$

4) После размыкания ключа цепь будет состоять только из катушки и конденсатора. По закону сохранения энергии, все энергия, запасённая в катушке и конденсаторе, выделится в виде тепла на резисторе  $R_2$ :

$$Q = W_L + W_C = \frac{L \mathcal{E}^2}{2 (r + R)^2} + \frac{C \mathcal{E}^2 R^2}{2 (r + R)^2} = \frac{\mathcal{E}^2}{2 (r + R)^2} (L + C R^2) = \frac{\mathcal{E}^2}{2 (r + R_1 + R_2)^2} (L + C (R_1 + R_2)^2)$$

$$Q = \frac{144}{2 \cdot (1 + 3 + 8)^2} (24 \cdot 10^{-6} + 4 \cdot (3 + 8)^2 \cdot 10^{-6}) = \frac{144 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 144} (24 + 4 \cdot 121) = 254 \cdot 10^{-6} \text{ Дж} = 254 \text{ мкДж}$$

Ответ:  $Q = \frac{\mathcal{E}^2}{2 (r + R_1 + R_2)^2} (L + C (R_1 + R_2)^2)$   
 $Q = 254 \cdot 10^{-6} \text{ Дж} = 254 \text{ мкДж}$

1.3

Дано:

$$E = 12 \text{ В}$$

$$R_1 = 8 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 3 \text{ Ом}$$

$$C = 4 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

$$L = 24 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}$$

$Q_2 = ?$

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{I^2 R_1}{I^2 R_2}$$

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

$$Q_1 = \frac{Q_2 R_1}{R_2}$$

$$Q_1 = \frac{8 Q_2}{3}$$

Решение. N31.

$U_R$  - напряжение резисторов.

По закону сохранения энергии:

$$\frac{CU^2}{2} + \frac{LI^2}{2} = Q_1 + Q_2$$

$$I = \frac{E}{r + R_2 + R_1}; I = 1 \text{ А.}$$

(зависит от того, как соединены резисторы).

$$(U = E) U = E + U_R; U = E + IR_1 + IR_2; U = 23 \text{ В.}$$

$$\frac{CU^2}{2} + \frac{LI^2}{2} = Q_1 + Q_2$$

подставляем числ. на

Переходим к закону сохранения энергии:

$$\frac{CU^2}{2} + \frac{LI^2}{2} = \frac{8 Q_2}{3} + Q_2$$

$$2 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{529}{1058} + 12 \cdot 10^{-6} \cdot 1 = \frac{11 Q_2}{3}$$

$$288 \cdot 10^{-6} + 12 \cdot 10^{-6} = \frac{11 Q_2}{3}$$

$$300 \cdot 10^{-6} = \frac{11 Q_2}{3}$$

$$1070 \cdot 10^{-6} = \frac{11 Q_2}{3}$$

$$900 \cdot 10^{-6} = 11 Q_2$$

$$3210 \cdot 10^{-6} = 11 Q_2$$

$$Q_2 = \frac{900 \cdot 10^{-6}}{11} = 81,8 \cdot 10^{-6} \text{ Дж.}$$

$$Q_2 = 291,8 \cdot 10^{-6} \text{ Дж.}$$

Ответ:  $Q_2 = 81,8 \cdot 10^{-6} \text{ Дж.}$



Дано:

$$\mathcal{E} = 12 \text{ В}$$

$$r = 1 \text{ Ом}$$

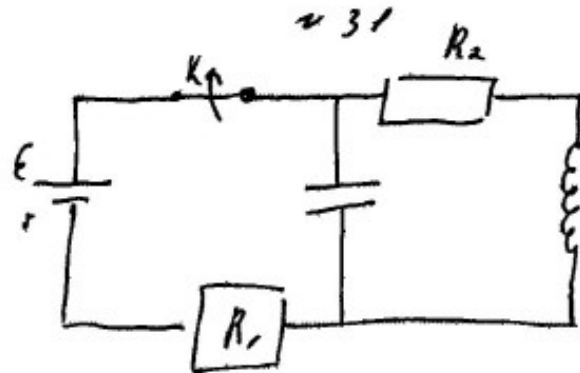
$$R_1 = 8 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 3 \text{ Ом}$$

$$C = 4 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

$$L = 24 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}$$

Q - ?



По закону Ома для полной цепи:  $I = \frac{\mathcal{E}}{R_{\text{общ}} + r}$ .

$$R_{\text{общ}} = R_1 + R_2 = 11 \text{ Ом}$$

$$I = \frac{12}{11+1} = 1 \text{ А.}, \quad I - \text{сила тока.}$$

После размыкания ключа К начнется зарядка конденсатора.

Период колеб. можно найти по формуле Томпсона:  $T = 2\pi\sqrt{LC} = 2\pi\sqrt{24 \cdot 4 \cdot 10^{-6}} = 8\pi \cdot 10^{-6} \sqrt{6}$ .

Кол. теплоты -  $Q = I^2 R_2 T = 1 \cdot 3 \cdot 8\pi \cdot 10^{-6} \cdot \sqrt{6} = 24\pi \cdot \sqrt{6}$  мкДж.

Ответ:  $24\pi \cdot \sqrt{6}$  мкДж.

31

Дано:

$$\mathcal{E} = 12 \text{ В}$$

$$R_1 = 80 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 3 \text{ Ом}$$

$$C = 4 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

$$L = 24 \text{ мкГн}$$

$$r = 1 \text{ Ом}$$

$$Q_{R_2} = ?$$

$$\left\{ \begin{array}{l} W_{\text{катушки}} = \frac{L I^2}{2} \\ W = \frac{q^2}{2C} \\ W_2 = \frac{CU^2}{2} \\ W = \frac{qU}{2} \\ U = IR \\ \mathcal{E} = I(R + r) \\ Q = UI t \\ Q = I^2 R t \\ Q = \frac{U^2}{R} \cdot t \\ I = \frac{q}{t} \end{array} \right.$$

энергия катушки

энергия конденс.

энергия конденс.

энергия конденс.

закон Ома

ЭДС источника

кол-во теплоты

кол-во теплоты

кол-во теплоты.

сила тока

0

## Задача №32 Пример - 6

На плоскую цинковую пластинку падает электромагнитное излучение. Фотоэлектроны удаляются от поверхности пластинки на расстояние не более 8,75 см в задерживающем однородном электрическом поле, перпендикулярном пластинке. Напряжённость поля 100 В/м. Работа выхода электрона с поверхности цинка 3,74 эВ. Какова длина волны падающего излучения?

### Возможное решение

1. Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов, вылетающих из пластины,  $W_{\max}$  определяется уравнением Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h \frac{c}{\lambda} = A_{\text{вых}} + W_{\max}. \quad (1)$$

2. Максимальное удаление от пластины  $d$  для электрона с зарядом  $e$  в электрическом поле  $E$  определяется законом сохранения энергии:

$$W_{\max} = Eed. \quad (2)$$

3. Отсюда: 
$$\lambda = \frac{hc}{A_{\text{вых}} + eEd}.$$

4. Подставляя значения физических величин, получим:

$$\lambda = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{3,74 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} + 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^2 \cdot 8,75 \cdot 10^{-2}} \approx 100 \text{ нм}.$$



### Критерии оценивания выполнения задания

Баллы

Приведено полное решение, включающее следующие элементы:

3

I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае: уравнение Эйнштейна для фотоэффекта, формула связи разности потенциалов с напряжённостью однородного электростатического поля, формула работы электростатического поля, закон сохранения энергии);

II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);

III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);

IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины

# Примеры решения

31. ~~Задача~~ **Dано:** ~~Решение:~~ **Решение:**

$A_6 = 3,74 \text{ эВ}$	$5,984 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$	$\frac{hc}{\lambda} = A_6 + qU \rightarrow \frac{hc}{\lambda} = A_6 + qEd$ $\lambda = \frac{hc}{A_6 + qEd} =$ $\frac{6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{5,984 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} + 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 100 \frac{\text{В}}{\text{м}} \cdot 0,0875 \text{ м}}$ $\approx 1 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 100 \text{ нм.}$
$d = 8,75 \text{ см}$	$0,0875 \text{ м}$	
$E = 100 \frac{\text{В}}{\text{м}}$		
$\lambda - ?$		

$U = Ed$

~~$6,6 \cdot 10^{-34}$~~   ~~$3 \cdot 10^8$~~   ~~$5,984 \cdot 10^{-19}$~~   ~~$1,6 \cdot 10^{-19}$~~

Ответ: длина волны излучения равна 100 нм.

Дано:

$$d = 8,75 \mu\text{m} = 0,0875 \mu\text{m}$$

$$E = 100 \text{ В/м}$$

$$A_{\text{вых}} = 3,74 \text{ эВ} =$$

$$= 3,74 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} = 5,984 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$$

$\lambda$  - ?

$$\lambda = \frac{hc}{A_{\text{вых}} + E \bar{e} d} =$$

$$\frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{5,984 \cdot 10^{-19} + 100 \cdot 0,0875 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} \approx 9,9 \cdot 10^{-8} \text{ м} = 99 \cdot 10^{-9} \text{ м} = 99 \text{ нм.}$$

Вспользуемся уравнением Эйнштейна.

$$\frac{hc}{\lambda} = A_{\text{вых}} + \frac{m_e \bar{e} U^2}{2}$$

~~где~~  $A$  — работа выхода по переменуемому заряду

по закону сохранения энергии.

$$\frac{m_e \bar{e} U^2}{2} - A = 0. \quad A = Fs = E \bar{e} d$$

$$\frac{m_e \bar{e} U^2}{2} = E \bar{e} d. \Rightarrow \frac{hc}{\lambda} = A_{\text{вых}} + E \bar{e} d.$$

Ответ: 99 нм.

$$l = 8,75 \text{ нм} = 0,0875 \text{ м}$$

$$U = 100 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

$$A_{\text{вых}} = 3,74 \text{ эВ}$$

$$\lambda - ?$$

$$h\nu = E + A_{\text{вых}}$$

$$E = U \cdot l$$

$$h\nu = U \cdot l + A_{\text{вых}} = 100 \cdot 0,0875 + 3,74 = 12,49 \text{ эВ}$$

$$\nu = \frac{12,49 \text{ эВ} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{6,6 \cdot 10^{-34}} \approx 3 \cdot 10^{15} \text{ Гц}$$

Так как это свет,  $c = \lambda \cdot \nu \Rightarrow \lambda = \frac{c}{\nu}$

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{3 \cdot 10^{15}} = 1 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

Отв:  $\lambda = 10^{-7} \text{ м}$

2.1

N 31  
 Дано:  $\lambda = 8,75 \text{ нм}$   
 $\rho = 8,75 \text{ см} = 8,75 \cdot 10^{-3} \text{ м}$   
 $E = 100 \frac{\text{В}}{\text{см}}$   
 $A_6 = 3,74 \Rightarrow B = 5,984 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$   
 $\lambda = ?$

Решение: 1. Уравнение Шредингера для фотоэфекта:  $E = A_6 + \frac{mv^2}{2}$ .

2. По формуле Планка  $E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ .

3.  $\frac{hc}{\lambda} = A_6 + \frac{mv^2}{2} \Rightarrow \lambda = \frac{hc}{A_6 + \frac{mv^2}{2}} \quad (*)$

4. Из формулы кинематического равноускоренного движения:  $v^2 - v_0^2 = 2as, v_0 = 0 \text{ м/с} \Rightarrow v^2 = 2as. (1)$

5. На движущийся электрон действует сила электромагнитного поля  $F_{эл} = |e| \cdot E$ .

6. Второй закон Ньютона в векторной форме:

$m\vec{a} = \vec{F}_{эл} \Rightarrow ma = F_{эл} \Rightarrow ma = E \cdot |e| \Rightarrow a = \frac{E \cdot |e|}{m}. (2)$

7. Из выражений (1) и (2) получаем:  $v^2 = \frac{2}{m} \cdot E \cdot |e| \cdot s. (3)$

8. Подставим полученное значение (3) в (\*):

$\lambda = \frac{hc}{A_6 + \frac{mv^2}{2}} = \frac{hc}{A_6 + E|e|s}$

$\lambda = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{5,984 \cdot 10^{-19} + 10^2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 8,75 \cdot 10^{-3}} = \frac{19,8 \cdot 10^{-26}}{5,984 \cdot 10^{-19} + 14 \cdot 10^{-20}}$   
 $= \frac{19,8 \cdot 10^{-26}}{5,984 \cdot 10^{-19} + 1,4 \cdot 10^{-19}} = \frac{19,8 \cdot 10^{-26}}{7,384 \cdot 10^{-19}} = 2,7 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 270 \cdot 10^{-9} = 270 \text{ нм}$

2.3  
 +  
 2.2

Ответ:  $270 \text{ нм}; \lambda = \frac{hc}{A_6 + E|e|s}$ .

3) Дано:  
 $\chi = 8,75 \text{ эВ}$   
 $E = 100 \text{ эВ}$   
 $A_0 = 3,74 \text{ эВ}$   
 $\lambda = ?$

См:  
 $0,0875 \text{ нм}$

формула для фотоэффекта на поверхности  
 метал. катода:  $E = \frac{hc}{\lambda}$ ,  $E_{\text{напр. от. катод}}$ ,  $\lambda$  - длина  
 волны падающего света,  $\chi$  - работа выхода  
 из металла

Используем уравнение Эйнштейна для  
 фотоэффекта:  $\frac{hc}{\lambda} = A_0 + eU$ , где  $\lambda$  - длина волны падающего  
 света,  $A_0$  - работа выхода  $e$ ,

$$\lambda = \frac{hc}{A_0 + eU} = \frac{hc}{A_0 + E\chi}$$

$$\lambda = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{1,6 \cdot 10^{-19} (3,74 + 100 \cdot 0,0875)} = \frac{19,8 \cdot 10^{-26}}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 12,49} \approx 10^{-4} \text{ (м)} =$$

$$= 100 \text{ (нм)}$$

Ответ: 100 нм.

31. Дано:

$$h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}$$

$$l = 8,45 \text{ м}$$

$$U = 100 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

$$1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

$$A_B = 3,74 \text{ эВ}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$$\lambda = ?$$

CU

$$\approx 6 \cdot 10^{-19} \text{ В}$$

Решение:

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта.

$$E_{\text{ф}} = A_B + eU_3 = A_B + \frac{mv^2}{2}$$

$$E_{\text{ф}} = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

$$\frac{hc}{\lambda} = A_B + eU_3$$

$$\lambda = \frac{hc}{A_B + eU_3} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{6 \cdot 10^{-19} \text{ В} + 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 100 \text{ В}} =$$

$$= \frac{19,8 \cdot 10^{-26}}{166 \cdot 10^{-19}} \approx 0,1 \cdot 10^{-7} = 100 \cdot 10^{-9} = 100 \text{ нм.}$$

Ответ:  $\lambda = 100 \text{ нм.}$

1.3

31. Дано:

$$d = 8,75 \text{ мкм} = 8,75 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$E = 100 \text{ В/м}$$

$$A_{\text{вмк}} = 3,74 \text{ В}$$

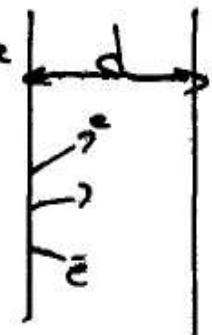

---


$$\lambda = ?$$

Параметры:  $h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}; m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$

$$E_{\text{ф}} = A_{\text{вмк}} + e \cdot U_3$$

$$U_3 = \frac{E}{d} = \frac{100}{8,75 \cdot 10^{-2}} = 1142,86 \text{ В}$$



$$\frac{hc}{\lambda} = A_{\text{вмк}} + e \cdot U_3$$

$$\frac{hc}{\lambda} = 3,74 + 1142,86 = 1146,6 \text{ В} \Rightarrow B = 1834,56 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

$$\lambda = \frac{hc}{E_{\text{ф}}} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{1834,56 \cdot 10^{-19}} = 0,01 \cdot 10^{-2} = 1 \cdot 10^{-2} = 1 \cdot 10^{-2} \text{ м} = 1 \text{ мкм}$$

1.3



$h = 8,75 \text{ eV}$ <del><math>h = 8,75 \text{ eV}</math></del> $c = 100 \text{ B/m}$ $A_G = 3,74$	$\lambda = 0,0875 \mu\text{m}$
$\lambda = ?$	

$$A_G = \frac{h \cdot c}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{h \cdot c}{A_G}$$

$$\lambda = \frac{0,0875 \mu\text{m} \cdot 100}{3,74} = \frac{8,75}{3,74} \approx 2,34$$

Answer: 2,34



**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**