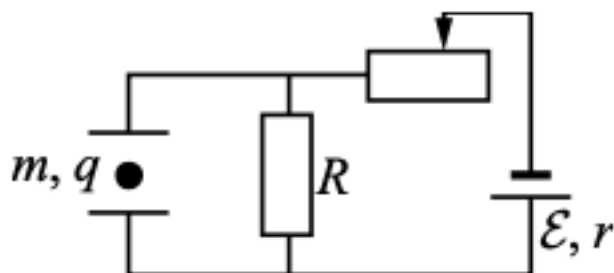


Тренировочные задания для подготовки к Промежуточной аттестации

Часть 6

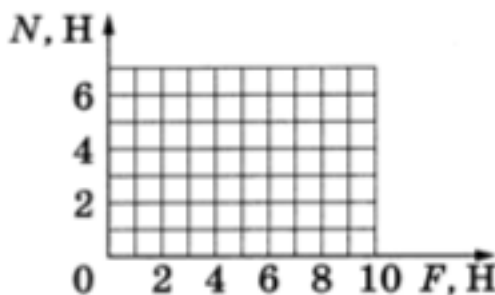
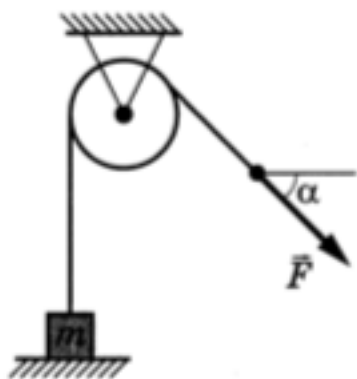
Все задачи приведены с ответами и решениями.

1. Две параллельные металлические пластины, расположенные горизонтально, подключены к электрической схеме, приведённой на рисунке. Между пластинами находится в равновесии маленькое заряженное тело массой m и зарядом q . Электростатическое поле между пластинами считать однородным. Опираясь на законы механики и электродинамики, объясните, как и в каком направлении начнёт двигаться тело, если сдвинуть ползунок реостата вправо.



2. Лёгкая нить, привязанная к грузу массой $m = 0,3$ кг, перекинута через идеальный неподвижный блок. К правому концу нити приложена постоянная сила F . Левая часть нити вертикальна, а правая наклонена под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту (см. рисунок).

Постройте график зависимости модуля силы реакции стола N от F на отрезке $0 \leq F \leq 10$ Н. Ответ поясните, указав, какие физические явления и закономерности Вы использовали для объяснения. Сделайте рисунок с указанием сил, приложенных к грузу.



3. На рисунке 1 приведена зависимость внутренней энергии U 2 моль идеального одноатомного газа от его давления p в процессе 1-2-3. Постройте график этого процесса на рисунке 2 в переменных p - V . Точка, соответствующая состоянию 1, уже отмечена на этом рисунке. Построение объясните, опираясь на законы молекулярной физики.

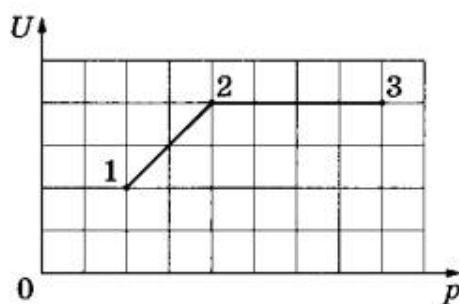


Рис. 1

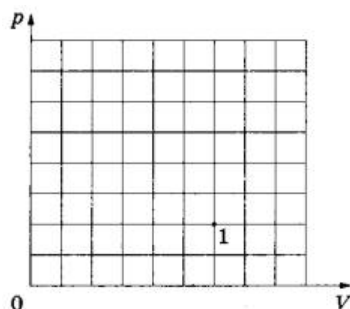
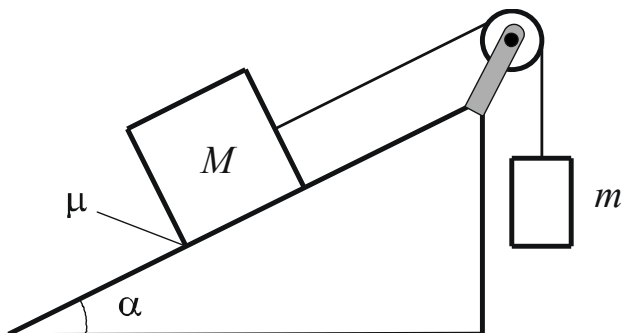


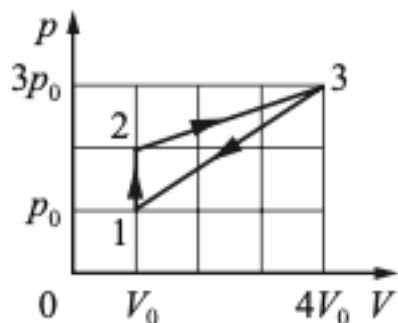
Рис. 2

4. Грузы массами $M = 1$ кг и m связаны лёгкой нерастяжимой нитью, переброшенной через невесомый блок, вращающийся без трения (см. рисунок). Груз массой M покоится на шероховатой наклонной плоскости (угол наклона плоскости к горизонту $\alpha = 30^\circ$, коэффициент трения $\mu = 0,3$). Чему равно минимальное значение массы m , при котором система грузов остаётся в состоянии покоя? Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на грузы. **Обоснуйте применимость законов, используемых для решения задачи.**



5. Небольшое тело массой $M = 0,99$ кг лежит на вершине гладкой полусферы радиусом $R = 1$ м. В тело попадает пуля массой $m = 0,01$ кг, летящая горизонтально со скоростью $v_0 = 200$ м/с, и застревает в нём. Пренебрегая смещением тела за время удара, определите высоту h , на которой это тело оторвётся от поверхности полусферы. Высота отсчитывается от основания полусферы. Сопротивлением воздуха пренебречь. Обоснуйте применимость законов, используемых для решения задачи.

6. В цикле, показанном на pV -диаграмме, $\nu = 4$ моль разреженного гелия получает от нагревателя количество теплоты $Q_{\text{нагр}} = 120$ кДж. Найдите температуру T_2 гелия в состоянии 2.

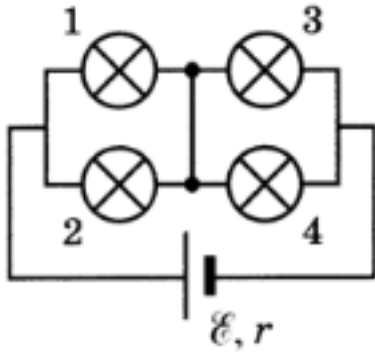


7. Закрытый сверху вертикальный цилиндрический сосуд, заполненный воздухом, разделён тяжёлым поршнем, способным скользить без трения, на две части. В начальном равновесном состоянии в верхней и нижней частях сосуда находилось по $\nu = 1$ моль воздуха, а отношение объёмов верхней и нижней частей сосуда было равно 2. После того, как из нижней части сосуда удалили некоторое количество воздуха $\Delta\nu$, через длительный промежуток времени установилось новое состояние равновесия с отношением объёмов верхней и нижней частей сосуда, равным 3. Температура воздуха T в обеих частях сосуда всё время поддерживалась одинаковой и постоянной. Определите, какое количество воздуха было удалено из сосуда.

8. В комнате при 20°C относительная влажность воздуха составляет 40%. При умеренной физической нагрузке через лёгкие человека проходит 15 л воздуха за 1 мин. Выдыхаемый воздух имеет температуру 34°C и относительную влажность 100%. Давление насыщенного водяного пара при 20°C равно 2,34 кПа, а при 34°C – 5,32 кПа. Какую массу воды теряет тело человека за 1 ч за счёт дыхания? Считать, что объём выдыхаемого воздуха равен объёму, который проходит через лёгкие человека. Влажность воздуха в комнате считать неизменной.

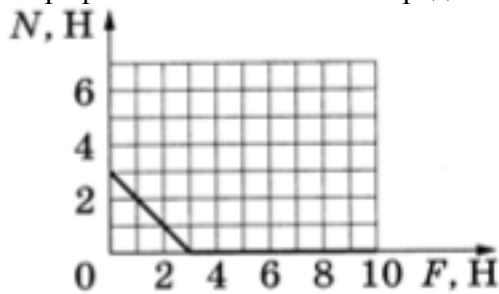
9. Полый шарик массой $m = 0,4$ г с зарядом $q = 8$ нКл движется в однородном горизонтальном электрическом поле из состояния покоя. Траектория шарика образует с вертикалью угол $\alpha = 45^\circ$. Чему равен модуль напряжённости электрического поля E ? Сделайте схематический рисунок с указанием сил, действующих на шарик.

10. Определите КПД источника в схеме, изображённой на рисунке. Все лампы, включённые в схему, имеют одинаковое сопротивление $R = 20$ Ом. Внутреннее сопротивление источника $r = 2$ Ом, его ЭДС $\mathcal{E} = 110$ В.

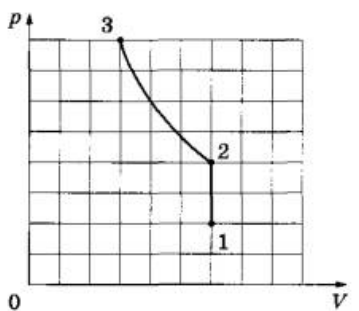


Ответы:

1. тело начнёт двигаться вниз с ускорением.
2. график этой зависимости представляет собой ломаную линию:



3. в координатах p - V график является гиперболой:



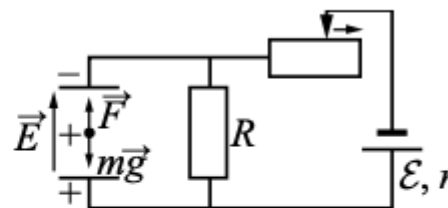
4. $\approx 0,24$ кг.
5. 0,8 м.
6. ≈ 301 К.
7. $\approx 0,29$ моль.
8. $\approx 27,6$ г.
9. 500 кВ/м.
10. $\approx 91\%$.

Решения:

1.

Возможное решение

1. Поскольку пластины подключены к источнику ЭДС, то между ними имеется разность потенциалов, в пространстве между ними создаётся однородное электростатическое поле. Согласно электрической схеме нижняя пластина имеет положительный заряд, а верхняя – отрицательный; следовательно, вектор напряжённости поля направлен вертикально вверх. По условию задачи заряженное тело находится в равновесии; следовательно, сила тяжести скомпенсирована силой Кулона, направленной вертикально вверх. Отсюда делаем вывод, что тело имеет положительный заряд.



2. Если сдвинуть ползунок реостата вправо, то сопротивление реостата возрастёт. Поскольку реостат соединён с резистором R последовательно, то и общее сопротивление цепи также возрастёт.

3. Согласно закону Ома для полной цепи: $\mathcal{E} = I(R_{\text{внеш}} + r)$ – при увеличении сопротивления внешней цепи сила тока в ней уменьшится. Таким образом, по закону Ома для участка цепи: $U = IR$ – напряжение на резисторе R также уменьшится. Поскольку пластины соединены с резистором R параллельно, то, соответственно, напряжение между ними уменьшится. Следовательно, уменьшится и напряжённость поля между пластинами:

$$E = \frac{U}{d}.$$

4. Уменьшение напряжённости поля приведёт к уменьшению силы Кулона, действующей на тело: $F = qE$. Равновесие нарушится, сила тяжести станет больше силы Кулона, и тело начнёт двигаться вниз с ускорением.

Ответ: тело начнёт двигаться вниз с ускорением

2.

Возможное решение

1. Если сила \vec{F} достаточно мала, груз покоится относительно стола (эту систему отсчёта будем считать инерциальной). На груз при этом действуют сила тяжести $m\vec{g}$, сила реакции со стороны стола \vec{N} и сила натяжения нити \vec{T} , показанные на рисунке *a*. Запишем второй закон Ньютона для груза в проекциях на ось y введённой системы отсчёта: $N + T - mg = 0$.

Поскольку нить лёгкая, а блок идеальный, модуль силы натяжения нити во всех точках одинаков, поэтому $T = F$.

Отсюда получаем: $N = mg - F \geq 0$ при $F \leq mg = 3$ Н.

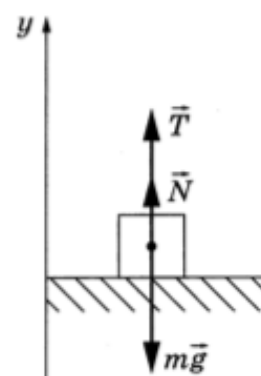


Рис. *a*

2. При $F > mg = 3 \text{ Н}$ груз отрывается от стола и движется вдоль оси y с ускорением. На груз при этом действуют только сила тяжести $m\vec{g}$ и сила натяжения нити \vec{T}' , показанные на рисунке б, а модуль силы реакции стола $N = 0$.

Таким образом: а) при $F \leq mg = 3 \text{ Н}$ $N = mg - F$;
 б) при $F > mg = 3 \text{ Н}$ $N = 0$.

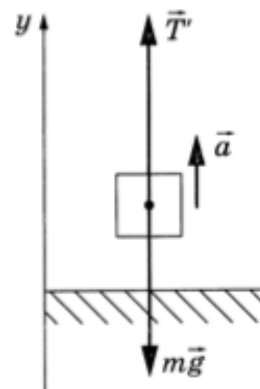
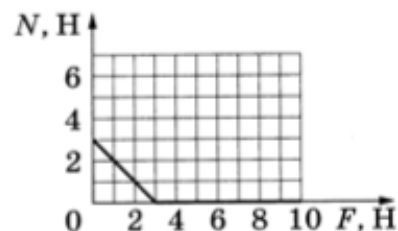


Рис. б

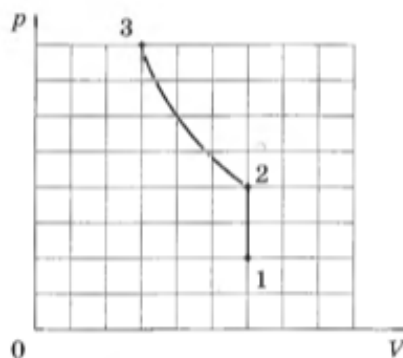
3. График этой зависимости представляет собой ломаную линию.



3.

Возможное решение

1.



2. Внутренняя энергия идеального одноатомного газа пропорциональна его абсолютной температуре: $U = \frac{3}{2} \nu RT$. Значит, на участке 1–2 температура пропорциональна давлению, процесс при постоянном количестве вещества, согласно уравнению Клапейрона — Менделеева ($pV = \nu RT$), является изохорным нагреванием, объём газа не изменяется, а давление увеличивается в 2 раза. В координатах p – V график является отрезком вертикальной прямой.

3. На участке 2–3 $U = \text{const}$, температура газа не меняется, происходит изотермическое сжатие, давление в этом процессе также возрастает в 2 раза. При этом $pV = \text{const}$, поэтому объём газа уменьшился в 2 раза. В координатах p – V график является гиперболой.

4.

Решение

Запишем второй закон Ньютона для каждого из покоящихся тел в проекциях на оси введённой системы координат:

$$\left. \begin{aligned} O_1 x_1: T_1 - Mgs\sin\alpha + F_{\text{тр}} &= 0, \\ O_1 y_1: N - Mgs\cos\alpha &= 0, \\ O_2 y_2: mg - T_2 &= 0. \end{aligned} \right\}$$

Учтём, что:

$$T_1 = T_2 = T; F_{\text{тр}} \leq \mu N \quad (\text{сила трения покоя}).$$

Тогда

$$\begin{aligned} T &= mg, \\ F_{\text{тр}} &= Mgs\sin\alpha - mg, \\ N &= Mgs\cos\alpha; \end{aligned}$$

приходим к неравенству

$$Mgs\sin\alpha - mg \leq \mu Mgs\cos\alpha$$

с решением

$$m \geq M(\sin\alpha - \mu\cos\alpha).$$

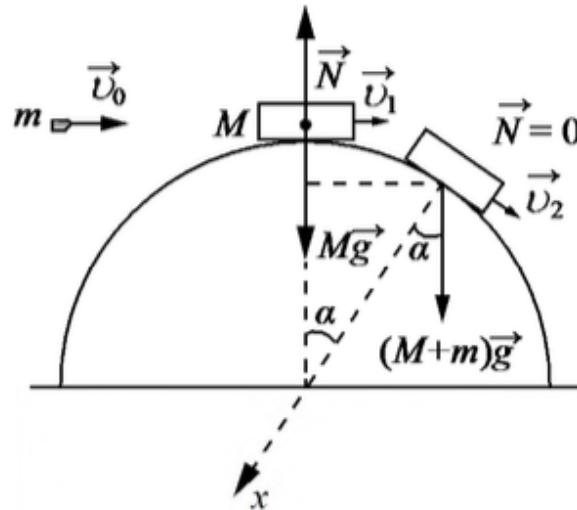
Таким образом,

$$m_{\min} = M(\sin\alpha - \mu\cos\alpha) = 1 \left(0,5 - 0,3 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \right) \approx 0,24 \text{ кг}.$$

Ответ: $m_{\min} \approx 0,24 \text{ кг}$

Возможное решение

Обоснование



1. Систему отсчёта, связанную с Землёй, будем считать инерциальной. Тела можно считать материальными точками, так как их размеры пренебрежимо малы в условиях задачи.
2. При соударении для системы «пуля – тело» в ИСО выполняется закон сохранения импульса в проекциях на горизонтальную ось, так как внешние силы (сила тяжести и сила реакции опоры) вертикальны.
3. При движении составного тела от вершины полусферы выполняется закон сохранения механической энергии, так как полусфера гладкая, и работа силы реакции опоры равна нулю (эта сила перпендикулярна скорости тела).
4. В момент отрыва обращается в нуль сила реакции опоры \vec{N} .
5. Второй закон Ньютона выполняется в ИСО для модели материальной точки.

Решение

1. Закон сохранения импульса связывает скорость пули перед ударом со скоростью составного тела массой $m + M$ сразу после удара:

$$mv_0 = (m + M)v_1.$$

Закон сохранения механической энергии связывает скорость составного тела сразу после удара с его скоростью в момент отрыва от полусферы:

$$\frac{(m + M)v_1^2}{2} + (m + M)gR = \frac{(m + M)v_2^2}{2} + (m + M)gR\cos\alpha,$$

где v_2 – скорость составного тела в момент отрыва; $h = R \cos \alpha$ – высота точки отрыва (см. рисунок).

2. Второй закон Ньютона в проекциях на ось x (направленную в центр полусферы), в момент отрыва тела принимает вид:

$$(m + M)g \cos \alpha = \frac{(m + M)v_2^2}{R}.$$

3. Объединяя уравнения, получим:

$$\frac{v_1^2}{2} + gR = \frac{3}{2}gh.$$

$$\text{Отсюда } h = \frac{1}{3g} \cdot \left(\frac{mv_0}{M + m} \right)^2 + \frac{2}{3}R = \frac{1}{3 \cdot 10} \cdot \left(\frac{0,01 \cdot 200}{0,99 + 0,01} \right)^2 + \frac{2}{3} \cdot 1 = 0,8 \text{ м.}$$

Ответ: $h = 0,8 \text{ м}$

| Критерии оценивания выполнения задания | Баллы |
|--|-------|
| Критерий 1 | |
| Верно обоснована возможность использования законов (закономерностей). В данном случае: <i>выбор ИСО, модель материальной точки, условия применимости законов сохранения импульса и сохранения механической энергии, условие отрыва тела от поверхности полусферы</i> | 1 |

6.

Возможное решение

1. Согласно графику цикла гелий получает положительное количество теплоты от нагревателя на участках 1–2 и 2–3. При этом процесс 1–2 является изохорическим и газ работы не совершает. В соответствии с первым началом термодинамики, формулой для внутренней энергии одноатомного идеального газа $\left(U = \frac{3}{2} \nu RT \right)$, графическим способом определения работы газа и уравнением Клапейрона – Менделеева ($pV = \nu RT$) получим:

$$\begin{aligned} Q_{\text{нагр}} &= Q_{12} + Q_{23} = (U_3 - U_1) + A_{23} = \\ &= \left(\frac{3}{2} \nu RT_3 - \frac{3}{2} \nu RT_1 \right) + \frac{1}{2} (2p_0 + 3p_0)(4V_0 - V_0) = \\ &= \frac{3}{2} (p_3 V_3 - p_1 V_1) + \frac{15}{2} p_0 V_0 = \frac{3}{2} (12p_0 V_0 - p_0 V_0) + \frac{15}{2} p_0 V_0 = 24p_0 V_0. \end{aligned}$$

2. Согласно графику цикла $\nu RT_2 = 2p_0 V_0$, откуда:

$$T_2 = \frac{2p_0 V_0}{\nu R} = \frac{Q_{\text{нагр}}}{12\nu R} = \frac{120 \cdot 10^3}{12 \cdot 4 \cdot 8,31} \approx 301 \text{ К.}$$

Ответ: $T_2 \approx 301 \text{ К}$

7.

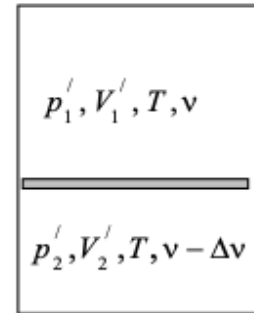
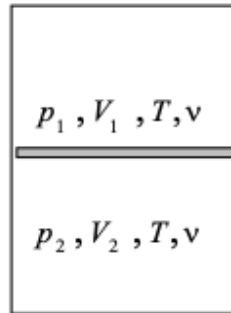
Возможное решение

1. Запишем уравнение Клапейрона – Менделеева для газа в верхней и нижней частях сосуда в начальном равновесном состоянии:

$$p_1 V_1 = \nu RT, \quad p_2 V_2 = \nu RT,$$

где p_1, p_2 – давление воздуха в верхней

и нижней частях сосуда, V_1, V_2 – объёмы верхней и нижней частей сосуда.



2. Запишем уравнение Клапейрона – Менделеева для газа в верхней и нижней частях сосуда после откачки воздуха:

$$p_1' V_1' = \nu RT, \quad p_2' V_2' = (\nu - \Delta \nu) RT,$$

где p_1', p_2' – давление воздуха в верхней и нижней частях сосуда,

V_1', V_2' – объёмы верхней и нижней частей сосуда.

3. Условие механического равновесия поршня в начальном состоянии: $p_2 - p_1 = \frac{Mg}{S}$, а

после откачки воздуха: $p_2' - p_1' = \frac{Mg}{S}$, где M – масса поршня, S – площадь его

горизонтального сечения.

4. Из условия задачи: $V = V_1 + V_2 = V_1' + V_2'$,

$$\frac{V_1}{V_2} = 2; \quad \frac{V_1'}{V_2'} = 3 \Rightarrow V_2 = \frac{V}{3}, \quad V_1 = \frac{2V}{3}, \quad V_2' = \frac{V}{4}, \quad V_1' = \frac{3V}{4},$$

где V – объём всего сосуда.

5. После объединения записанных выше выражений получим уравнение:

$$\frac{3\nu RT}{V} - \frac{3\nu RT}{2V} = \frac{4(\nu - \Delta \nu) RT}{V} - \frac{4\nu RT}{3V},$$

откуда получим: $\Delta \nu = \frac{7\nu}{24} = \frac{7 \cdot 1}{24} \approx 0,29$ моль.

Ответ: $\Delta \nu \approx 0,29$ моль

8.

Возможное решение

1. Водяной пар в воздухе до момента конденсации является разреженным газом и описывается уравнением Менделеева — Клапейрона: $pV = \frac{m}{M}RT$, где p — парциальное давление пара, m — масса пара в рассматриваемом объёме V , T — абсолютная температура, а $M = 18 \cdot 10^{-3}$ кг/моль — молярная массы воды. При комнатной температуре T_1 и парциальном давлении p_1 в выделенном объёме V содержится $m_1 = M \frac{p_1 V}{RT_1}$ водяного пара, а в выдыхаемом воздухе при температуре T_2 и парциальном давлении p_2 содержится $m_2 = M \frac{p_2 V}{RT_2}$.

2. Масса испарённой воды в этом объёме:

$$m = m_2 - m_1 = M \frac{p_2 V}{RT_2} - M \frac{p_1 V}{RT_1} = \frac{MV}{R} \left(\frac{p_2}{T_2} - \frac{p_1}{T_1} \right).$$

При $t_1 = 20$ °С ($T_1 = 273 + 20 = 293$ К) и относительной влажности 40 % парциальное давление водяного пара $p_1 = 0,4 p_{н1} = 0,4 \cdot 2,34 \cdot 10^3$ Па = 936 Па, а при $t_2 = 34$ °С ($T_2 = 273 + 34 = 307$ К) и относительной влажности 100 % парциальное давление водяного пара $p_2 = p_{н2} = 5320$ Па.

Здесь $p_{н1} = 2,34 \cdot 10^3$ Па — давление насыщенного водяного пара при $t_1 = 20$ °С, а $p_{н2} = 5320$ Па — давление насыщенного водяного пара при $t_2 = 34$ °С.

3. Через лёгкие за 1 мин. проходит 15 л воздуха, а за 1 ч — 900 л, т. е. $V = 0,9$ м³. Подставляя значения физических величин, получим количество потерянной за час воды:

$$m = \frac{MV}{R} \left(\frac{p_2}{T_2} - \frac{p_1}{T_1} \right) = \frac{18 \cdot 10^{-3} \cdot 0,9}{8,31} \cdot \left(\frac{5320}{307} - \frac{936}{293} \right) \approx 27,6 \cdot 10^{-3} \text{ кг} = 27,6 \text{ г.}$$

Ответ: $m \approx 27,6$ г.

9.

Возможное решение

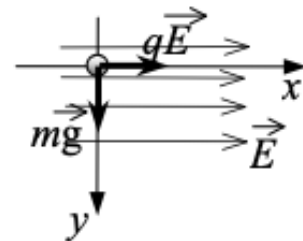
1) На тело действуют сила тяжести $\vec{F}_1 = m\vec{g}$ и сила со стороны электрического поля $\vec{F}_2 = q\vec{E}$.

2) В инерциальной системе отсчета, связанной с Землей, в соответствии со вторым законом Ньютона, вектор ускорения тела пропорционален вектору

суммы сил, действующих на него: $m\vec{a} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$.

3) При движении из состояния покоя тело движется по прямой в направлении вектора ускорения, т.е. в направлении равнодействующей приложенных сил. Прямая, вдоль которой направлен вектор ускорения, образует угол $\alpha = 45^\circ$ с вертикалью, следовательно, $\operatorname{tg} \alpha = \frac{a_x}{a_y} = \frac{F_2}{F_1} = \frac{qE}{mg} = 1$. Отсюда $E = \frac{mg}{q}$.

Подставив числовые данные, получаем: $E = 0,5 \cdot 10^6 \text{ В/м} = 500 \text{ кВ/м}$.



10.

Возможное решение

1. Так как сопротивление всех ламп одинаково, то $\varphi_A = \varphi_B$ (см. рисунок). Между точками равного потенциала ток не течёт, и участок AB можно исключить из схемы.

2. Из эквивалентной схемы видно, что сопротивление внешней цепи $R_0 = \frac{4R^2}{2R + 2R} = R = 20 \text{ Ом}$.

3. По закону Ома для полной цепи ток, текущий через источник в схеме, $I = \frac{\mathcal{E}}{R + r} = \frac{110}{20 + 2} = 5 \text{ А}$.

4. По закону Джоуля — Ленца полезная мощность, выделяющаяся во внешней цепи, $P_1 = I^2 R_0 = 5^2 \cdot 20 = 500 \text{ Вт}$.

5. Полная мощность источника равна $P_2 = \mathcal{E}I = 110 \cdot 5 = 550 \text{ Вт}$.

6. В итоге КПД источника $\eta = \frac{P_1}{P_2} = \frac{500}{550} \approx 0,91 = 91\%$.

Ответ: $\eta \approx 0,91 = 91\%$.

