

ФИЗИКА

11 класс

Ключи ответов и критерии оценивания

Задача 1. «Воздушный шарик»

Наполненный гелием воздушный шарик имеет форму, близкую к сферической. Если отпустить его в безветренную погоду, скорость его установившегося (то есть равномерного) подъёма будет равна $u_0 = 2$ м/с. Этот шарик привязали к багажнику велосипеда. Когда велосипедист на этом велосипеде ехал навстречу ветру со скоростью $u = 1$ м/с относительно земли, нить шарика отклонилась от вертикали на постоянный угол. Найдите этот угол, если скорость ветра равна $u = 0,5$ м/с. Считать, что при движении шарика в воздухе величина действующей на него силы сопротивления пропорциональна квадрату его скорости относительно воздуха.

Возможное решение. В случае равномерного движения шарика вверх в безветренную погоду на него действуют сила Архимеда F_A , сила тяжести Ng и сила сопротивления воздуха $F_c = \alpha u_0^2$ (рис.), причём:

$$F_A = \alpha u_0^2 + Ng. \quad (1)$$

При движении шарика, привязанного к багажнику, $F_c = \alpha(u + u)^2$, где $(u + u)$ – скорость шарика относительно воздуха и на него действует дополнительно сила натяжения нити T (рис.). В проекции на ось x , перпендикулярную нити:

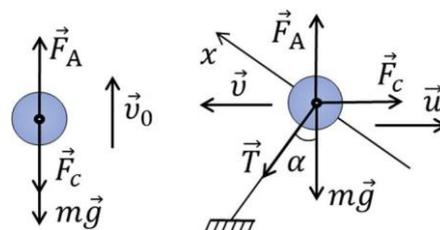
$$F_A \sin \alpha = \alpha(u + u)^2 \cos \alpha + N g \sin \alpha$$

или

$$F_A = \alpha(u + u)^2 \operatorname{ctg} \alpha + Ng.$$

Решая совместно с (1), получим

$$\alpha = \operatorname{arctg} \left(\frac{u + u}{u_0} \right) = 29,3^\circ.$$



Критерии оценивания:

- Правильно составлено уравнение движения шарика вверх – 2 балла
- Правильно указаны силы, действующие на шарик, при его движении по горизонтали – 2 балла
- Правильно записано выражение для силы сопротивления, в котором верно определена скорость шарика относительно воздуха – 1 балл
- Правильно записаны проекции уравнения движения для шарика, привязанного к багажнику – 2 балла
- Получен верный ответ – 3 балла

Задача 2. «Полет на ядре»

Пушка массы $M = 200$ кг стреляет ядром массы $m_{\text{я}} = 20$ кг под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту. Заряд пороха $m_{\text{п}} = 5$ кг, его теплота сгорания $q = 3,8$ МДж/кг. Определите расстояние между пушкой и местом взрыва, если они находятся на одной горизонтали. На сколько уменьшится дальность полёта ядра, если сразу после вылета из пушки на него сядет барон Мюнхгаузен, масса которого $m = 70$ кг? КПД выстрела принять равным 10%. Считать, что пушка находится на гладкой поверхности, по которой может скользить без трения. Сопротивлением воздуха пренебречь. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с².

Возможное решение. В соответствии с законом сохранения горизонтальной составляющей импульса в системе пушка-ядро: $0 = Mu - N_{\text{я}}u_0 \cdot \cos \alpha$, где u – скорость пушки после выстрела, u_0 – начальная скорость ядра (до того как на него сел Барон Мюнхгаузен).

По условию задачи $\eta = 10\%$ энергии, выделяющейся при сгорании пороха, преобразуется в механическую энергию пушки и ядра:

$$5N_{п}q = \frac{Mu^2}{2} + \frac{N_{я}u_0^2}{2}.$$

Решая эту систему уравнений, найдем начальную скорость ядра:

$$u_0 = \sqrt{\frac{25N_{п}q}{N_{я} \left(\frac{N_{я}}{M} \cos^2 \alpha + 1 \right)}} = 420 \text{ м/с}.$$

Для ядра, выпущенного под углом к горизонту, дальность полета

$$L_0 = \frac{u_0^2 \cdot \sin 2\alpha}{g} = 15277 \text{ м}.$$

Если сразу после выстрела на ядро сядет барон Мюнхгаузен, то по закону сохранения импульса $N_{я}u_0 = (N + N_{я})u$ можно определить скорость ядра:

$$u = \frac{N_{я}u_0}{N + N_{я}} = 93 \text{ м/с}.$$

При этом дальность полета ядра уменьшится до $L = 754 \text{ м}$, следовательно с бароном Мюнхгаузеном ядро упадет на расстоянии $\Delta L = 14529 \text{ м}$ от цели.

Критерии оценивания:

- Записан закон сохранения импульса для системы пушка-ядро – 1 балл
- Записан закон сохранения энергии при выстреле – 1 балл
- Правильно определена начальная скорость ядра – 2 балла
- Верно рассчитана дальность полета ядра без барона Мюнхгаузена – 2 балла
- Правильно определена скорость ядра вместе с бароном Мюнхгаузеном – 2 балла
- Получен верный ответ – 2 балла

Задача 3. «Неземная атмосфера»

Астронавты, исследуя воздух открытой ими планеты, провели с порцией воздуха массой $m = 100 \text{ г}$ циклический процесс 1–2–3–1, состоящий из изотермического расширения 1–2, изобарического сжатия 2–3 до начального объёма и изохорического нагревания до первоначальной температуры. Оказалось, что в процессе 2–3–1 от газа отвели $Q = 1 \text{ кДж}$ тепла, а разность максимальной и минимальной температур в цикле составила $\Delta T = 30 \text{ }^\circ\text{C}$. Изобразите проведённый цикл в координатах P-V и найдите среднюю молярную массу воздуха, считая его идеальным газом. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31 \text{ Дж/моль}\cdot\text{К}$.

Возможное решение. В соответствии с I началом термодинамики теплота, отведённая процессе 2–3–1 от газа равна сумме изменения внутренней энергии между начальным и конечным состояниями и совершенной работе:

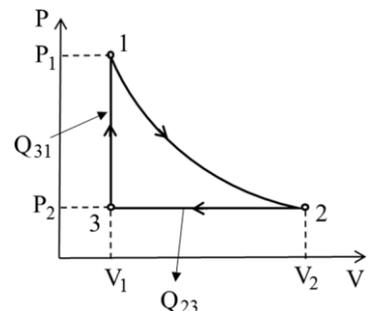
$$Q = \Delta U_{21} + A_{231}.$$

На участке 3-1 работа не совершается, а $\Delta U_{21} = 0$, т. к. $T_1 = T_2$, следовательно,

$$Q = |A_{23}| = p_2(V_2 - V_1) = \frac{N}{\mu} R(T_1 - T_3) = \frac{N}{\mu} R\Delta T.$$

Откуда

$$\mu = \frac{NR\Delta T}{Q} = 25 \frac{\text{г}}{\text{моль}}.$$



Критерии оценивания:

- Правильно построен цикл в координатах P-V – 1 балл
- Показано, что минимальная температура в цикле соответствует точке 3, а максимальная – точкам 1 и 2 – 1 балл
- Правильно применяется первое начало термодинамики к процессам 2-3 и 3-1 – 3 балла
- Показано, что изменение внутренней энергии в ходе процесса 2-3-1 или 1-2 равно нулю – 1 балл
- Правильно написано выражение для работы газа на участке 2-3 через ΔT – 2 балла
- Получен правильный числовой ответ – 2 балла

Задача 4. «Конденсатор в цепи постоянного тока»

Плоский конденсатор ёмкостью $C = 22$ пФ, резистор с сопротивлением $R = 10$ МОм и батарея с ЭДС $\varepsilon = 100$ В соединены последовательно. Расстояние между обкладками конденсатора быстро уменьшают в $n = 2$ раза. Найдите тепло Q , которое выделится после этого на резисторе. Внутренним сопротивлением батареи пренебречь.

Возможное решение. До сдвигания пластин напряжение на конденсаторе $U_1 = \varepsilon$, а заряд $q_1 = \varepsilon C$. После сдвигания пластин ёмкость конденсатора увеличилась в n раз ($C_2 = nC$), а напряжение в n раз уменьшилось ($U_2 = \varepsilon/n$). Энергия электрического поля конденсатора сразу после сдвигания пластин

$$W_1 = \frac{C_2 U_2^2}{2} = \frac{C s^2}{2n}.$$

В цепи возникнет электрический ток, который будет протекать, пока напряжение на конденсаторе снова не станет равно ε , а заряд на обкладках $q_2 = \varepsilon nC$. Энергия конденсатора после установления равновесия

$$W_2 = \frac{C_2 s^2}{2} = \frac{n C s^2}{2}.$$

За время протекания тока через батарею ЭДС пройдёт заряд $\Delta q = q_2 - q_1 = sC(n - 1)$.

Сторонние силы батареи при этом совершат работу $A_{ст} = \Delta q s = s^2 C(n - 1)$.

В соответствии с законом сохранения энергии

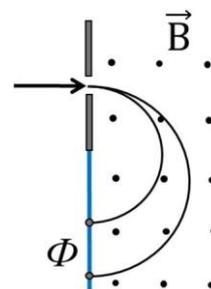
$$Q = A_{ст} - (W_2 - W_1) = \frac{s^2 C(n - 1)^2}{2n} = 55 \text{ нДж}.$$

Критерии оценивания:

- Правильно определены напряжение и заряд на конденсаторе до сдвигания пластин – 1 балл
- Правильно определены напряжение и заряд на конденсаторе сразу после сдвигания пластин – 2 балла
- Найдено изменение энергии электрического поля конденсатора – 1 балл
- Правильно определена работа источника тока – 2 балла
- Правильно записано выражение для выделившегося тепла – 1 балл
- Получен верный ответ – 3 балла

Задача 5. «Скачки напряжения»

В масс-спектрографе - устройстве для определения изотопного состава однозарядные ионы калия с атомными весами $A_1 = 39$ и $A_2 = 41$ сначала ускоряются в электрическом поле, а затем через узкую щель попадают в однородное магнитное поле, перпендикулярное к направлению их движения (рис.). В процессе опыта из-за несовершенства аппаратуры ускоряющий потенциал электрического поля меняется около среднего значения U на величину $\pm \Delta U$. С какой относительной точностью $\Delta U/U$ нужно поддерживать значение ускоряющего потенциала, чтобы пучки изотопов калия при попадании на фотопластинку Φ не перекрывались?



Возможное решение. Под действием электрического поля ионы разгоняются до скоростей

$$u = \sqrt{\frac{2qU}{m}},$$

где m – масса, а q – заряд ионов. В магнитном поле ионы под действием магнитного поля движутся по дугам окружностей радиусом

$$R = \frac{Nu}{qB} = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2mU}{q}}.$$

Ближе к щели на фотопластинку будут попадать ионы с $A_1 = 39$, дальше - с $A_2 = 41$. Перекрытие пучков возникнет, если максимальный радиус траектории ионов с малой массой сравняется с минимальным радиусом траектории ионов с большой массой, следовательно

$$\frac{1}{B} \sqrt{\frac{2N_1(U + \Delta U)}{q}} = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2N_2(U - \Delta U)}{q}}.$$

Отсюда

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{N_2 - N_1}{N_2 + N_1} = \frac{A_2 - A_1}{A_2 + A_1} = 0,025.$$

Критерии оценивания:

- Правильно описано движения зарядов в электрическом поле и получено выражение для скорости зарядов – 2 балла
- Правильно описано движение зарядов в магнитном поле и получено выражение для радиуса траектоии заряда – 2 балла
- Сформулировано условие перекрытия пучков зарядов – 2 балла
- Получено правильное уравнение, позволяющее получить правильный ответ – 2 балл
- Получен верный ответ – 2 балла