

## Школьный этап олимпиады по физике.

### 11 класс

#### 1. Баллистический маятник.

В ящик массой  $M$ , подвешенный на тонкой нити, попадает пуля массой  $m$ , летевшая горизонтально со скоростью  $v_0$ , и застревает в нем. На какую высоту  $H$  поднимается ящик после попадания в него пули?

#### 2. Баллистический маятник.

По условию первой задачи определите количество теплоты, выделившееся при ударе пули о ящик. Какую часть  $\eta$  составляет это количество теплоты от первоначальной энергии пули?

#### 3. Пузырек воздуха.

На какой глубине  $h$  находился пузырек воздуха, если в процессе всплытия на поверхность воды, его радиус успел увеличиться в  $n = 2$  раза? Атмосферное давление  $100$  кПа, плотность воды  $1000$  кг/м<sup>3</sup>. Температуру воды считать постоянной.

#### 4. Аккумулятор.

Найдите ЭДС и внутреннее сопротивление аккумулятора, если при силе тока  $15$  А он отдает во внешнюю цепь мощность  $135$  Вт, а при токе  $6$  А – мощность  $64,6$  Вт.

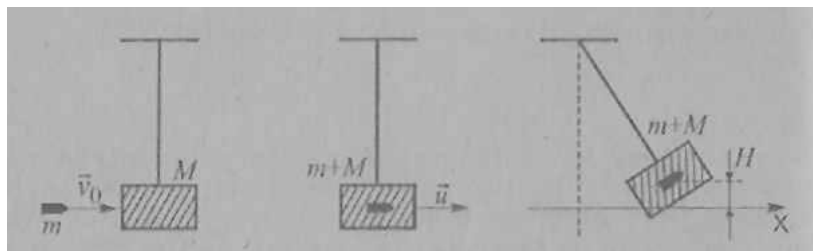
#### 5. Шарик и пластина.

Непроводящая отрицательно заряженная пластина, создающая вертикально направленное однородное электрическое поле напряженностью  $10^4$  В/м, укреплена горизонтально. На нее с высоты  $10$  см падает шарик массой  $20$  г, имеющий положительный заряд  $10^{-5}$  Кл. Какой импульс шарик передает пластине при абсолютно упругом ударе?

## Ответы, указания, решения к олимпиадным задачам

1. В ящик массой  $M$ , подвешенный на тонкой нити, попадает пуля массой  $m$ , летевшая горизонтально со скоростью  $v_0$ , и застревает в нем. На какую высоту  $H$  поднимается ящик после попадания в него пули?

*Решение.*



- 1) Рассмотрим систему: ящик-нить-пуля. Эта система является замкнутой, но в ней внутренняя неконсервативная сила трения пули о ящик, работа которой не равна нулю, следовательно, механическая энергия системы не сохраняется.

Выделим три состояния системы:

- ✓ Первое – пуля движется со скоростью  $v_0$ , ящик покоится.
- ✓ Второе - пуля застряла в ящике, ящик вместе с ней приобретает некоторую скорость  $u$ ; нить вертикальна, т.к. время соударения мало.
- ✓ Третье – ящик с пулей внутри поднялся на высоту  $H$ ; его скорость равна нулю.

- 2) При переходе системы из 1 состояния во 2 ее механическая энергия не сохраняется.

Поэтому во втором состоянии применяем закон сохранения импульса в проекции на ось

$$X: p_{до} = p_{после}; \quad m v_0 = (M + m) u \Rightarrow u = \frac{m v_0}{M + m}.$$

- 3) Закон сохранения энергии при переходе системы из второго в третье состояние:

$$\frac{(M + m) u^2}{2} = (m + M) g H.$$

- 4) Решая систему уравнений, находим искомую величину

$$H = \frac{u^2}{2g} = \left( \frac{m}{M + m} \right)^2 \frac{v_0^2}{2g}.$$

*Критерии оценивания:*

- ✓ Выделение трех состояний системы, наличие рисунка к каждому состоянию – 2 балла
- ✓ Запись закона сохранения импульса в проекции на ось  $X$ , решение уравнения – 2 балла
- ✓ Запись закона сохранения механической энергии – 2 балла
- ✓ Решение системы двух уравнений – 3 балла
- ✓ Вывод единиц измерения – 1 балл

2. По условию первой задачи определите количество теплоты, выделившееся при ударе пули о ящик. Какую часть  $\eta$  составляет это количество теплоты от первоначальной энергии пули?

*Решение.*

- 1) При переходе указанной в задаче №1 системы из первого состояния во второе выделяется количество теплоты  $Q$ , равное со знаком минус работе сил трения между пулей и ящиком:  $Q = -A_{тр}$ .

2) Согласно закону изменения механической энергии:  $E_k - E_n = A_{тр} = -Q$ .

Отсюда искомое количество теплоты:  $Q = E_n - E_k$ .

3) Начальная механическая энергия системы:  $E_n = \frac{m v_0^2}{2}$ , конечная -

$$E_k = \frac{(M + m) u^2}{2} = \frac{m^2 v_0^2}{2(M + m)},$$

4) Количество теплоты:  $Q = \frac{m v_0^2}{2} - \frac{m^2 v_0^2}{2(M + m)} = \frac{M m v_0^2}{2(M + m)}$ .

5) Определим ту часть механической энергии пули (т.е. первоначальной энергии

системы), которая уходит на нагрев пули и ящика:  $\eta = \frac{Q}{E_n} = \frac{M}{M + m}$ .

*Критерии оценивания:*

- ✓ Составление формулы количества теплоты, равному со знаком минус работе силы трения между пулей и ящиком – 2 балла
- ✓ Запись формулы количества теплоты, выделившегося при ударе пули о ящик в общем виде – 3 балла
- ✓ Решение уравнения количества теплоты, выделившегося при ударе пули о ящик – 4 балла
- ✓ Нахождение части механической энергии пули, которая идет на нагрев пули и ящика – 1 балл

**3.** На какой глубине  $h$  находился пузырек воздуха, если в процессе его всплытия на поверхность воды его радиус успел увеличиться в  $n = 2$  раза? Атмосферное давление 100 кПа, плотность воды  $1000 \text{ кг/м}^3$ . Температуру воды считать постоянной.

*Решение.*

1) Считаем, что температура воздуха внутри пузырька не меняется, т.е. он всплывает достаточно медленно, тогда справедлив закон Бойля-Мариотта:  $p_1 V_1 = p_2 V_2$ .

2) Давление воздуха внутри пузырька на глубине  $h$  равно сумме атмосферного и гидростатического давлений:  $p_1 = p + \rho g h$ .

3) Давление на поверхности воды равно атмосферному давлению:  $p_2 = p$ .

4) Начальный объем пузырька:  $V_1 = \frac{4}{3} \pi R_1^3$ . Конечный -  $V_2 = \frac{4}{3} \pi R_2^3$ .

5) Подставим, получим:  $(p + \rho g h) \frac{4}{3} \pi R_1^3 = p \cdot \frac{4}{3} \pi R_2^3$ .

6) С учетом условия  $\frac{R_2}{R_1} = n = 2$ , получим:  $p + \rho g h = p \cdot n^3$ .

7) Отсюда искомая глубина:  $h = \frac{p(n^3 - 1)}{\rho g} = 70 \text{ м}$ .

*Критерии оценивания:*

- ✓ Запись уравнения закона Бойля-Мариотта – 1 балл
- ✓ Запись уравнения давления воздуха на глубине  $h$  – 1 балл
- ✓ Запись уравнения давления воздуха на поверхности воды – 1 балл
- ✓ Формулы начального и конечного объемов пузырьков – 2 балла

✓ Вывод расчетной формулы в общем виде – 4 балла

✓ Математические расчеты – 1 балл

4. Найдите ЭДС и внутреннее сопротивление аккумулятора, если при силе тока 15А он отдает во внешнюю цепь мощность 135 Вт, а при токе 6А – мощность 64,6 Вт.

*Решение.*

1) Воспользуемся соотношением для полезной мощности:  $P = I\varepsilon - I^2r$ , где  $I\varepsilon$  - полная мощность, а  $I^2r$  - потери мощности в источнике.

2) Тогда имеем систему уравнений: 
$$\begin{cases} P_1 = I_1\varepsilon - I_1^2r \\ P_2 = I_2\varepsilon - I_2^2r \end{cases}$$

3) Решая систему уравнений, получаем: 
$$\varepsilon = \frac{P_2I_1^2 - P_1I_2^2}{I_1I_2(I_1 - I_2)} = 12\text{В}.$$

4) Умножим (1) на  $I_2$ , а (2) на  $I_1$ , а затем вычтем и получим:

$$r = \frac{P_2I_1 - P_1I_2}{I_1I_2(I_1 - I_2)} = 0,2\text{Ом}.$$

*Критерии оценивания:*

- ✓ Уравнение для полезной мощности – 1 балл
- ✓ Составление системы уравнений – 2 балла
- ✓ Решение системы уравнений, вывод формулы в общем виде – 3 балла
- ✓ Нахождение внутреннего сопротивления источника тока – 3 балла
- ✓ Математические вычисления – 1 балл

5. Непроводящая отрицательно заряженная пластина, создающая вертикально направленное однородное электрическое поле напряженностью  $10^4$  В/м, укреплена горизонтально. На нее с высоты 10 см падает шарик массой 20 г, имеющий положительный заряд  $10^{-5}$  Кл. Какой импульс шарик передает пластине при абсолютно упругом ударе?

*Решение.*

1) Поскольку пластина заряжена отрицательно, напряженность поля над ней направлена вертикально вниз, поэтому при падении шарика на него действуют две сонаправленные силы: сила тяжести  $mg$  и электрическая  $qE$ .

2) Перемещая шарик на расстояние  $h$ , они совершают работу:  $A = (mg + qE)h$ , что по теореме о кинетической энергии приводит к приобретению конечной скорости  $v$ :  $A = \Delta E_k$ .

3)  $(mg + qE)h = \frac{mv^2}{2}$ , и  $v = \sqrt{\frac{2(mg + qE)h}{m}}$ .

4) При абсолютно упругом ударе скорость шарика не изменится по модулю, но изменится по направлению на противоположное, что соответствует изменению импульса, по модулю равного:  $|\Delta p| = 2mv$ .

5) Такой импульс он и передаст пластине:  $\Delta p = 2\sqrt{2m(mg + qE)h} = 0,07 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$ .

*Критерии оценивания:*

- ✓ Запись второго закона Ньютона в векторной форме – 1 балл
- ✓ Запись формулы работы сил – 1 балл

- ✓ *Запись теоремы о кинетической энергии - 1 балл*
- ✓ *Решение системы уравнений – 3 балла*

- ✓ *Нахождение импульса, переданного телом, вывод формулы в общем виде – 2 балла*
- ✓ *Вывод единиц измерения – 1 балл*
- ✓ *Математические вычисления – 1 балл*