



«

»

2013-2014

## Задача 1

Альфа-частица, пройдя ускоряющую разность потенциалов  $U$ , влетает в однородное магнитное поле с индукцией  $B$ . Толщина области поля  $d$ . Определите, на сколько изменится ее импульс за время пролета через область поля. Считать, что толщина  $d$  достаточно мала. Скорость направлена перпендикулярно к границе поля. Заряд и масса альфа-частицы известны.

Дано:

 $U$  $B$  $d$  $q$  $m$  \_\_\_\_\_ $\Delta p - ?$ 

Решение:

Напишем закон сохранения энергии для движения заряженной частицы в электрическом поле:

$$E_{\text{кин. кон.}} - E_{\text{кин. нач.}} = qU$$

и, учитывая, что вначале частица покоилась, найдем ее скорость перед тем как она влетит в магнитное поле:

$$v = \sqrt{\frac{2qU}{m}}$$

Поскольку скорость частицы перпендикулярна вектору магнитной индукции, частица под действием силы Лоренца начнет двигаться по дуге окружности радиуса, определяемого из уравнения второго закона Ньютона:

$$mv^2/R = qvB.$$

Отсюда легко найти радиус окружности. При вылете из области магнитного поля скорость частицы перпендикулярна радиусу, а значит составляет с первоначальным направлением скорости такой же угол, как радиус в момент вылета с границей поля. Синус этого угла легко найти:

$$\sin \alpha = d/R$$

Для того чтобы найти изменение импульса надо помнить, что импульс величина векторная и поскольку значение скорости по величине не меняется, то воспользовавшись законом вычитания двух векторов, получим

$$\Delta p = 2p \sin(\alpha/2),$$

где  $p = mv$ .

Подставляя в это выражение значения угла, радиуса и скорости, которые вычислены ранее, получим искомый ответ:

$$\Delta p = 2\sqrt{2qUm} \cdot \sin(\alpha/2), \text{ где } \alpha = \arcsin\left(dB \sqrt{\frac{q}{2mU}}\right).$$

**Задача 2.**

На горизонтальной пружине укреплено тело массой  $M = 10$  кг, лежащее на абсолютно гладком столе. В это тело попадает и застревает в нем пуля массой  $m = 10$  г, летящая со скоростью  $v = 500$  м/с, направленной вдоль оси пружины. Тело вместе с застрявшей в ней пулей начинает колебаться с амплитудой  $A = 10$  см. Найдите период колебаний.

*Дано:*

$M = 10 \text{ кг}$

$m = 10 \text{ г}$

$v = 500 \text{ м/с}$

$A = 10 \text{ см}$

 $T = ?$ *Решение:*

Для нахождения периода колебаний можно использовать выражение для периода колебаний тела массы  $(M + m)$  на пружине жесткостью  $k$ :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{M+m}{k}}$$

Между телами происходит абсолютно неупругий удар, поэтому закон сохранения импульса позволит найти скорость образовавшегося тела:

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

При этом пружина сжимается и кинетическая энергия тела массы  $(M+m)$  переходит в потенциальную энергию сжатия пружины:

$$\frac{(M+m) \cdot u^2}{2} = \frac{kA^2}{2},$$

что позволяет найти значение жесткости пружины.

Решая систему трех уравнений, получим выражение периода  $T$  через данные задачи:

$$T = \frac{2\pi(M+m) \cdot A}{mv}$$

Подставим числовые значения и получим:

$$T = \frac{2 \cdot 3,14(10+0,01) \cdot 0,1}{0,01 \cdot 500} = 1,3 \text{ с.}$$

*Ответ:*  $T = 1,3$  с.

**Задача 3.**

Два однородных шарика одинакового объема прикреплены на нитях к концам невесомого стержня длины  $L$ . Если стержень подвесить на расстоянии  $a = L/3$  от одного из шаров, то стержень будет находиться в горизонтальном положении. Шарики погружают в жидкость, плотность которой вдвое меньше плотности более легкого шарика. Насколько надо передвинуть точку подвеса стержня, чтобы он остался в горизонтальном положении?

*Дано:* $L$  $a = L/3$  $V_1 = V_2 = V$  $x = ?$ *Решение:*

На стержень действуют две силы натяжения нитей, причем относительно точки подвеса их суммарный момент равен нулю:

$$T_1 L/3 - T_2 2L/3 = 0, \quad (1)$$

где  $T_1 = m_1 g = \rho_1 g V$  и  $T_2 = m_2 g = \rho_2 g V$ .

После погружения шаров в жидкость аналогичное уравнение имеет вид:

$$T_3(L/3 - x) - T_4(2L/3 + x) = 0, \quad (2)$$

где  $T_3 = m_1 g - F = \rho_1 g V - \rho_{ж} g V$  и  $T_4 = m_2 g - F = \rho_2 g V - \rho_{ж} g V$ .

$F$  - сила Архимеда, одинаковая для обоих шаров в силу их равного объема.

Из уравнения (1) находим, что  $\rho_1 = 2\rho_2$ , а из условия задачи  $\rho_{ж} = \rho_2/2$ . Из уравнения (2) получаем выражение расстояния  $x$  через данные задачи:

$$\begin{aligned} (2\rho_2 - \frac{\rho_2}{2})gV \left(\frac{L}{3} - x\right) - \left(\rho_2 - \frac{\rho_2}{2}\right)gV \left(\frac{2L}{3} + x\right) &= 0 \\ \frac{3\rho_2}{2} \left(\frac{L}{3} - x\right) &= \frac{\rho_2}{2} \left(\frac{2L}{3} + x\right) \end{aligned}$$

*Ответ:*  $x = \frac{L}{12}$

**Задача 4.**

Источник тока подзаряжается от подзарядного устройства с напряжением  $U = 30$  В. КПД подзарядного устройства  $\eta = 75$  %. После подзарядки элемент замыкают на резистор сопротивлением  $R = 14$  Ом. Какое количество теплоты выделится на резисторе за одну секунду? Внутреннее сопротивление источника  $r = 1,0$  Ом.

*Дано:* $U = 30$  В $\eta = 75$  % $R = 14$  Ом $r = 1,0$  Ом*Решение:*

Согласно закону Джоуля – Ленца количество теплоты, ежесекундно выделяемое на резисторе

$$P_{\text{тепл}} = I^2 R \quad (1)$$

$P_{\text{тепл}} - ?$ 

Силу тока, текущего через резистор определим по закону Ома для полной цепи

$$I = \frac{\varepsilon}{R+r} \quad (2)$$

ЭДС источника, подзаряженного от подзарядного устройства равна

$$\varepsilon = \eta U \quad (3)$$

Подставляя выражения (2), (3) в равенство (1), найдем

$$P_{\text{тепл}} = \left(\frac{\eta U}{R+r}\right)^2 \cdot R$$

Подставив сюда численные значения величин и вычислив, получим

$$P_{\text{тепл}} = \left(\frac{0,75 \cdot 30}{14+1}\right)^2 \cdot 14 = 32 \text{ Вт}$$

Ответ:  $P_{\text{тепл}} = 32 \text{ Вт}$ .

### Задача 5.

В середину горизонтально расположенного воздушного конденсатора с площадью

обкладок  $S$  и расстоянием между ними  $d$ , заряженного от источника с напряжением  $U_0$ , помещают заряженную капельку массы  $m$ . Капелька начинает падать с ускорением  $g/2$ . Какое напряжение установится в конденсаторе после того, как капелька достигнет нижней пластины? Верхняя пластина конденсатора заземлена. Сопротивлением воздуха пренебречь.

Дано:

$S$

$d$

$m$

$U_0$

$a = g/2$

---

$U - ?$

Решение:

На заряженную капельку действуют две силы – сила тяжести  $mg$ , направленная отвесно вниз и сила Кулона  $qE$ , направленная вертикально вверх. По второму закону Ньютона

$$mg - qE = mg/2, \quad (1)$$

где  $E$  – напряженность поля конденсатора. В нашем случае  $E = \frac{U_0}{d}$  и, следовательно, с учетом равенства (1) заряд капельки

$$q = \frac{mgd}{2U_0}$$

Именно на эту величину изменится заряд конденсатора после достижения капелькой нижней пластины. В результате в конденсаторе установится напряжение

$$U = U_0 + \frac{q}{c}, \quad (2)$$

где  $c = \frac{\varepsilon_0 S}{d}$  – емкость воздушного конденсатора.

Подставив в формулу (2) полученные выражения  $q$  и  $c$ , найдем  $U$ :

$$U = U_0 + \frac{mgd^2}{2\varepsilon_0 U_0 S}$$

$$\text{Ответ: } U = U_0 + \frac{mgd^2}{2\varepsilon_0 U_0 S}.$$

**Задача 6.**

Если осветить катод фотоэлемента сначала светом с длиной волны  $\lambda_1 = 0,40$  мкм, а затем - светом с длиной волны  $\lambda_2 = 0,50$  мкм, то окажется, что максимальные скорости фотоэлектронов отличаются в  $n = 2$  раза. Определите работу выхода из материала катода

(ответ дать в электрон-вольтах).

Дано:

Решение:

$$\lambda_1 = 0,4 \text{ мкм}$$

Согласно уравнению Эйнштейна

$$\lambda_2 = 0,5 \text{ мкм}$$

$$\frac{hc}{\lambda_1} = A + \frac{mv_1^2}{2} \quad (1) \quad \text{и} \quad \frac{hc}{\lambda_2} = A + \frac{mv_2^2}{2} \quad (2)$$

$$\frac{n = 2}{\text{-----}}$$

$$A = ?$$

Так как  $\frac{hc}{\lambda_1} > \frac{hc}{\lambda_2}$  из условия задачи следует, что  $v_1 = nv_2$  (3).

Решая систему трех уравнений, получаем выражение работы выхода  $A$  через данные задачи:

$$A = \frac{hc(n^2\lambda_1 - \lambda_2)}{(n^2 - 1)\lambda_1 \cdot \lambda_2}$$

Подставив числовые значения величин и выполнив вычисления, получим

$$A = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 10^{-6}(1,6 - 0,5)}{3 \cdot 0,4 \cdot 0,5 \cdot 10^{-12}} = 3,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 2,2 \text{ эВ}.$$

Ответ:  $A = 2,2$  эВ.