

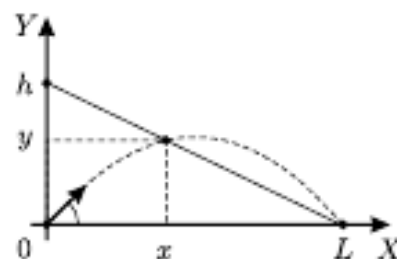
**Муниципальный этап всероссийской олимпиады школьников  
по физике**

**2020-2021 учебный год**

**11 класс**

**Задача 1.** Небольшая лампочка освещает вертикальную стену. Проходящий вдоль стены хулиган швырнул в лампочку камень под углом  $45^\circ$  к горизонту и попал в нее. Найти закон движения  $h(t)$  тени от камня по стене, считая, что лампочка и точка броска находятся на одной и той же высоте  $h=0$ , а в момент броска хулиган находился на расстоянии  $L$  от лампочки.

**Возможное решение.** Поместим начало координат в точку бросания камня, направим ось  $X$  в сторону лампочки, а ось  $Y$  вертикально вверх. Так как камень бросается под углом  $45^\circ$  к горизонту, то горизонтальная составляющая начальной скорости камня равна вертикальной составляющей — обозначим их через  $v$ .



В произвольный момент времени  $t$  камень имеет координаты  $x = vt$ ,  
 $y = vt - \frac{gt^2}{2}$ .

Приравнивая координату  $y$  к нулю, найдем время  $T$  полета камня  $T = \frac{2v}{g}$ . Так

как хулиган попал в лампочку, то  $L = vT = 2v^2/g$  (1).

С учетом этих соотношений для координат тени камня на стене в момент времени  $t$  имеем  $h(t) = Lt \tan \alpha = L \frac{y}{L-x} = t \sqrt{\frac{gL}{2}}$ , то есть тень камня движется по стене равномерно со скоростью  $v = \sqrt{\frac{gL}{2}}$

**Критерии оценивания:**

*Написаны кинематические уравнения движения камня – 2 балла*

*Получено время движения камня – 1 балл*

*Получена формула (1) – 1 балл*

*Получено выражения для траектории тени – 4 балла*

*Сделан вывод о характере движения тени по стене – 2 балла*

**Задача 2.** Деревянный шарик, опущенный под воду, всплывает в установившемся режиме со скоростью  $v_1$ , а точно такой же по размеру пластмассовый тонет со скоростью  $v_2$ . Куда и с какой скоростью будут двигаться в воде эти шарики, если их соединить ниткой? Сила сопротивления пропорциональна скорости, гидродинамическим взаимодействием шариков можно пренебречь. Считайте, что на движущийся шарик действует такая же

сила Архимеда, как и на покоящийся.

### **Возможное решение.**

При движении каждого шарика в установившемся режиме разность величин действующих на него силы Архимеда и силы тяжести равна силе сопротивления движению  $\alpha v$ , где  $v$  — скорость соответствующего шарика, а  $\alpha$  — коэффициент пропорциональности, одинаковый для обоих шариков. Поэтому на удерживаемые неподвижно шариками со стороны воды и Земли в вертикальном направлении действуют силы  $\alpha v_1$  и  $-\alpha v_2$ , а при движении соединённых ниткой шариков в установившемся режиме их скорость  $v$  может быть найдена из условия:  $\alpha v_1 - \alpha v_2 = 2\alpha v$  (1). Отсюда  $v = (v_1 - v_2)/2$ . Если  $v_1 > v_2$ , то шариками всплывают, а если  $v_1 < v_2$ , то тонут. При  $v_1 = v_2$  они находятся в равновесии, то есть  $v = 0$ .

#### **Критерии оценивания:**

*Сделано предположение о направлении действующих на шариками сил – 3 балла*

*Получена формула (1) – 3 балл*

*Сделан анализ формулы (1) с учетом соотношения скоростей – 4 балла*

**Задача 3.** Оцените скорость роста толщины слоя серебра при напылении, если атомы серебра оказывают при падении на подложку давление  $p = 0,1$  Па. Средняя энергия атома серебра  $E = 10^{-19}$  Дж, плотность серебра  $\rho = 10,5$  г/см<sup>3</sup>, молярная масса  $\mu = 108$  г/моль.

**Возможное решение.** Пусть на единицу площади подложки в единицу времени попадает  $n$  атомов серебра. Для оценки примем, что все атомы летят перпендикулярно подложке с одинаковой скоростью  $v$ . Удары атомов о подложку можно считать абсолютно неупругими (серебро осаждается). Тогда давление  $p$ , оказываемое на подложку, равно  $p = n m v$ , где  $m = \mu/N_A$  — масса атома серебра,  $N_A$  — число Авогадро. Скорость атома можно оценить при помощи формулы:  $v = \sqrt{2E/m}$  (1).

Пусть за время  $\Delta t$  на участок подложки площадью  $S$  падает  $N$  атомов, и при этом осаждается масса  $M$  серебра. Тогда объём осадившегося слоя равен  $\Delta V = \frac{M}{\rho} = \frac{mN}{\rho}$ , а его толщина равна  $\Delta x = \frac{\Delta V}{S} = \frac{mN}{\rho S}$  (2). Учитывая, что  $n = \frac{N}{S\Delta t}$ , для скорости роста толщины слоя серебра получим:

$$u = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{m}{\rho} \cdot \frac{N}{S\Delta t} = \frac{nm}{\rho} = \frac{p}{\rho v} = \frac{p}{\rho} \sqrt{\frac{\mu}{2EN_A}} \approx 9 \cdot 10^{-9} \text{ м/с.}$$

#### **Критерии оценивания:**

*Получено выражение для скорости атомов серебра (1) – 2 балла*

*Получено выражение для толщины слоя (2) – 2 балла*

*Найдено выражение для скорости роста покрытия – 4 балла*

*Получено правильное числовое значение – 2 балла*

**Задача 4.** Лампочка, присоединённая к батарее, горит три часа, после чего батарея полностью разряжается. Сделали точную копию этой батареи вдвое большего размера из тех же материалов. Сколько времени будет гореть та же лампочка, подключённая к такой копии? Внутреннее сопротивление батареи намного меньше сопротивления лампочки.

**Возможное решение.** Поскольку электродвижущая сила химического источника тока определяется только его химическим составом, ЭДС копии будет равна ЭДС батареи. Пусть эта ЭДС равна  $E$ , сопротивление лампочки равно  $R$ , а внутреннее сопротивление источника  $r$ . Тогда полная мощность, выделяющаяся в цепи батареи, равна  $N_1 = \frac{E^2}{R + r_1}$ , а в цепи копии

$$N_2 = \frac{E^2}{R + r_2}. \text{ Так как } r_1 \ll R \text{ и, следовательно, } r_2 \ll R, \text{ то } N_1 \approx N_2 \approx E^2/R.$$

Химический источник совершает работу, расходуя запасённую в нём энергию химических связей молекул. По сравнению с батареей в её копии вдвое большего размера заключено в  $2^3 = 8$  раз больше реагентов, поэтому при такой же мощности она сможет совершить во столько же раз большую работу. Это означает, что лампочка, подключённая к копии, будет гореть 24 часа.

**Критерии оценивания:**

*Найдено выражение для мощности батареи – 2 балл*

*Выполнена оценка сопротивлений лампочки и элемента ЭДС – 2 балла*

*Сделан вывод о равенстве мощностей элементов – 2 балла*

*Сделан вывод о соотношении времени и объема – 2 балла*

*Получен итоговый ответ – 2 балла*

**Задача 5.** Недавние исследования показали, что в океане свойства воды сильно изменяются с глубиной. Например, в северных широтах скорость звука возрастает с глубиной по закону  $c(z) = c_0(1 + az)$ , где  $c_0$  — скорость звука у поверхности воды,  $z$  — глубина,  $a$  — постоянная величина. На какую максимальную глубину проникнет в такой среде звук, излученный направленным излучателем вблизи поверхности воды под углом  $\alpha$  к вертикали? Закон преломления звуковых волн полностью аналогичен закону преломления света.

**Возможное решение.** Мысленно разобьём океан на тонкие горизонтальные слои так, чтобы скорость звука в пределах одного слоя можно было считать постоянной. Закон преломления «звуковых лучей» при переходе из одного слоя в другой слой, как и в оптике, имеет вид:  $\frac{\sin(\varphi_1)}{\sin(\varphi_2)} = \frac{c_1}{c_2}$ , где  $c_1$  и  $c_2$  —

скорости звука в соседних слоях,  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  — углы, под которыми звук выходит из первого слоя и входит во второй. Далее, для следующей пары соседних слоёв:  $\frac{\sin(\varphi_2)}{\sin(\varphi_3)} = \frac{c_2}{c_3}$ , и т.д. Перемножая такие равенства, записанные для  $n$

слоев, получаем  $\frac{\sin(\varphi_1)}{\sin(\varphi_n)} = \frac{c_1}{c_n}$  (1).

Пусть звук проникает в океан на максимальную глубину  $H$ . Тогда  $\frac{\sin(\alpha)}{\sin(\varphi(H))} = \frac{c_0}{c(H)}$ , где  $\varphi(H)$  — угол, под которым звук входит в самый глубоко

лежащий слой. Но  $\varphi(H) = \pi/2$ . Значит,  $\sin(\alpha) = \frac{c_0}{c_0(1+aH)}$ , откуда  $H = \frac{1 - \sin(\alpha)}{a \sin(\alpha)}$

**Критерии оценивания:**

*Записан закон преломления для соседних тонких слоев – 2 балла*

*Получено выражение (1), связывающее начальный и конечный слои – 4 балла*

*Сделан вывод предельном угле вхождения луча в слой – 2 балла*

*Получена итоговая формула – 2 балла*