

**ЗАДАНИЕ ПО ФИЗИКЕ**  
**ВАРИАНТ 27111 для 11-го класса**

1. В лаборатории «Ультратонкие пленки» кафедры Общей физики и ядерного синтеза НИУ «МЭИ» проводятся исследования структуры и состава тонких (толщиной до 10 нм) металлических пленок методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Рентгеновское излучение, попадая на пленку, вызывает эмиссию электронов, энергия которых регистрируется детектором и анализируется. Для получения качественных результатов исследуемая пленка всегда заземляется. Но однажды эксперимент был проведен с незаземленной пленкой. В начале эксперимента были зарегистрированы электроны с энергией  $E_0$ . Как будет изменяться эта энергия при дальнейшем непрерывном облучении пленки рентгеновским излучением со строго постоянной длиной волны?

**Решение**

Поскольку эмиссия электронов означает, что из пленки вылетают отрицательно заряженные частицы, то сама пленка в процессе эмиссии будет заряжаться положительно. Именно для нейтрализации образующегося положительного заряда пленки необходимо заземление. При отсутствии заземления увеличивающийся положительный заряд пленки будет создавать вблизи неё электрическое поле, которое будет тормозить вылетающие электроны. В связи с этим при дальнейшем непрерывном облучении пленки рентгеновским излучением регистрируемая энергия электронов будет уменьшаться. Уменьшение регистрируемой энергии со временем будет всё сильнее, т.к. будет увеличиваться напряженность тормозящего электрического поля.

2. В сосуде находится смесь атомарного азота и молекулярного водорода. При температуре  $T$  давление в сосуде равно  $p$ . При температуре  $2T$ , когда оба газа полностью диссоциированы, давление равно  $3p$ . Определите отношение масс азота и водорода в смеси. Молярная масса молекулярного водорода  $M_1=0,002$  кг/моль, молярная масса молекулярного азота  $M_2 = 0,028$  кг/моль.

**Решение.**

Азот и водород – двухатомные газы, поэтому при диссоциации возникает вдвое больше частиц. Пусть количества недиссоциированных азота и водорода равны  $\nu_1$  и  $\nu_2$ . Тогда при температуре  $T$  полное количество вещества равно  $2\nu_1 + \nu_2$ , а при температуре  $2T - 2\nu_1 + 2\nu_2$ . Согласно уравнению Менделеева-Клапейрона

$$pV = (2\nu_1 + \nu_2)RT, \quad (3p)V = (2\nu_1 + 2\nu_2)R(2T).$$

Поделив одно уравнение на другое, находим отношение

$$\frac{\nu_1}{\nu_2} = \frac{1}{2}.$$

Масса же газа есть  $m = \nu M$ , поэтому отношение масс

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{\nu_1 M_1}{\nu_2 M_2} = \frac{1}{2} \frac{28}{2} = 7.$$

3. Две одинаковые заряженные бусинки могут свободно скользить по двум параллельным нитям. В начальный момент времени одна бусинка покоилась, а вторая двигалась из бесконечности по направлению к первой. Какова должна быть минимальная начальная скорость второй бусинки, чтобы в процессе своего движения она обогнала первую? Массы бусинок  $m$ , заряды  $q$ , расстояние между нитями  $a$ .

**Решение.**

Условие минимальности начальной скорости второй бусинки требует, чтобы обгон происходил с минимальной относительной скорости бусинок. Поэтому положим скорость обеих бусинок в момент обгона равной  $u$ . В момент обгона по ЗСИ и ЗСЭ имеем:

$$\begin{cases} mv = 2mu \\ \frac{mv^2}{2} = 2 \cdot \frac{mu^2}{2} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q^2}{a} \\ \frac{mv^2}{2} - \frac{mv^2}{4} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q^2}{a} \end{cases}$$

**Ответ:**  $v = \sqrt{\frac{q}{\pi\epsilon_0 ma}}$

4. Московский энергетический институт расположен в Лефортово – красивом старинном районе Москвы. Недалеко от МЭИ находится Храм святых апостолов Петра и Павла, построенный в 1711 году. Известно, что Петр I собственноручно принимал участие в отделке южного входа этого храма. Самый главный и большой колокол весит 5 тонн. Колокольный звон слышен у входа в главный учебный корпус на пределе порога слышимости на низких частотах –  $2 \cdot 10^{-6}$  Вт/м<sup>2</sup>. Определите мощность большого колокола как точечного источника звука, если расстояние от колокольной до входа в НИУ «МЭИ» 1,5 км. Условия распространения звука считать идеальными.

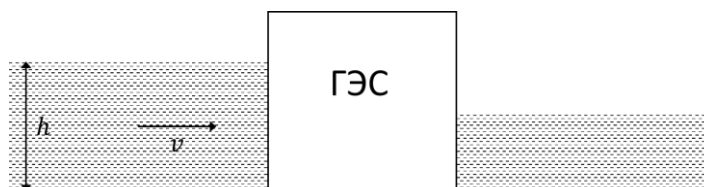
**Решение.**

Интенсивность звука, соответствующая порогу слышимости – это минимальная плотность потока энергии звуковой волны  $I_{min}$ , воспринимаемая человеком.

Обозначим  $W$  энергию, излученную колоколом за время  $t$ , а  $R$  – расстояние от колокольной до учебного корпуса.

Тогда, поскольку  $I_{min} = \frac{W}{St} = \frac{W}{4\pi R^2 t}$ , то  $P = \frac{W}{t} = 4\pi R^2 I_{min} = 56$  Вт.

5. На малых реках иногда устанавливают бесплотинные гидроэлектростанции, которые представляют собой ряд водяных колес или турбин, опущенных в воду и соединенных с генератором электрического тока. Такая электростанция не изменяет параметров потока выше по течению, но, безусловно, меняет параметры потока ниже по течению. Определите максимальную теоретическую мощность электростанции, если русло реки имеет постоянную ширину  $L$ , постоянную глубину и прямоугольную форму. Скорость течения реки перед электростанцией равна  $v$ , а глубина воды  $h$ . Воду считать несжимаемой жидкостью.



**Решение.**

Теоретическая мощность электростанции (в пренебрежении потерь на трение в жидкости, в трансмиссии и не 100%-ом КПД генератора) равна разности потоков энергии в реке выше и ниже по течению. Поток энергии в реке складывается из двух частей. Первая представляет собой просто перенос кинетической и потенциальной энергии воды потоком и равна  $\left(\frac{\rho v^2}{2} + \rho g \frac{h}{2}\right) v(hL)$ . Вторая представляет собой работу сил давления воды в единицу времени

Олимпиада школьников «Надежда энергетики». Заключительный этап.

$\frac{\rho gh}{2}v(hL)$ . Итого получаем  $\left(\frac{\rho v^2}{2} + \rho gh\right)v(hL)$ . Временно обозначая величины выше по течению индексом 1, а ниже по течению – индексом 2, запишем теоретическую мощность

$$W = \left(\frac{\rho v_1^2}{2} + \rho gh_1\right)v_1(h_1L) - \left(\frac{\rho v_2^2}{2} + \rho gh_2\right)v_2(h_2L)$$

При этом, в силу несжимаемости воды, должно выполняться условие равенства потоков выше и ниже по течению

$$\rho v_1(h_1L) = \rho v_2(h_2L)$$

Таким образом, из двух характеристик потока ниже по течению,  $v_2$  и  $h_2$ , только одна является независимой. Выражая, например,  $v_2$  через  $h_2$ , получаем мощность

$$\begin{aligned} W &= \left(\frac{\rho v_1^2}{2} + \rho gh_1\right)v_1(h_1L) - \left(\frac{\rho}{2}\left(\frac{v_1 h_1}{h_2}\right)^2 + \rho gh_2\right)\frac{v_1 h_1}{h_2}(h_2L) \\ &= \rho gh_1^2 v_1 L \left(1 + \frac{F_1}{2} - \left(\frac{F_1 h_1^2}{2 h_2^2} + \frac{h_2}{h_1}\right)\right) \end{aligned}$$

Здесь введено безразмерное отношение  $F_1 = \frac{v_1^2}{gh_1}$ , называемое числом Фруда, равное отношению кинетической и потенциальной энергий воды в верхнем течении. Мощность, как нетрудно убедиться, имеет максимум при  $h_2 = h_1 F_1^{1/3}$  (при этом число Фруда в нижнем течении  $F_2 = \frac{v_2^2}{gh_2} = 1$ ).

Таким образом

$$W_{\max} = \rho gh_1^2 v_1 L \left(1 + \frac{F_1}{2} - \frac{3}{2} F_1^{1/3}\right), \text{ где } F_1 = \frac{v_1^2}{gh_1}.$$