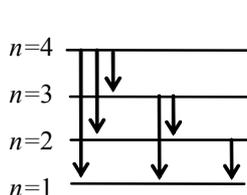


**Материалы заданий отборочного этапа Олимпиады школьников
«Надежда энергетики» по предмету «физика» в 2013/2014 учебном году**

Задача 1. Атом водорода, находящийся в основном состоянии ($n = 1$), в результате столкновения с электроном переходит в возбужденное состояние, характеризующееся квантовым числом $n=4$. Определите энергию, переданную электроном атому и длины волн линий, которые появятся в спектре водорода.



Решение. На рисунке изображена схема уровней энергии атома водорода. Стрелками показаны возможные переходы. Длины волн линий спектра определяются выражением

$$\frac{1}{\lambda} = R' \left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_k^2} \right),$$

где $R' = 1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$.

Подставляя попарно значения n для указанных на рисунке переходов, найдем длины волн:

$$\lambda_{41} = 97,25 \text{ нм}; \lambda_{42} = 486,1 \text{ нм}; \lambda_{43} = 1875,1 \text{ нм};$$

$$\lambda_{31} = 102,6 \text{ нм}; \lambda_{32} = 656,3 \text{ нм}; \lambda_{21} = 121,6 \text{ нм}.$$

Энергия n -го состояния атома водорода

$$W_n = - \frac{R h}{n^2},$$

где

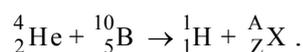
$$R = \frac{m e^4}{8 e_0^2 h^3} = 3,29 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1},$$

следовательно, энергия, переданная электроном атому,

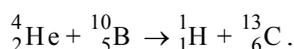
$$\Delta W = W_4 - W_1 = - R h \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{1^2} \right) = 20,62 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 12,9 \text{ эВ}.$$

Задача 2. При соударении α – частиц с ядром ${}^{10}_5\text{B}$ произошла ядерная реакция, в результате которой образовалось два новых ядра. Одним из этих ядер было ядро атома водорода ${}^1_1\text{H}$. Определите порядковый номер в таблице Менделеева и массовое число второго ядра. Запишите схему ядерной реакции и определите ее энергию.

Решение. Обозначив неизвестное ядро символом ${}^A_Z\text{X}$, запишем схему реакции



Применив закон сохранения электрических зарядов и правило сохранения массовых чисел, находим $A = 13$, $Z = 6$. Следовательно, неизвестное ядро – ядро изотопа углерода ${}^{13}_6\text{C}$. Схема реакции имеет вид



Энергия реакции равна разности масс исходных и конечных ядер

$$Q = (m_{\text{He}} + m_{\text{B}}) - (m_{\text{H}} + m_{\text{C}}).$$

Массы исходных и конечных ядер можно заменить на массы нейтральных атомов, добавив к каждой скобке массы электронов, находящихся на электронных оболочках He, B и H, C. Число электронов в электронной оболочке нейтрального атома равно его атомному номеру Z . Из закона сохранения заряда следует, что сумма Z исходных ядер равна сумме Z конечных ядер.

Следовательно, электронные оболочки атомов He и B содержат столько же электронов, сколько оболочки атомов H и C. При вычитании массы электронов сокращаются.

Подставив массы атомов и умножив их на $1 \text{ а. е. э.} = 931,5 \text{ МэВ}$, получим

$$Q = 4,06 \text{ МэВ}.$$

Реакция идет с выделением энергии.

Задача 3. От батискафа, исследующего океанское дно на большой глубине, оторвался шар-баллон объемом 1 м^3 и массой 500 кг . При подъеме на поверхность шар ударился о днище судна снабжения, составляющее в этом месте угол $\alpha=35^\circ$ с горизонтом. Определите величину ускорения шара сразу после удара. Изобразите на рисунке вектор этого ускорения. Удар считать абсолютно упругим.

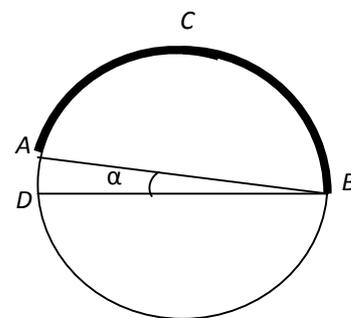
Решение: Угол между нормалью к поверхности и вертикалью – это угол между самой поверхностью и горизонтом. Так как угол падения равен углу отражения (масса судна много больше массы баллона и абсолютно упругого удара), то угол между силой тяжести и силой сопротивления воды после удара составляет $180^\circ - 2\alpha$, а модуль силы сопротивления равен разности модулей сил Архимеда и тяжести (сила сопротивления до удара и после удара не изменяет свой модуль, изменяя лишь своё направление). Таким образом:

$$a = g \left(\frac{\rho V}{m} - 1 \right) \sqrt{2 + 2 \cos 2\alpha}; \quad \alpha = \frac{1}{2} \arccos \left[\left(\frac{1}{2} \left(\frac{ma}{g\rho V - mg} \right)^2 - 1 \right) \right] = 16,38 \text{ м/с}^2$$

Результирующее ускорение направлено по нормали к корпусу судна. Угол между ускорением и вертикалью равен углу между поверхностью судна и горизонталью.

Задача 4. На гладкую трубу круглого сечения положен перпендикулярно трубе однородный гибкий жгут AB (изображен на рисунке жирной линией). Жгут придерживают за левый конец A в положении, задаваемом углом $\alpha=15^\circ$ (линия BD – диаметр трубы). Затем конец A отпускают, и шнур начинает скользить по трубе. Найдите ускорение правого конца шнура (B) в момент, когда левый конец (A) достигнет вершины трубы (C).

Решение. Пусть v – скорость левого конца шнура в положении C , v' – его скорость через малое время Δt , за которое шнур пройдет расстояние Δl (l – длина всего шнура), h – разность высот точки C и нижнего конца шнура, m – масса шнура. Изменение потенциальной энергии шнура за Δt равно изменению потенциальной энергии малого кусочка Δm при перемещении его из C в нижний конец шнура.



$$\begin{cases} \frac{mv'^2}{2} - \frac{mv^2}{2} = \Delta mgh = m \frac{\Delta l}{l} gh \\ \frac{v'^2 - v^2}{2a} = \Delta l \end{cases}$$

$$\Delta la = \frac{\Delta l}{l} gh \Rightarrow$$

$$a = g \frac{h}{l} = g \frac{l - \frac{2\pi R}{4} + R}{l} = g \left(1 - \frac{\pi R - 2R}{2R \left(\pi - 2 \cdot \frac{\pi}{12} \right)} \right)$$

Задача 5. Вольтметр с некоторым добавочным сопротивлением имеет цену деления ΔU . Если добавочное сопротивление уменьшить в n раз, то цена деления уменьшится в k раз. Какова цена деления вольтметра без добавочного сопротивления?

Решение: Пусть искомая цена деления $\Delta U_0 = \Delta U/x$. Если мы измеряем некоторое напряжение U то для трёх описанных случаев легко записать систему:

$$\begin{cases} I(R + R_v) = U \\ kI \left(\frac{R}{n} + R_v \right) = U \\ xIR_v = U \end{cases}$$

$$\begin{cases} I(R + R_v) = xIR_v \\ kI \left(\frac{R}{n} + R_v \right) = xIR_v \end{cases}$$

$$\begin{cases} R = (x-1)R_v \\ \frac{k}{n}R = (x-k)R_v \end{cases}$$

$$\frac{n}{k} = \frac{x-1}{x-k} \Rightarrow nx - nk = kx - k \Rightarrow x(n-k) = k(n-1) \Rightarrow x = \frac{k(n-1)}{n-k} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta U_0 = \Delta U \frac{n-k}{k(n-1)}.$$

Ответ: $\Delta U \frac{n-k}{k(n-1)}.$

Задача 6. Артиллерийское орудие и цель находятся на одном уровне. Орудие способно поразить цель при двух различных углах стрельбы. В первом случае угол стрельбы α_1 и максимальная высота полёта снаряда h_1 . Найдите максимальную высоту полёта снаряда во втором случае. Сопротивлением воздуха пренебрегите.

Решение. Запишем закон движения снаряда в проекции на оси.

$$\begin{cases} v_0 \cos \alpha \cdot t = S \\ v_0 \sin \alpha - g \frac{t}{2} = 0 \end{cases} \Rightarrow 2 \sin \alpha \cos \alpha = \frac{Sg}{v_0^2} \Rightarrow \sin 2\alpha = \frac{Sg}{v_0^2} \Rightarrow$$

$$\alpha_1 = \frac{1}{2} \arcsin \frac{Sg}{v_0^2}; \quad \alpha_2 = \frac{\pi}{2} - \alpha_1 \Rightarrow$$

$$\begin{cases} h_1 = \frac{gt_{1\downarrow}^2}{2} = \frac{g}{2} \left(\frac{S}{2v_0 \cos \alpha_1} \right)^2 \\ h_2 = \frac{gt_{2\downarrow}^2}{2} = \frac{g}{2} \left(\frac{S}{2v_0 \sin \alpha_1} \right)^2 \end{cases} \Rightarrow \frac{h_2}{h_1} = \operatorname{ctg}^2 \alpha_1 \Rightarrow h_2 = h_1 \operatorname{ctg}^2 \alpha_1$$

Задача 7. Спутник площадью поперечного сечения $S=3 \text{ м}^2$ движется по круговой орбите со скоростью $v=8 \text{ км/с}$. Давление воздуха на высоте орбиты $p=1.38 \cdot 10^{-4} \text{ Па}$, температура $T=120 \text{ К}$. Определите число столкновений молекул воздуха со спутником за время $t=1 \text{ с}$. Постоянная Больцмана $k=1.38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$.

Решение. Средняя квадратичная скорость

$$v_{\text{кв}} \sim \sqrt{\frac{3RT}{M_{\text{эфф}}}} \ll v \sim \sqrt{Rg} \Rightarrow$$

$$\begin{cases} N = nvtS \\ p = nkT \end{cases} \Rightarrow N = \frac{p}{kT} vtS = \frac{1.38 \cdot 10^{-4}}{1.38 \cdot 10^{-23}} \cdot \frac{8 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 3}{12 \cdot 10} = 2 \cdot 10^{20} \text{ молекул.}$$

Задача 8. Найдите давление газа свободных электронов в германиевом полупроводнике, если известно, что в объёме полупроводника $V=1 \text{ см}^3$ содержится $N=10^{15}$ свободных электронов, движущихся со средней квадратичной скоростью $v=100 \text{ км/с}$. Число Авогадро $N_A=6 \cdot 10^{23}$, отношение массы протона к массе электрона $m_p/m_e=1836$, молярная масса атомарного водорода $M=1 \text{ г/моль}$. Справка: свободные электроны в германии можно рассматривать как классический идеальный газ.

Решение.

Давление газа свободных электронов можно определить, исходя из связи давления и температуры:

$$\begin{cases} p = nkT \\ \frac{m_e v^2}{2} = \frac{3}{2} kT \end{cases} \Rightarrow p = \frac{N}{V} k \frac{m_e v^2}{3k} = \frac{N}{V} \frac{m_p v^2 N_A}{3 \left(\frac{m_p}{m_e} \right) N_A} = \frac{NM(H)v^2}{3N_A V \left(\frac{m_p}{m_e} \right)} =$$

$$= \frac{10^{15} \cdot 10^{-3} \cdot 10^{10}}{3 \cdot 6 \cdot 10^{23} \cdot 10^{-6} \cdot 1836} = \frac{100\,000}{3 \cdot 6 \cdot 1836} = 3 \text{ Па}$$

Задача 9. Струя воды ударяется о гранитную стенку под углом $\alpha = \pi/3$ к нормали и абсолютно упруго отражается от нее с такой же по модулю скоростью. Найдите давление струи на стенку, если скорость воды в струе $V = 10$ м/с. Плотность воды $\rho = 10^3$ кг/м³.

Решение. Обозначим через S площадь поперечного сечения струи. Выделим в струе некоторый объем в виде цилиндра площадью S и длиной $v\Delta t$ (Δt - длительность взаимодействия фрагмента струи со стенкой). Во время взаимодействия струи со стенкой модуль импульса этого фрагмента струи изменяется на $\Delta p = 2mv\cos\alpha$, где $m = \rho S v \Delta t$. Сила давления фрагмента струи на стенку может быть найдена из закона изменения импульса с учетом 3-го закона Ньютона: $F = \frac{2\rho S v^2 \Delta t \cos\alpha}{\Delta t} = 2\rho S v^2 \cos\alpha$. Поскольку площадь поверхности участка

стенки, с которым взаимодействует струя, равна $S_{cm} = \frac{S}{\cos\alpha}$, то давление струи на стенку равно

$$p = 2\rho v^2 \cos^2 \alpha.$$

Пример варианта для семиклассников

Задача 1

К приходу гостей Кролик решил повесить на двух веревочках баннер «Добро пожаловать, дорогие друзья!» Сможет ли Кролик натянуть веревочки строго горизонтально так, чтобы они не провисали? Объясните свой ответ.

Задача 2

Ученая Сова очень любит свою головоломку «Кубик Рубика», длина ребра которого равна 3 см. На день рождения Кролика она решила подарить ему такую же головоломку, но с длиной ребра 6 см, сделанную из того же материала. Масса подарка оказалась равна 800г. Чему равна масса любимой головоломки Сова?

Задача 3

Домик Винни Пуха расположен на красивом берегу озера в том месте, где из него вытекает река. Домик Пятачка находится на другом берегу озера, а домик Кролика на берегу реки. Расстояния между домиками друзей одинаковы. Одинаковое ли время требуется Винни Пуху, чтобы сплавить на лодке в гости к Пятачку или Кролику и вернуться домой? Время пребывания в гостях одинаково. Скорость лодки относительно воды всегда одинакова.

Задача 4

Ослик Иа-Иа получил в подарок от друзей набор для мозаики из множества разноцветных, но одинаковых по размеру кубиков со стороной 1 см. Набор плотно уложен в упаковку объемом 0,1 м³. Иа-Иа выкладывает в один слой мозаичную картину. Сколько он потратит времени, если на укладку одного кубика требуется 1 с?

Задача 5

Винни Пух решил слетать к пчелам за медом в корзине на воздушном шаре. Поднявшись до дупла, он привязал корзину к дереву и стал заполнять медом пустые банки. Когда он заполнил 8 банок и отвязал корзину от дерева, то стал опускаться на землю с постоянной скоростью. Сколько банок с медом Пух должен вынуть на земле, чтобы воздушный шар стал равномерно подниматься с той же скоростью? Масса воздушного шара и Пуха равна массе четырех банок с медом. На воздушный шар действует постоянная подъемная сила, равная весу девяти банок с медом. Массой пустой банки пренебречь.