

Материалы заданий отборочного этапа Олимпиады школьников «Надежда энергетики» по предмету «физика» в 2016/2017 учебном году.

1. Почему организация движения автомобилей на магистралях без светофоров повышает энергоэффективность работы двигателя? Поясните ответ.(7 класс)

Решение:

Потеря энергии автомобиля при торможении и необходимость дополнительного разгона автомобиля после остановки существенно повышают расход топлива.

2. Школьники построили модель подводной лодки. Для обеспечения постепенного погружения модели внутри негерметичной части корпуса находится герметичный мешок, в который поместили несколько кубиков льда массой 30 г каждый. Остальной объем мешка заполнен водой. Определите, какое минимальное количество кубиков льда необходимо использовать, для того, чтобы добиться полного погружения модели лодки, если полная масса модели составляет 1,2 кг, а ее первоначальный снаряженный объем (вместе с мешком) 1225 см^3 . Плотность льда $\rho_{\text{л}} = 900 \text{ кг/м}^3$, плотность воды $\rho_{\text{в}} = 1000 \text{ кг/м}^3$.

(7 класс)

Решение:

$$m_{\text{куб}} = \rho_{\text{льда}} V_{\text{льда}} = \rho_{\text{воды}} V_{\text{воды}}$$

откуда объем, потерянный при таянии одного кубика:

$$\Delta V = V_{\text{льда}} - V_{\text{воды}} = V_{\text{льда}}(1 - \rho_{\text{льда}}/\rho_{\text{воды}}) = V_{\text{льда}}(1 - 900/1000) = 0,1 V_{\text{льда}}$$

Для одного кубика имеем: $V_{\text{льда}} = m_{\text{куб}}/\rho_{\text{льда}}$, таким образом для компенсации избыточной плавучести $V_{\text{sub}} - m_{\text{sub}}/\rho_{\text{воды}}$ необходимо ее величину разделить на ΔV одного кубика и округлить в большую сторону

$$N = [\rho_{\text{льда}}(V_{\text{sub}} - m_{\text{sub}}/\rho_{\text{воды}})] / (0,1 m_{\text{куб}})$$

Ответ: 8 кубиков.

3. Древнегреческий ученый Эратосфен Киренский провел опыт по измерению радиуса Земли. От погонщиков верблюдов он знал, что 22 июня в полдень Солнце освещает дно колодцев в городе Сиене. В то же самое время, в Александрии угол между лучом, идущим от Солнца в глаз наблюдателя и вертикальным отвесом составляет $\alpha = 7,2^\circ$. Эратосфен знал, что Сиена и Александрия находятся на одном меридиане и расстояние между ними составляет 5000 греческих стадий (приблизительно 800 км). Какое значение радиуса Земли мог получить по этим данным Эратосфен? (8 класс)

Решение:

$$\frac{800}{7,2^\circ} = \frac{2\pi R}{360^\circ}, \quad R = \frac{800 \cdot 360}{7,2 \cdot 2 \cdot 3,14} = 6370 \text{ км.}$$

Ответ: 6370 км.

4. Город А расположен на берегу водохранилища на некотором расстоянии от ГЭС, а город Б – на расстоянии S от плотины ГЭС, ниже по течению реки. Между городами А и Б курсирует теплоход; для прохождения плотины используется шлюз. На сколько время пути из Б в А больше времени пути из А в Б, если скорость течения реки между ГЭС и городом Б равна u , а скорость теплохода относительно воды равна ku ($k > 1$)? Время прохождения через шлюз в обоих направлениях считайте одинаковым, течением в водохранилище пренебрегите. (8 класс).

Решение:

$$\Delta t = S \left(\frac{1}{ku - u} - \frac{1}{ku + u} \right) = 2S / u(k^2 - 1).$$

Ответ: $\Delta t = 2S / u(k^2 - 1)$.

5. Школьники построили модель подводной лодки. Для обеспечения управляемого погружения модели внутри негерметичной части корпуса находится теплоизолированный герметичный мешок, в который поместили 10 кубиков льда массой 8 г каждый. Исходная температура льда $t_1 = -5^\circ\text{C}$. Остальной объем мешка заполнили талой водой с температурой $t_2 = 0^\circ\text{C}$. Внутри мешка так же находится резистор сопротивлением $R = 10 \text{ Ом}$, на который можно подавать напряжение $U = 12 \text{ В}$ от внешнего источника через радиуправляемый ключ. Определите, через какое время после подачи сигнала на погружение модель полностью скроется под водой, если полная масса модели составляет 1,2 кг, а ее первоначальный снаряженный объем (вместе с мешком) 1205 см^3 . Удельная теплота плавления льда $\lambda = 330 \text{ кДж/кг}$, удельная теплоемкость льда $c = 2000 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$, плотность льда $\rho_{\text{л}} = 900 \text{ кг/м}^3$. Результат округлите до целого числа секунд.

Решение:

Масса льда, которую необходимо растопить для погружения модели может быть найдена как:

$$m = \rho_{\text{л}} \Delta V = \rho_{\text{л}} (V_{\text{sub}} - m_{\text{sub}} / \rho_{\text{воды}}) \text{ (см. решение 7 класс).}$$

Для этого необходимо затратить энергию $Q = m \lambda + m c_{\text{льда}} \Delta T = m(\lambda + c_{\text{льда}} \Delta T)$. Если мощность нагрева P , то это потребует времени:

$$t = \rho_{\text{л}} \Delta V (\lambda + c_{\text{льда}} \Delta T) / P.$$

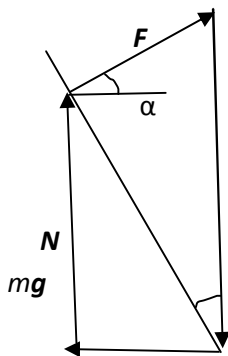
Мощность нагрева P здесь представляет собой Джоулево тепло, и может быть найдена по формуле $P = U^2 / R$, в результате имеем:

$$t = \rho_{\text{л}} \Delta V (\lambda + c_{\text{льда}} \Delta T) R / U^2 = 1063 \text{ секунды. (1062,5).}$$

Ответ: 1063 секунды.

6. Кубик лежит на горизонтальном столе. Известно, что минимальная сила, которая может перемещать кубик по поверхности стола, в $k = 2$ раз меньше минимальной силы, необходимой для того, чтобы поднять его над поверхностью стола. На какой минимальный угол нужно наклонить поверхность стола, чтобы кубик начал скользить? (10 класс).

Решение:



F – минимальная сила, требуемая для перемещения кубика по столу, α – угол, под которым надо приложить эту силу к кубику. β – угол, под которым надо наклонить стол для скольжения кубика.

$$F = mg \sin \alpha = mg \frac{\mu N}{N \sqrt{1 + \mu^2}} = \frac{\mu mg}{\sqrt{1 + \mu^2}}$$

$$k \cdot \frac{\mu mg}{\sqrt{1 + \mu^2}} = mg \rightarrow \mu = \frac{1}{\sqrt{k^2 - 1}}$$

$$\beta = \operatorname{arctg} \mu = \operatorname{arctg} \frac{1}{\sqrt{k^2 - 1}} = \operatorname{arctg} \frac{1}{\sqrt{3}} = 30^\circ$$

Ответ: $\beta = \operatorname{arctg} \frac{1}{\sqrt{k^2 - 1}} = \operatorname{arctg} \frac{1}{\sqrt{3}} = 30^\circ$

7. Заряженное проводящее кольцо массой $m = 4$ г расположено горизонтально в неоднородном электростатическом поле. Модуль напряжённости поля во всех точках кольца одинаков и равен $E = 1$ кВ/м, а его направление в каждой точке кольца составляет угол $\alpha = 60^\circ$ с осью кольца. Определите величину заряда кольца, если оно неподвижно «левитирует» в этом поле. (10 класс).

Решение:

$$QE \cos \alpha = mg$$

$$Q = \frac{mg}{E \cos \alpha} = \frac{4 \cdot 10^{-3} \cdot 10}{10^3 \cdot 0,5} = 80 \text{ мкКл}$$

Ответ: 80 мкКл.

8. Какой минимальный точечный заряд Q_{min} необходимо поместить в нижнюю точку непроводящей сферы радиусом R , чтобы шарик массой m , заряженный зарядом Q , находился в устойчивом равновесии в верхней точке на внутренней поверхности сферы? (11 класс).

Решение:

Чтобы шарик с зарядом Q находился в равновесии, необходима компенсация сил, действующих на него (см. рисунок):

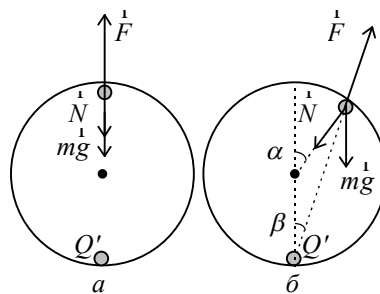
$$F = mg + N,$$

где $F = \frac{QQ'}{4\pi\epsilon_0(2R)^2}$. Чтобы это равновесие было устойчивым, шарик должен возвращаться в исходную точку

при незначительном смещении из нее. Если смещение незначительно, то модули сил не изменятся, а их направления будут такими, как на рис. Для возврата в исходную точку необходимо выполнение неравенства $N \sin \alpha > F \sin \beta$. Поскольку смещение шарика мало, то $\sin \alpha \approx \alpha$, $\sin \beta \approx \beta$. Учтем также, что $\alpha = 2\beta$. Тогда

$N > \frac{F}{2}$. Поскольку в положении равновесия $N = F - mg$, то получаем соотношение $F > 2mg$. Подставляя

значение F , находим $Q' > \frac{32mg\pi\epsilon_0 R^2}{Q}$, поэтому $Q_{min} > \frac{32mg\pi\epsilon_0 R^2}{Q}$.



9. Полусфера радиусом $R = 8$ см, выполненная из однородного непроводящего материала, заряжена зарядом $2q$ равномерно по поверхности. Маленький шарик, имеющий заряд $q = 8$ мкКл, привязан к полусфере прочной непроводящей нитью так, что он находится в устойчивом равновесии в центре основания полусферы. Найдите силу натяжения нити. Опыт проводится в невесомости. Указание: площадь поверхности сферы в четыре раза больше площади круга того же радиуса. (11 класс).

Решение:

Сила натяжения нити T равна равнодействующей сил Кулона $\Delta\vec{F}_i$, действующих со стороны маленьких зарядов Δq_i и в сумме составляющих заряд полусферы $2q$. Из соображений симметрии вклад каждой такой силы в равнодействующую равен проекции $\Delta\vec{F}_i$ на ось симметрии задачи. Т.о.,

$$\Delta F_{ix} = \Delta F_i \cos \alpha_i = k \frac{q \Delta q_i}{R^2} \cos \alpha_i = k \frac{q \sigma \Delta S_i}{R^2} \cos \alpha_i,$$

где σ – поверхностная плотность заряда полусферы, а ΔS_i - участок поверхности полусферы, соответствующий заряду Δq_i . Отсюда имеем для силы натяжения:

$$T = \sum F_{ix} = k \frac{q\sigma}{R^2} \sum \Delta S_i \cos \alpha_i = k \frac{q^2 q}{R^2 2\pi R^2} \pi R^2 = k \frac{q^2}{R^2} = 90 \text{ н.}$$

Ответ: 90 Н.

10. Группа инженеров-энергетиков занимается проблемой энергосбережения, отдавая приоритет экологически чистым источникам энергии. Одна их новых разработок группы – мобильный тепловой двигатель, вращающий электрогенератор – может использоваться как в относительно тёплых, так и в холодных северных морях. Для своей работы двигатель вообще не требует топлива. В первом случае в качестве нагревателя используется тёплая вода моря, а в качестве холодильника – лёд айсберга, температура которого близка к 0 °С. Во втором случае в качестве нагревателя используется вода из проруби (её температура тоже близка к 0 °С), а в качестве холодильника – поверхность толстой льдины, температура которой много ниже точки замерзания воды. Тестовый эксперимент, проведённый в тёплом море с температурой воды +20 °С, показал, что двигатель развивает мощность $P_1 = 1$ кВт. Какую мощность P_2 разовьёт тот же самый двигатель в холодном северном море, если температура поверхности льдины –30 °С? В расчётах примите, что тепловой процесс над рабочим телом двигателя может быть приближённо описан циклом Карно. Указание: так как двигатель в обоих экспериментах один и тот же, то при одной и той же температуре модули изменения объёма рабочего тела двигателя одинаковы как при изотермическом сжатии, так и при изотермическом расширении. (11 класс).

Решение:

$Q_{1,2}^{\pm}$ – теплоты нагревателя (+) и холодильника (–)

в первом (1) и во втором (2) процессах

$T_{1,2}^{\pm}$ – температуры нагревателя (+) и холодильника (–)

в первом (1) и во втором (2) процессах

$\eta_{1,2}$ – КПД в первом (1) и во втором (2) процессах

по условию $T_1^- = T_2^+ \equiv T_0$

следуя указанию $Q_1^- = Q_2^+ \equiv Q_0$

Мощности пропорциональны работам за цикл

$$A_1 = \eta_1 Q_1^+ = \eta_1 \frac{Q_1^-}{1 - \eta_1} = \frac{\eta_1}{1 - \eta_1} Q_0$$

$$A_2 = \eta_2 Q_2^+ = \eta_2 Q_0$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{A_1}{A_2} = \frac{\eta_1}{\eta_2(1 - \eta_1)} = \frac{(T_1^+ - T_1^-)T_2^+T_1^+}{T_1^+(T_2^+ - T_2^-)T_1^-} = \frac{(T_1^+ - T_1^-)T_0}{(T_2^+ - T_2^-)T_0} = \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}$$

$$P_2 = P_1 \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1} = 1 \cdot \frac{30}{20} = 1,5 \text{ кВт}$$

Ответ: $P_2 = P_1 \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1} = 1 \cdot \frac{30}{20} = 1,5$ кВт.