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

Характер и уровень сложности олимпиадных задач по физике направлены на достижение целей, поставленных организаторами олимпиад. В первую очередь, это выявление в составе участников олимпиад ребят, твердо владеющих школьной программой и наиболее подготовленных к успешному усвоению курсов, определенных образовательными стандартами для технических вузов. Будущие студенты должны обладать логическим мышлением, свободно оперировать физическими законами, научными формулировками и терминологией. От школьников требуется умение математически сформулировать описанную в задаче ситуацию на основе физических законов, при решении – применить наиболее подходящие методы алгебры. Совершенно необходимо и умение абстрагироваться от лишнего, рисовать удачные графические схемы, умело применять графики тех или иных процессов.

Структура типичного варианта олимпиады такова, что задачи строго дифференцированы по сложности и требуют для решения различных временных затрат. Задачи охватывают все разделы школьной программы и носят, в своем большинстве, комплексный характер, позволяющий варьировать оценки в зависимости от проявленных в решении творческих подходов и продемонстрированных технических навыков. Участники должны самостоятельно определить законы физики, применимые к каждой задаче, разбить задачу на подзадачи, грамотно выполнить решение каждой подзадачи и затем синтезировать решение всей задачи из решений отдельных подзадач.

Успешное написание олимпиадной работы не требует знаний, выходящих за пределы школьной программы, но, как показывает статистика олимпиады, доступно далеко не каждому школьнику, поскольку требует творческого подхода, логического мышления, умения увидеть и составить правильный и оптимальный план решения, четкого и технически грамотного выполнения каждой части решения, порой, отбора из множества математически верных решений подмножества решений, соответствующих физической реальности.

Умение справляться с заданиями олимпиады по физике приходит к участникам олимпиад с опытом, который вырабатывается на тренировочном и отборочном этапах Олимпиады.

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 $\rho_л = 900\,кг/м^3$, плотность воды $\rho_в = 1000\,кг/м^3$.

(7 класс)

Решение:

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

откуда объем, потерянный при таянии одного кубика:

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

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

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

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 $\alpha = 7{,}2°$. 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:

$\Delta t = S\ (1/(\ ku - u\ ) - 1/(\ ku + u) = 2S\ /u(k^2 - 1)$.

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 $t_1 = -5\,°\text{C}$. Остальной объем мешка заполнили талой водой с температурой $t_2 = 0\,°\text{C}$. Внутри мешка так же находится резистор сопротивлением $R = 10$ Ом, на который можно подавать напряжение $U = 12$ В от внешнего источника через радиоуправляемый 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 $\lambda = 330$ кДж/кг, удельная теплоемкость льда $c = 2000$ Дж/(кг·К), плотность льда $\rho_л = 900$ кг/м^3. Результат округлите до целого числа секунд.

Решение:

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

m= $\rho_{льда}\,\Delta V = \rho_{льда}\,10\,(V_{sub} - m_{sub}/\rho_{воды})$ (см. решение 7 класс).

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

$t = \rho_{льда}\,10\,(V_{sub} - m_{sub}/\rho_{воды})\,(\lambda + c_{льда}\,\Delta T)/P$.

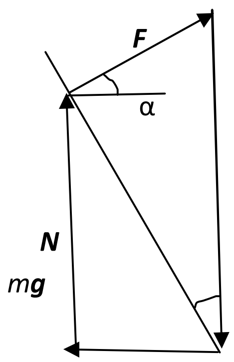
Мощность нагрева P здесь представляет собой Джоулево тепло, и может быть найдена по формуле $P = U^2/R$, в результате имеем:

$t = \rho_{льда}\,10\,(V_{sub} - m_{sub}/\rho_{воды})\,(\lambda + c_{льда}\,\Delta T)\,R/U^2 = 1063$ 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.

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

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

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

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

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:

$$QE\cos\alpha = mg$$

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

Ответ: $80 мкКл$.

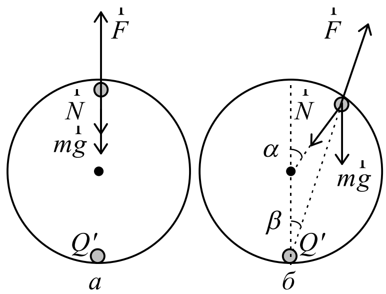
8. Какой минимальный точечный заряд *Qmin* необходимо поместить в нижнюю точку непроводящей сферы радиусом *R*, чтобы шарик массой ***m***, заряженный зарядом *Q*, находился в устойчивом равновесии в верхней точке на внутренней поверхности сферы? (11 класс).

Решение:

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

$$F = mg + N \ ,$$

где $F = \dfrac{QQ'}{4\pi\varepsilon_0 (2R)^2}$. 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 $N > \dfrac{F}{2}$. Поскольку в положении равновесия $N = F - mg$, то получаем соотношение $F > 2mg$. Подставляя значение *F*, находим $Q' > \dfrac{32mg\pi\varepsilon_0 R^2}{Q}$, поэтому $Q_{\min} > \dfrac{32mg\pi\varepsilon_0 R^2}{Q}$.



9. Полусфера радиусом *R* = 8 см, выполненная из однородного непроводящего материала, заряжена зарядом 2*q* 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. <u>*Указание*</u>: 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 2*q*. 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:

$$T = \sum F_{ix} = k\frac{q\sigma}{R^2}\sum \Delta S_i \cos\alpha_i = k\frac{q2q}{R^2 2\pi R^2}\pi R^2 = k\frac{q^2}{R^2} = 90 \text{ Н.}$$

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.