Всероссийская олимпиада студентов по физике.

II тур Всероссийской физической олимпиады студентов технических вузов прошел 23 марта 2013 года в Московском государственном техническом университете (МГТУ) им. Н.Э. Баумана.

Победители в командном зачете: команда Московского государственного технического университета им. Н.Э.Баумана, набравшая 118 баллов - первое место, команда Московского авиационного института, набравшая 93 балла - второе место, команда Московского государственного университета нефти и газа им. И.М. Губкина, набравшая 89 баллов - третье место.

Победители в личном зачете: Никитин Иван Сергеевич МГТУ им. Н.Э. Баумана - первое место, Светличный Леонид Игоревич МИФИ (Обнинск) - второе место, Шубин Николай Михайлович МИЭТ - третье место.

Задачи олимпиады:

Задача 1. Два одинаковых автомобиля массы m начинают движение с постоянной тягой при сопротивлении движению, определяемому формулой $F=c+bv$, где v – текущая скорость, а c и b – константы. Отрезок времени между началом движения первого и второго автомобиля равен τ. Определить максимальное расстояние между автомобилями в процессе дальнейшего движения, если известно, что начальное ускорение автомобилей равно a.

Задача 2. На проволочной окружности радиуса R, расположенной горизонтально, насажен небольшой шарик, который может двигаться по проволоке. С какой начальной скоростью надо толкнуть шарик вдоль проволоки, чтобы он сделал точно один оборот? Коэффициент трения скольжения равен k.

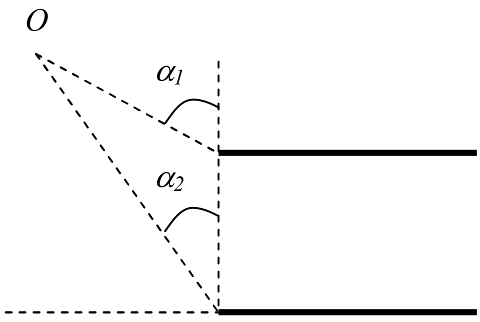
Задача 3. Газонокосилка типа «триммер» косит траву посредством невесомой нити, к концу которой привязан грузик массой m. Другой конец нити закреплен на роторе, вращающемся с угловой скоростью ω, на расстоянии r от вертикальной оси вращения ротора. Угол между нитью и радиус-вектором грузика равен α. Определить радиус траектории грузика R, если сила сопротивления движению грузика постоянна и равна F.

Задача 4. Тепловая машина работает по циклу Карно, забирая тепло от нагревателя с температурой T_1 и отдавая его холодильнику с температурой T_2. Поток тепла между нагревателем и рабочим телом с температурой T_1' пропорционален разности температур между ними $q_1 = \frac{dQ_1}{dt} = C\left(T_1 - T_1'\right)$, аналогично, поток тепла между рабочим телом с температурой T_2' и холодильником $q_2 = \frac{dQ_2}{dt} = C\left(T_2' - T_2\right)$. Считая, что изотермические процессы тепловой машины одинаковы по времени, а адиабатические процессы протекают мгновенно, определить КПД тепловой машины, когда ее мощность за цикл максимальна.

Задача 5. Частица массой m с зарядом q скользит в магнитном поле по горизонтальной плоскости, коэффициент трения с которой равен k. Вектор магнитного поля на всей траектории движения частицы направлен по радиусу r, проведенному из точки O, меняется по закону $B = A/r$ и параллелен плоскости. Определить угол, на который повернется радиус-вектор частицы до полной остановки, если в начальный момент скорость частицы равна v. Силой тяжести пренебречь.

Задача 6. Определить поток магнитного поля через цилиндрическую поверхность полубесконечного соленоида радиуса R с плотностью намотки n, током I. Поле в выходном сечении соленоида считать однородным.

Задача 7. Две полубесконечные параллельные проводящие плоскости расположены напротив друг друга. По ним протекают вдоль границы полуплоскостей токи, равномерно распределенные по плоскости линейной плотностью i в противоположных направлениях. Определить магнитное поле в точке O, положение которой задается углами α_1 и α_2 между нормалью к плоскостям и нормалями к границам соответствующих плоскостей.



Задача 8. На пути плоскополяризованной световой волны интенсивности I_0 находится пластинка-поляризатор, закрывающая первую зону Френеля. Определить интенсивность света в точке наблюдения, если угол между плоскостью поляризации света и плоскостью поляризации поляризатора равен α.

Решение задач

Задача 1. Сила тяги в начальный момент времени $F_m=ma+c$; при достижении максимальной скорости $F_m=c+bv_m$; откуда $ma+c=c+bv_m$ и $v_m=ma/b$. Максимальное расстояние между автомобилями будет при достижении ими максимальных скоростей $L=\tau v_m=\tau ma/b$.
Ответ: $L=ma/b$.

Задача 2. Движение происходит под действием силы сухого трения $F = km\sqrt{g^2+\left(\frac{v^2}{R}\right)^2}$.

Уравнение динамики $\frac{dv}{dt}=-\frac{F}{m}$. Уравнение кинематики $\frac{dS}{dt}=v$. Исключаем время: $\frac{dS}{dv}=-\frac{v}{\frac{k}{R}\sqrt{v^4+g^2r^2}}$ Переменные делятся, решаем. Уравнение для определения величины v$_0$: $2\pi R = S(v_0)$, оно решается, $v_0^2=gRsh(4\pi k)$.

Ответ: $v_0=\sqrt{gRsh(4\pi k)}$

Задача 3. Пусть сила натяжения нити равна f. Уравнение тангенциального движения по окружности $f\sin(\alpha)-F=0$. Уравнение нормального движения по окружности f $f\cos(\beta)=mv^2/r=m\omega^2R$. Тогда $R=\frac{F}{m\omega^2 tg(\alpha)}$.

Ответ: $R=\frac{F}{m\omega^2 tg(\alpha)}$.

Задача 4. Особенность рассматриваемого цикла в том, что подвод тепла к рабочему телу и отвод тепла от рабочего тела происходит равномерно по времени, время подвода тепла и время отвода тепла одно и то же. В этом случае КПД цикла Карно $\eta=1-\frac{T_2'}{T_1'}=1-\frac{Q_2}{Q_1}=1-\frac{T_2'-T_2}{T_1-T_1'}$.

Из этих соотношений следует $\frac{T_2'}{T_1'}=\frac{T_2'-T_2}{T_1-T_1'}$. Находим T_2', подставляем в выражение для работы цикла: $Q_1-Q_2=C\cdot T_2\cdot(\frac{T_2'}{T_2}-1)\cdot\frac{\tau}{2}$, дифференцируем по T_1', из условия максимума определяем этот параметр и подставляем в выражение для КПД, $\eta=1-\frac{\sqrt{T_2}}{\sqrt{T_1}}$.

Ответ: $\eta = 1 - \frac{\sqrt{T_2}}{\sqrt{T_1}}$.

Задача 5. Уравнение движения по прямолинейной траектории под действием силы трения $F = kqv_\tau B = kq\frac{rd\phi}{dt}\frac{A}{r} = m\frac{dv}{dt}$. Откуда $kqA\phi = mv$ и $\phi = \frac{mv}{kqA}$.

Ответ: $\phi = \frac{mv}{kqA}$.

Задача 6. Из принципа суперпозиции во всех точках на срезе соленоида магнитное поле равно половине поля бесконечного соленоида, т.е. $B = \frac{\mu_0 nI}{2}$, а поток $\Phi = \frac{1}{2}\mu_0 nI\pi R^2$. Вторая половина потока проходит через цилиндрическую поверхность.

Ответ: $\Phi = \frac{1}{2}\mu_0 nI\pi R^2$.

Задача 7. Рассмотрим рисунок к задаче. Если провести произвольную прямую из точки наблюдения под произвольным углом $\alpha > \alpha_1$ и ещё такую же прямую под углом $\alpha + d\alpha$, эти прямые вырежут отрезки «плоскостей» длиной dx и dX. Из подобия треугольников устанавливаем соотношение $\frac{dx}{dX} = \frac{r}{R}$, это расстояния до точки наблюдения. Определяя H от одного и другого источника поля, убеждаемся, источники поля компенсируют друг друга.

Остаётся некомпенсированная часть нижней плоскости. Используем формулу для расчёта поля dH от бесконечной нити (дифференциал линейной координаты dX в этой области) и вычисляем проекции dH на x и на y. Заметим, что *Rda/cos(a)=dX.* Интегрируем полученные выражения $H_x = \frac{i}{2\pi}\cdot(\alpha_1 - \alpha_2)$, $H_y = \frac{i}{2\pi}\ln\left(\frac{\cos(\alpha_2)}{\cos(\alpha_1)}\right)$ - здесь получены абсолютные величины.

Ответ: $H_x = \frac{i}{2\pi}\cdot(\alpha_1 - \alpha_2)$, $H_y = \frac{i}{2\pi}\ln\left(\frac{\cos(\alpha_2)}{\cos(\alpha_1)}\right)$.

Задача 8. Амплитуда волны с плоской поляризацией света: $A_x = A_1\cos^2(\alpha) - A_1/2$, в перпендикулярной плоскости: $A_y = A_1\cos(\alpha)\sin(\alpha)$. Результирующая интенсивность света:

$$I = A_x^2 + A_y^2 = \left(A_1\cos^2(\alpha) - \frac{A_1}{2}\right)^2 + A_1^2\cos^2(\alpha)\sin^2(\alpha) = \frac{A_1^2}{4}\left(2\cos^2(\alpha) - 1\right)^2 + \frac{A_1^2}{4}\sin^2(2\alpha) =$$

$$= \frac{A_1^2}{4}\left(\sin^2(2\alpha) + \cos^2(2\alpha)\right) = \frac{A_1^2}{4} = I_0$$

Ответ: $I = I_0$.