

## Разбор варианта задания олимпиады «Ломоносов» по физике

В 2010 году вариант задания олимпиады «Ломоносов» по физике, по сравнению с прошлыми годами, изменился. В него стали входить четыре задачи, каждая из которых сопровождается теоретическим вопросом по теме данной задачи.

### 2010 год

1. Дайте определение упругих деформаций и сформулируйте закон Гука.

**Задача.** Колесо состоит из тонкого обода массой  $M$  и радиусом  $R$  и радиально расположенных спиц, соединяющих обод с втулкой, в которую вставлена ось. На одну из спиц надета легкая пружина жесткостью  $k$ , один конец которой закреплен на втулке. К другому концу пружины прикреплен маленький грузик массой  $m$ , также надетый на спицу. В недеформированном состоянии длина пружины равна  $l$  ( $l < R$ ). Колесо располагают горизонтально и закрепляют ось вращения. Какую работу  $A$  нужно совершить, чтобы раскрутить колесо до такой угловой скорости, при которой груз коснется обода? Считать спицы гладкими и невесомыми, трением в оси и диаметром втулки пренебречь.

### Решение

Согласно второму закону Ньютона и закону Гука в момент касания грузом обода угловая скорость его вращения  $\omega$  должна удовлетворять условию:  $m\omega^2 R = k(R - l)$ . При этом кинетическая энергия обода с грузом станет равной

$E_k = \frac{1}{2}(m + M)\omega^2 R^2$ , а потенциальная энергия упруго де-

формированной пружины будет равна  $E_{\text{п}} = \frac{1}{2}k(R-l)^2$ . Согласно закону изменения механической энергии,  $A = E_{\text{к}} + E_{\text{п}}$ . Подставляя в это выражение ранее написанные соотношения, получаем ответ:  $A = \frac{1}{2}k(R-l) \left[ \left( 2 + \frac{M}{m} \right) R - l \right]$ .

2. Дайте определение влажности и относительной влажности воздуха.

**Задача.** Стакан объемом  $V_0 = 290 \text{ см}^3$  перевернули вверх дном и медленно погрузили в воду на глубину  $h = 5 \text{ м}$ . При этом объем воздуха в стакане оказался равным  $V_1 = 194 \text{ см}^3$ . Найти парциальное давление  $p$  водяного пара, находящегося в стакане, считая его насыщенным. Относительная влажность атмосферного воздуха  $f = 60\%$ , атмосферное давление  $p_0 = 10^5 \text{ Па}$ , плотность воды  $\rho = 1 \text{ г/см}^3$ , ускорение свободного падения  $g = 10 \text{ м/с}^2$ . Температуру воздуха в стакане считать постоянной. Размером стакана по сравнению с глубиной его погружения пренебречь.

### Решение

До погружения в воду в стакане находилась смесь воздуха и водяного пара, причем давление этой смеси  $p_0 = p_{\text{в}} + p_{\text{п}}$ , где  $p_{\text{в}}$  – парциальное давление воздуха,  $p_{\text{п}} = f p_{\text{н}} / 100\%$  – парциальное давление пара. Отсюда  $p_{\text{в}} = p_0 - \frac{f}{100\%} p_{\text{н}}$ . После медленного погружения стакана в воду пар в стакане достиг насыщения, и давление газовой смеси в стакане стало равным  $p_1 = p'_{\text{в}} + p_{\text{п}}$ , где  $p'_{\text{в}}$  – парциальное

давление воздуха,  $p_1 = \rho gh + p_0$  – давление воды на глубине  $h$ . Для парциального давления воздуха справедливо уравнение  $p'_B V_1 = p_B V_0$ . Объединяя записанные выражения, находим давление насыщенного водяного пара. Ответ:

$$p = p_{\text{н}} = \frac{\rho gh V_1 - p_0 (V_0 - V_1)}{V_1 - V_0 f / 100\%} = 5 \text{ кПа.}$$

**3.** Как определяется модуль и направление вектора магнитной индукции?

**Задача.** Металлический стержень массой  $m = 7,5$  г и длиной  $L = 30$  см подвешен горизонтально на двух невесомых гибких проводниках длиной  $l = 15$  см каждый. Стержень находится в однородном магнитном поле, индукция  $B = 57$  мТл которого направлена вертикально. По стержню пропускают кратковременный прямоугольный импульс постоянного тока силой  $I_0$  и длительностью  $\tau = 0,1$  с. При каком минимальном значении  $I_0$  стержень совершит полный оборот, двигаясь по окружности вокруг оси, проходящей через точки подвеса гибких проводников? Считать, что смещение стержня за время  $\tau$  ничтожно мало. Ускорение свободного падения принять равным  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.

### Решение

Импульс силы Ампера за время  $\tau$  равен  $I_0 BL\tau$ . По второму закону Ньютона  $mV_0 = I_0 BL\tau$ , откуда скорость, которую приобретает стержень по окончании импульса тока,  $V_0 = \frac{I_0 BL\tau}{m}$ . Уравнение движения стержня по окружности в

верхней точке траектории имеет вид:  $\frac{mV^2}{l} = mg + T$ , где  $T$  –

суммарное натяжение нитей. Скорость стержня  $v$  в верхней точке минимальна, если  $T = 0$ . Следовательно  $v^2 = gl$ . Из закона сохранения энергии вытекает равенство:

$$\frac{mV_0^2}{2} = 2mgl + \frac{mV^2}{2} = \frac{5}{2}mgl. \text{ Отсюда } V_0 = \sqrt{5gl}. \text{ Объединяя}$$

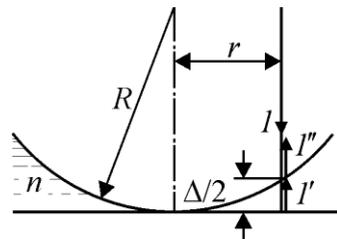
записанные выражения, находим ответ:  $I_0 = \frac{m\sqrt{5gl}}{BL\tau} \approx 12 \text{ А.}$

**4.** Сформулируйте условия образования максимумов и минимумов в интерференционной картине.

**Задача.** Интерференционная картина «кольца Ньютона» наблюдается в отраженном монохроматическом свете с длиной волны  $\lambda = 0,63 \text{ мкм}$ . Интерференция возникает в заполненном бензолом тонком зазоре между выпуклой поверхностью плосковыпуклой линзы и плоской стеклянной пластинкой, причем плоская поверхность линзы и пластинка параллельны друг другу. Найдите радиус первого (внутреннего) темного кольца, если радиус кривизны поверхности линзы  $R = 10 \text{ м}$ , а показатели преломления линзы и пластинки одинаковы и превышают показатель преломления бензола, равный  $n = 1,5$ . Свет падает по нормали к пластинке.

### Решение

Обозначим через  $\Delta$  геометрическую разность хода двух лучей, идущих на расстоянии  $r$  от главной оптической оси линзы: луча  $I'$ , отраженного от верхней поверхности стеклянной пластинки, и луча  $I''$ , отраженного от нижней поверхности линзы. По теореме



Пифагора имеем:  $R^2 = r^2 + (R - \Delta/2)^2$ . Отсюда

$R\Delta = r^2 + \Delta^2/4$ . Учитывая, что  $\Delta^2/4 \ll r^2$ , приближенно получаем  $\Delta \approx \frac{r^2}{R}$ . Поскольку волны  $I$  и  $I'$  распространяются

в бензоле, заполняющем зазор между линзой и пластинкой, оптическая разность хода между волнами  $I'$  и  $I''$  равна

$\Delta_{\text{опт}} = n\Delta = \frac{nr^2}{R}$ . Дополнительный фазовый набег, равный  $\pi$ ,

волна  $I'$  приобретает при отражении волны  $I$  от оптически более плотной среды. Таким образом, условие первого интер-

ференционного минимума имеет вид:  $\Delta_{\text{опт}} + \frac{\lambda}{2} = \frac{3}{2}\lambda$ . Объе-

диня записанные выражения, получаем ответ:

$$r = \sqrt{\frac{\lambda R}{n}} \approx 2 \text{ мм.}$$