

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ФГАОУ ВО «МФТИ (ГУ)»

Образец билета экзамена по физике для переводников и восстанавливающихся  
на пятый семестр

1. (4) Однородный стержень длиной  $L$  подвешен за один конец и может вращаться без трения вокруг горизонтальной оси  $A$ . Определить максимальный угол, на который отклонится стержень при попадании в него кусочка пластилина массой  $m$ . Считать, что он летит горизонтально, перпендикулярно оси  $A$ , со скоростью  $v$  и прилипает к нижнему концу стержня. Масса стержня  $M = 9m$ . Угол отклонения стержня меньше  $90^\circ$ .



2. (4) Часть закрытого сосуда занимает вода при температуре  $T=300$  К. Найти относительное изменение плотности насыщенного пара при увеличении температуры на  $3$  К. Удельная теплота испарения воды при этих условиях  $\lambda = 2430$  Дж/г. Пар считать идеальным газом.
3. (4) По шару радиусом  $R$  с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon$  равномерно по объёму распределён заряд  $Q$ . Найти напряжённость электрического поля на расстоянии  $R/2$  от центра шара и энергию электростатического поля, создаваемого шаром.
4. (4) Последовательно соединённые дроссель и резистор присоединены к источнику постоянного тока с ЭДС  $\mathcal{E}$ . Полное омическое сопротивление цепи равно  $R$ . Индуктивность дросселя, когда в него вставлен сердечник, равна  $L_1$ . Индуктивность того же дросселя без железного сердечника равна  $L_2$ . Вначале сердечник был вставлен. В момент времени  $t = 0$ , когда ток в цепи уже установился, очень быстро вынимают железный сердечник. Определить зависимость тока в цепи от времени  $t$  для  $t > 0$ .
5. (4) На дифракционную решётку нормально падает пучок света от газоразрядной трубки, наполненной гелием. На какую линию (найти длину волны) в спектре третьего порядка накладывается красная линия гелия ( $\lambda_1 = 670$  нм) спектра второго порядка.

## Решения задач

- 1) Из закона сохранения момента импульса  $I\omega = mvL$ .

$$\text{Здесь } I = \frac{ML^2}{3} + mL^2 = 4mL^2. \text{ Следовательно, } \omega = \frac{v}{4L}.$$

$$\text{Из закон а сохранения энергии } I \frac{\omega^2}{2} = Mg \frac{L}{2} (1 - \cos\varphi_{max}) + mgL(1 - \cos\varphi_{max})$$

$$\Rightarrow 4mL^2 \left(\frac{v}{4L}\right)^2 = 11mgL(1 - \cos\varphi_{max}).$$

$$\text{Ответ: } \cos\varphi_{max} = 1 - \frac{v^2}{44gL}.$$

- 2) Из уравнения Менделеева – Клапейрона  $P = \rho RT / \mu$ .

$$\text{Следовательно } \Delta P = RT\Delta\rho/\mu + \rho R\Delta T/\mu \Rightarrow \frac{\Delta P}{P} = \frac{\Delta\rho}{\rho} + \frac{\Delta T}{T}.$$

Из уравнения Клапейрона – Клаузиуса  $\frac{\Delta P}{\Delta T} = \frac{\lambda}{T(v_{\text{п}} - v_{\text{ж}})}$ . Здесь  $v_{\text{п}} = \frac{RT}{\mu P}$  – удельный объём пара.

Пренебрегая удельным объёмом жидкости  $v_{\text{ж}}$  по сравнению с  $v_{\text{п}}$ , получим  $\frac{\Delta P}{\Delta T} = \frac{\lambda\mu P}{RT^2} \Rightarrow$

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{\lambda\mu}{RT} \left(\frac{\Delta T}{T}\right). \text{ Ответ: } \frac{\Delta\rho}{\rho} = \left(\frac{\lambda\mu}{RT} - 1\right) \frac{\Delta T}{T} = 0,17.$$

- 3) По теореме Гаусса внутри шара электрическая индукция  $D = \frac{Q}{R^3} r$ .

$$1) \text{ Так как } E = \frac{D}{\varepsilon}, \text{ то } E(R/2) = \frac{Q}{2\varepsilon R^2}.$$

$$2) \text{ Внутри шара: } W_{\text{эл1}} = \int_0^R \frac{E \cdot D}{8\pi} 4\pi r^2 \cdot dr = \frac{Q^2}{2\varepsilon R^6} \int_0^R r^4 dr = \frac{Q^2}{10\varepsilon R}.$$

$$\text{Вне шара: } W_{\text{эл2}} = \int_R^\infty \frac{E \cdot D}{8\pi} 4\pi r^2 \cdot dr = \frac{Q^2}{2} \int_R^\infty \frac{dr}{r^2} = \frac{Q^2}{2R}$$

$$\text{Полная энергия: } W_{\text{эл}} = W_{\text{эл1}} + W_{\text{эл2}} = \frac{Q^2}{2R} \left(1 + \frac{1}{5\varepsilon}\right).$$

- 4) До извлечения сердечника из дросселя ток в цепи равен  $I_1 = \frac{\varepsilon}{R}$ .

После извлечения сердечника зависимость тока в цепи  $I$  от времени описывается законом

Кирхгоффа:  $\varepsilon = IR + L_2 \frac{dI}{dt}$  с начальными данными  $I(t = 0) = I_2 = I_1 \frac{L_1}{L_2}$ , так как сразу по-

сле извлечения сердечника магнитный поток через сечение дросселя не меняется и ток

скачком возрастает от значения  $I_1$  до  $I_2$  (поток  $L_1 I_1 = L_2 I_2 = \text{const}$ ).

$$\Rightarrow \text{Интегрируя уравнение } \frac{dI}{dt} + I \frac{R}{L_2} = \frac{\varepsilon}{L_2}, \text{ получим } I = \frac{\varepsilon}{R} \left[1 + \frac{L_1 - L_2}{L_2} \exp\left(-\frac{Rt}{L_2}\right)\right].$$

- 5)  $d\sin\varphi = 2\lambda_1$  и  $d\sin\varphi = 3\lambda_2$ .

$$\text{Следовательно, } \lambda_2 = \frac{2}{3} \lambda_1 \approx 447 \text{ нм}$$

**За каждую задачу выставляется целое число баллов согласно следующим критериям:**

4	Задача решена верно: приведено <i>обоснованное</i> решение и даны ответы на все вопросы задачи. Возможно наличие арифметических ошибок, не влияющих на ход решения и не приводящих к ошибке в порядке величины.
3	Ход решения задачи в целом верен и получены ответы на <i>все</i> вопросы задачи, но решение содержит вычислительные или логические ошибки (арифметические ошибки, влияющие на порядок величины; ошибки в размерности; незначительные ошибки в выкладках; ошибка в знаке величины; отсутствуют необходимые промежуточные доказательства и т.п.)
2	Задача не решена или решена частично, но <i>все</i> необходимые для решения физические законы сформулированы и <i>корректно применены</i> к задаче. При этом есть исходная система уравнений, выкладки начаты, но не доведены до конца, либо содержат грубые ошибки.
1	Задача не решена, но есть некоторые подвижки в её решении: использованы физические законы, на основе которых задача может быть решена, однако допущены ошибки на этапе составления исходной системы.
0	Задача не решена: основные физические законы перечислены не полностью или использованы законы, не имеющие отношения к задаче; подход к решению принципиально неверен; решение задачи не соответствует условию; попытки решить задачу не было.

**Оценка за письменную работу** равна половине суммы баллов по всем задачам, округленной в сторону ближайшего целого числа. Для итоговой оценки используются следующие критерии:

«отлично» (8, 9, 10)

«хорошо» (5, 6, 7)

«удовлетворительно» (3, 4)

«неудовлетворительно» (0, 1, 2)