

# Всероссийская олимпиада школьников по физике

11 класс, заключительный этап, 2006/07 год

ЗАДАЧА 1. В вакууме на расстоянии  $L = 10$  см друг от друга находятся протон  $p^+$  и антипротон  $p^-$ . Обе частицы имеют одинаковые массы  $m = 1,67 \cdot 10^{-27}$  кг и одинаковые по модулю заряды  $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$  Кл. В первый момент частицы неподвижны. При сближении частиц на расстояние  $x = 10^{-13}$  м происходит их аннигиляция с рождением  $\gamma$ -квантов.

- 1) Какие скорости будут иметь частицы при таком сближении?
- 2) Через какое время произойдёт аннигиляция частиц?
- 3) Нужно ли при решении задачи учитывать гравитационные силы, действующие между частицами? Ответ поясните расчётом.

Электрическая постоянная  $\epsilon_0 = 0,885 \cdot 10^{-11}$  Кл<sup>2</sup>/(Н · м<sup>2</sup>).

Гравитационная постоянная  $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$  Н · м<sup>2</sup>/кг<sup>2</sup>.

$$\text{ЛЭН } (\epsilon : \text{м } L_0 = \frac{z^2 e^2}{8 \pi \epsilon_0 x} \Lambda = \dots (\text{з } : \text{м } 901 \cdot L_1 \Gamma = \frac{x m_0^2 v^2}{2} = a \Gamma$$

ЗАДАЧА 2. На горизонтальной плоскости с коэффициентом трения  $\mu$  находятся два одинаковых малых диска с гладкой боковой поверхностью. Первый диск покоился, а второй налетел на него со скоростью  $\vec{v}$  в момент удара. Считая столкновение дисков упругим, но не обязательно лобовым, найдите, на каком расстоянии окажутся диски к моменту их остановки, если первый диск остановился, пройдя расстояние  $x_1$ . Чему равны наибольшее и наименьшее возможные конечные расстояния между дисками при данных значениях модуля скорости  $v$  и коэффициента трения  $\mu$ ?

Размерами дисков пренебречь. Ускорение свободного падения  $g$ .

$$\frac{v^2}{s} = \text{мин } s = \text{макс } s : \frac{6 \mu g}{2} = s \text{ мин } s + \frac{1}{2} x s z - \frac{1}{2} x z \Lambda = s$$

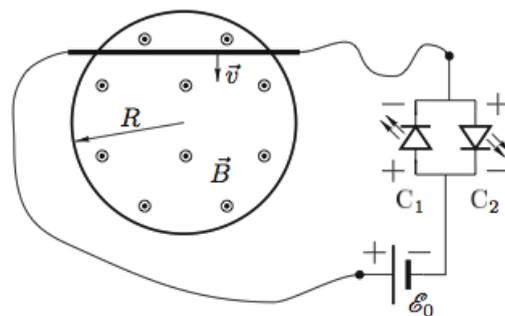
ЗАДАЧА 3. ТЭЦ снабжает жилой район горячей водой под высоким давлением, имеющей на выходе из котельной температуру  $t_0 = 120$  °С. Вода течёт по стальной трубе радиусом  $R = 20$  см, покрытой теплоизолирующим слоем минеральной ваты толщиной  $h = 4$  см и расположенной на открытом воздухе. Расход воды  $\mu = 100$  кг/с. Температура окружающего воздуха  $t_b = -20$  °С. Коэффициент теплопроводности ваты  $\chi = 0,08$  Вт/(м · К). Коэффициент теплопроводности стали на несколько порядков больше, чем у минеральной ваты. Найдите температуру воды на конце теплотрассы в двух случаях:

- 1) длина теплотрассы  $L_1 = 10$  км;
  - 2) длина теплотрассы  $L_2 = 100$  км.
- Удельная теплоёмкость воды  $c = 4200$  Дж/(кг · К).

*Примечание.* Количество теплоты  $\Delta q$ , проходящее через слой вещества площадью  $S$  и толщиной  $h$  за время  $\Delta t$  при разности температур  $\Delta T$ , определяется соотношением  $\Delta q = \chi \frac{S}{h} \Delta T \Delta t$ , где  $\chi$  — коэффициент теплопроводности.

$$\text{С } \epsilon z \approx z^2 \Gamma : \text{С } \text{III} \approx \Gamma^2 \Gamma : \frac{q r_0}{(q + \mu z) x} = v \text{ мин } s : \text{Т } \text{о} - \text{е} (a \Gamma - 0 \Gamma) + a \Gamma = x \Gamma$$

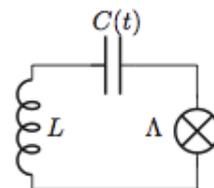
ЗАДАЧА 4. Между круглыми полюсами радиусом  $R = 5$  см большого электромагнита, создающего в зазоре однородное магнитное поле с индукцией  $B = 1$  Тл, перпендикулярно линиям магнитной индукции движется с постоянной скоростью  $v = 10$  м/с металлический стержень (рис.).



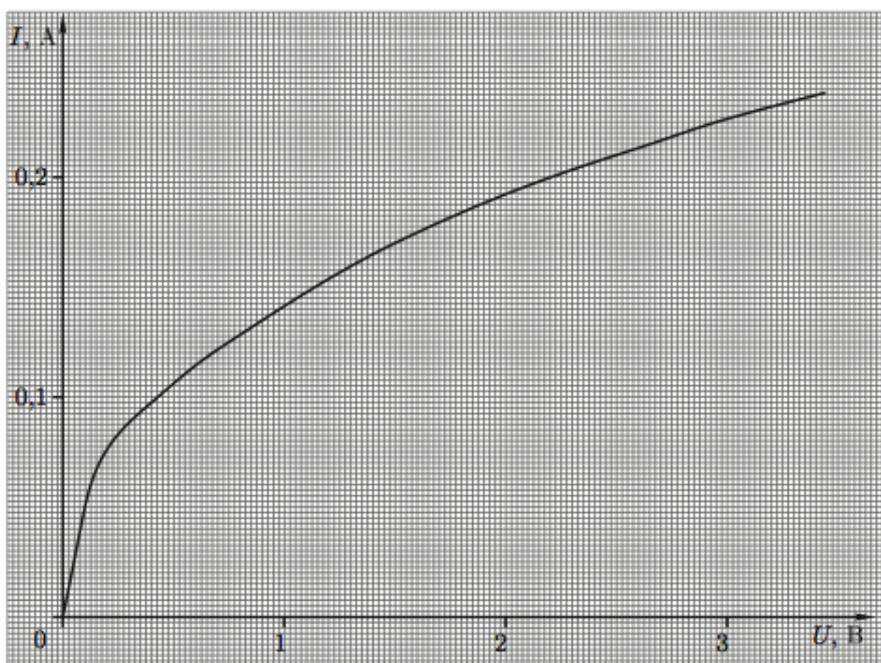
Концы стержня, длина которого больше  $2R$ , соединены гибкими проводами со схемой, включающей батарею с ЭДС  $\mathcal{E}_0 = 0,5$  В и два светодиода  $C_1$  и  $C_2$ , которые горят при напряжении  $U \geq 0,25$  В и определённой полярности, указанной на рисунке. Будем считать, что в начальный момент времени стержень касается окружности (т. е. начинает пересекать при своём движении линии магнитной индукции). Определите напряжение  $U(t)$  на светодиодах и найдите моменты времени их зажигания и гашения на интервале времени движения стержня в магнитном поле ( $0 \leq t \leq 2R/v$ ). Качественно постройте график зависимости  $U(t)$  и укажите на нём интервалы зажигания светодиодов  $C_1$  и  $C_2$ .

См. конспект лекции

ЗАДАЧА 5. В схеме, изображённой на рисунке, ёмкость конденсатора  $C$  периодически изменяется путём механического перемещения пластин. Допустим, что вследствие некоторого возмущения в схеме возникли малые колебания с амплитудой напряжения на конденсаторе порядка нескольких милливольт. В момент времени, когда напряжение на конденсаторе максимально, его ёмкость скачкообразно уменьшают на долю  $\varepsilon = |\Delta C|/C$ . Через четверть периода  $\frac{\pi}{2}\sqrt{LC}$  ёмкость скачком увеличивают до прежнего значения; ещё через четверть периода ёмкость вновь скачкообразно уменьшают на долю  $\varepsilon$  и т. д. При определённых условиях в схеме могут возбудиться незатухающие электрические колебания.



В схему включён нелинейный элемент (лампочка накаливания  $\Lambda$ ), вольт-амперная характеристика которой представлена на рисунке.



1) Найдите минимальное значение  $\varepsilon_{\min}$ , при котором в схеме возбуждаются незатухающие колебания, если  $L = 0,1$  Гн,  $C = 10^{-7}$  Ф.

2) Найдите амплитуду установившихся колебаний напряжения на лампочке, если  $\varepsilon = 3\%$ .

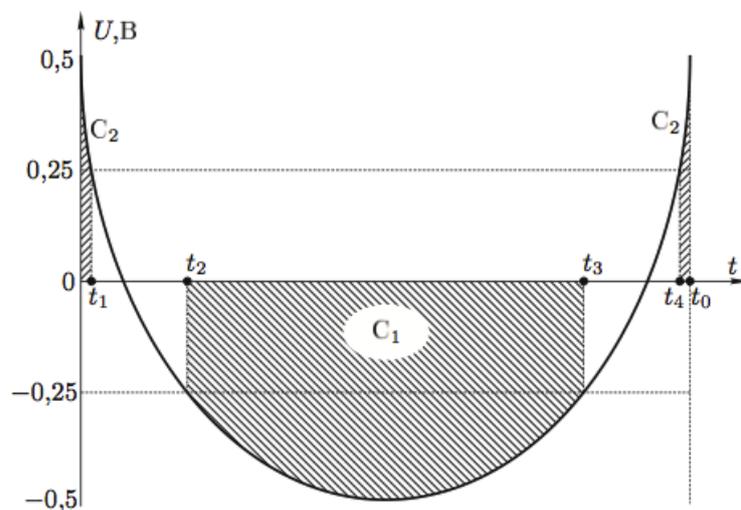
$$\varepsilon_{\min} \approx \frac{1}{2} \sqrt{\frac{L}{C}} \approx 2,5 \text{ В}$$

#### Ответ к задаче 4

Напряжение на светодиодах (разность потенциалов между верхней и нижней точками их подключения):

$$U(t) = \mathcal{E}_0 - 2Bv\sqrt{2Rvt - v^2t^2}.$$

График  $U(t)$  — полуэллипс ( $t_0 = 2R/v$ ):



Светодиод  $C_1$  светится на интервале  $[t_2; t_3]$ , где  $t_2 = 1,8$  мс,  $t_3 = 8,3$  мс.

Светодиод  $C_2$  светится на интервалах  $[0; t_1]$  и  $[t_4; t_0]$ , где  $t_1 = 0,15$  мс,  $t_4 = 9,85$  мс.