

## Демонстрационный вариант олимпиадного задания

### Часть 1: Физика лазерных технологий

#### Задача 1

Лазер излучает световые импульсы с энергией  $W$ . Частота повторения импульсов  $f$ . Коэффициент полезного действия, определяемый как отношение излучаемой энергии к потребляемой, составляет 10%. Какой объем воды нужно прогнать за время  $t$  через охлаждающую систему лазера, чтобы вода нагрелась не более чем на  $\Delta T$  градусов? Удельная теплоемкость воды  $c$ , плотность  $\rho$ .

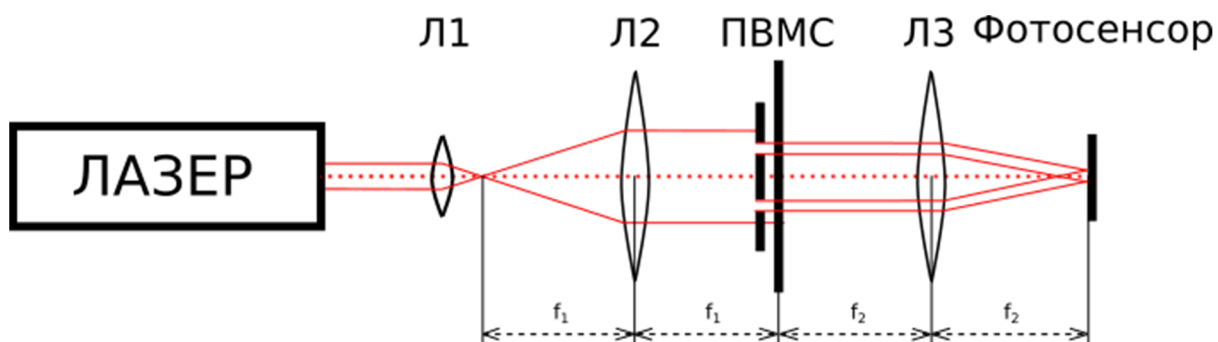
#### Задача 2

Для измерения модуляции фазового сдвига пространственно-временного модулятора света (ПВМС) используется двухлучевая интерференционная схема (см.рисунок). Перед ПВМС устанавливается экран с двумя одинаковыми круглыми отверстиями, на одну половину ПВМС подается некоторый сигнал, вторая половина выключена, соответственно первый луч получает некоторый фазовый набег, второй – нет. Величина фазового набега определяется по смещению интерференционных полос. Определите, какого размера должны быть отверстия и какое расстояние между их центрами, чтобы интерференционная картина занимала максимальную площадь фотосенсора камеры, но при этом регистрировалась бы полностью, а точность измерения фазового сдвига составляла  $1^\circ$ . Фотосенсор имеет  $1000 \times 1000$  пикселей размером  $2 \times 2$  мкм<sup>2</sup> каждый, фокусное расстояние линзы ЛЗ – 500 мм, длина волны излучения – 532 нм.

Считать что размер интерференционной картины соответствует размеру диска Эйри:

$$D = 1,22 \frac{\lambda f}{a}$$

где  $\lambda$  – длина волны,  $f$  – фокусное расстояние и  $a$  – апертура.



### Задача 3

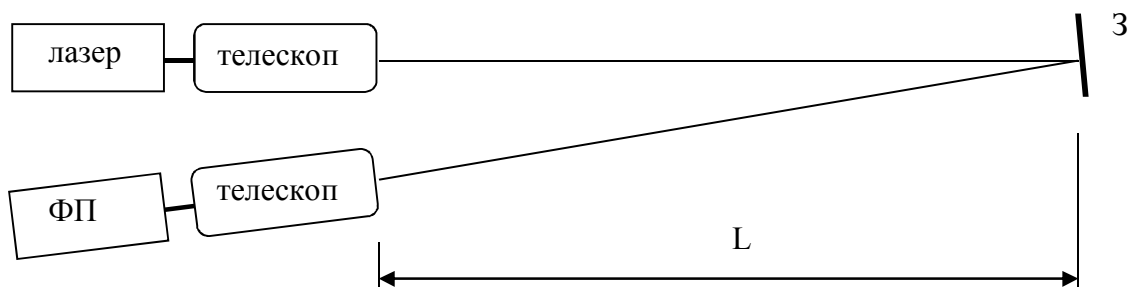
Для контроля малых концентраций газообразного аммиака у трассы газопровода на горизонтальном его длиной  $L=1$  км используется непрерывный перестраиваемый по частоте лазер с модуляцией частоты. Диапазон возможной перестройки лазера в несколько раз превышает полуширину линии поглощения аммиака равную  $\gamma=1.5$  ГГц. Модуляция частоты применяется для регистрации сигнала, пропорционального первой производной линии поглощения (более точно: равному отношению мощности первой гармоники тока фотоприемника к мощности постоянной составляющей тока). Амплитуда частотной модуляции  $\delta\nu=50$  МГц. Сечение поглощения на центральной частоте линии поглощения равно  $\sigma_0=3\cdot 10^{-18}$  см<sup>2</sup>. Можно считать, что в пределах диапазона перестройки мощность излучения лазера и коэффициент ослабления излучения атмосферным аэрозолем не зависят от частоты, а интегральная величина поглощения излучения на всей трассе – невелика (менее 0.05). В качестве удаленного отражателя используется плоское зеркало с коэффициентом отражения 100%. Определите (среднюю по длине трассы) концентрацию аммиака, если отношение мощности первой гармоники тока фотоприемника к мощности постоянной составляющей тока равно  $1.3\cdot 10^{-4}$ .

**Примечание:** коэффициент поглощения излучения газом связан с сечением поглощения  $\sigma$  и концентрацией  $N$  соотношением:  $\alpha(\nu) = \sigma(\nu) N(z)$ , а сечение поглощения связано с фактором линии  $q(\nu)$ , нормированным на произведение  $\pi\gamma$ , равенством:  $\sigma(\nu) = \sigma_0 q(\nu)$ .

Мощность излучения, регистрируемая фотоприемником:  $P^0 = k_0 \cdot k_a \cdot e^{-2\alpha L} \cdot P$ , где  $k_0$  – коэффициент эффективности оптической системы,  $k_a$  коэффициент ослабления излучения аэрозолем.

Пропускание излучения всей трассой  $T = \exp(-\alpha L)$ , где  $\alpha = \frac{\bar{N} \cdot \sigma_0 \cdot \gamma^2}{(\nu - \nu_0)^2 + \gamma^2}$

$\bar{N}$  – средняя по трассе концентрация аммиака, а  $q(\nu)$  соответствует лоренцевскому типу линии поглощения (т.к. давление атмосферное, уширение – однородное)



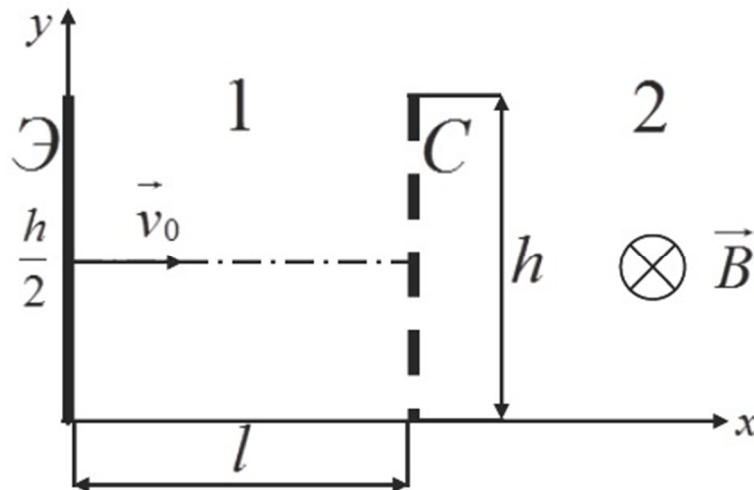
## Часть 2: Физика плазменных технологий

### Задача 1

Электрон вылетает с электрода «Э» (см. рисунок) с начальной скоростью  $v_0 = 10^6$  см/с в направлении против электрического поля (начальная координата электрона  $x=0, y=h/2$ ). В области «1» ( $x \in [0, l], y \in [0, h]$ ) распределение потенциала имеет вид:

$$\varphi(x) = \frac{E_0 l}{2} \sin\left(\frac{\pi}{2} \left(\frac{x}{l}\right)^{2017}\right)$$

$l = 1$  см - расстояние между электродом и сеткой «С»,  $E_0 = 5,7 \times 10^{-2}$  В/м. В области «2» приложено однородное магнитное поле  $B$  (потенциал электростатического поля в «2» постоянный). «С» и «Э» – прямоугольные пластины высоты  $h = 2$  [см] и бесконечной ширины. Найти такое минимальное магнитное поле  $B_{\min}$ , что электрон, пройдя область «2», вернётся на электрод Э со скоростью  $-v_0$  коллинеарной начальной скорости. Ответ записать в [Гс].



## Задача 2

Магнетрон – электровакуумный автогенератор СВЧ мощности с высоким КПД. Схема магнетрона показана на рисунке 1, где 1 – термокатод радиуса  $a$  и 2 – коаксиальный цилиндрический анод радиуса  $b$ . Движение электронов в скрещенных полях определяется не только магнитным полем  $B$ , но и значительной разностью потенциалов  $U$ . Цилиндрический коаксиальный диод с осевым магнитным полем можно использовать как вентиль. Существует критическое значение  $U_{\text{кр}}$ , меньше которого эмитированные электроны перестают касаться внутренней поверхности анода и их поступление на анод прекращается, происходит отсечка тока. Найти критическое значение разности потенциалов, если  $a = 8,5$  мм,  $b = 13,4$  мм,  $B = 0,17$  Тл. Начальной энергией электронов пренебречь.

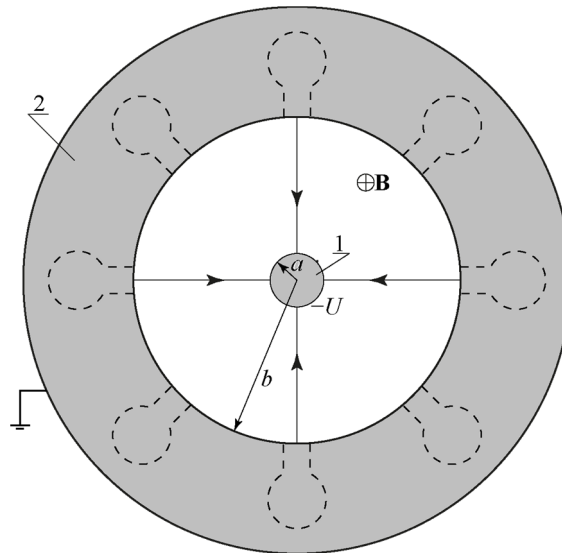


Рисунок 1.

### Задача 3

Получить выражение для полной ширины линии излучения на полувысоте при доплеровском уширении линии в газах и вид нормированного на единицу распределения интенсивности излучения по длинам волн.

Указание:

Воспользоваться «одномерным» распределением Максвелла для вероятности того, что атом массой  $m$  при температуре  $T$  имеет скорость в интервале  $(u, u+du)$

$$p(u)du = \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{1/2} \exp\left(-\frac{mu^2}{2kT}\right) du, \quad (1)$$

где  $k$  – постоянная Больцмана, и формулой для линейного эффекта Доплера