

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 ΔT градусов? Удельная теплоемкость воды c , плотность ρ .

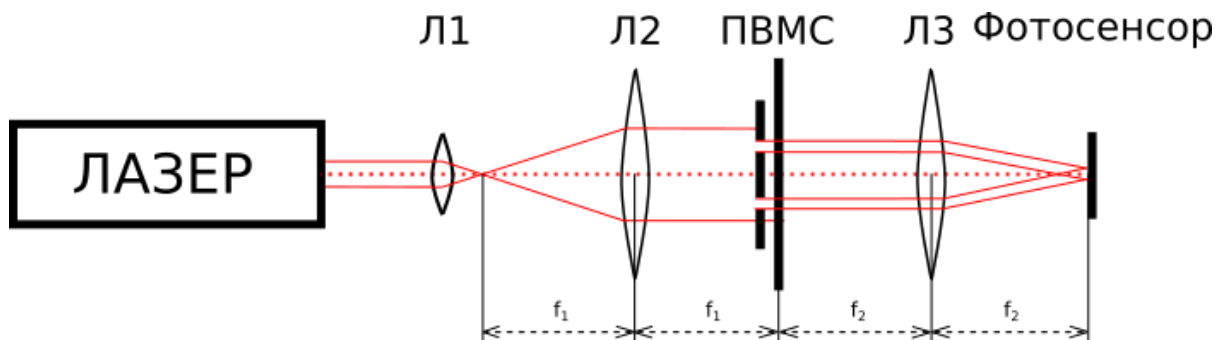
Задача 2

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° . Фотосенсор имеет 1000×1000 пикселей размером 2×2 мкм² каждый, фокусное расстояние линзы Л3 – 500 мм, длина волны излучения – 532 нм.

Считать что размер интерференционной картины соответствует размеру диска Эйри:

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

где λ – длина волны, f – фокусное расстояние и a – апертура.



Задача 3

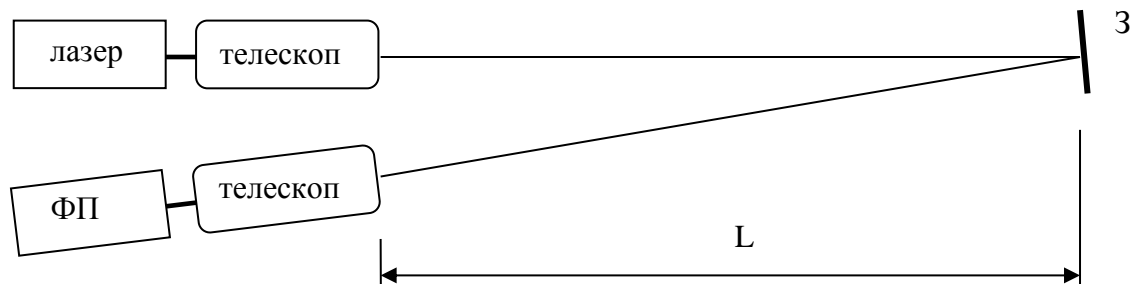
Для контроля малых концентраций газообразного аммиака у трассы газопровода на горизонтальном его длиной $L=1$ км используется непрерывный перестраиваемый по частоте лазер с модуляцией частоты. Диапазон возможной перестройки лазера в несколько раз превышает полуширину линии поглощения аммиака равную $\gamma=1.5$ 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 $\sigma_0=3\cdot 10^{-18}$ см². 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 σ и концентрацией N соотношением: $\alpha(\nu) = \sigma(\nu) N(z)$, а сечение поглощения связано с формой 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)



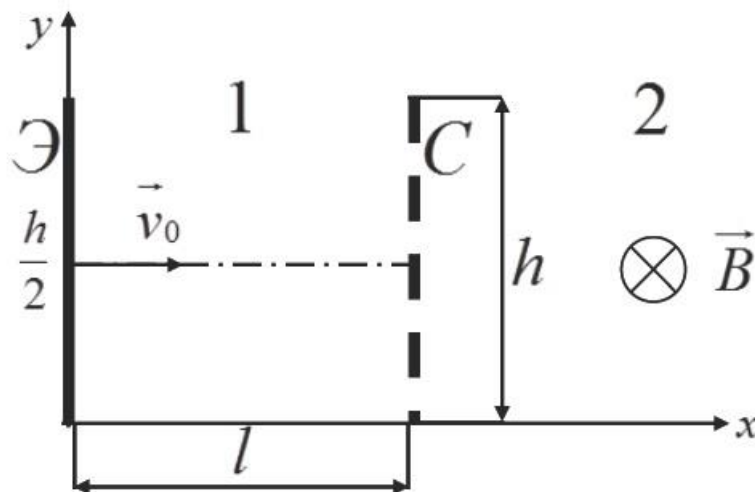
Часть 2: Физика плазменных технологий

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.

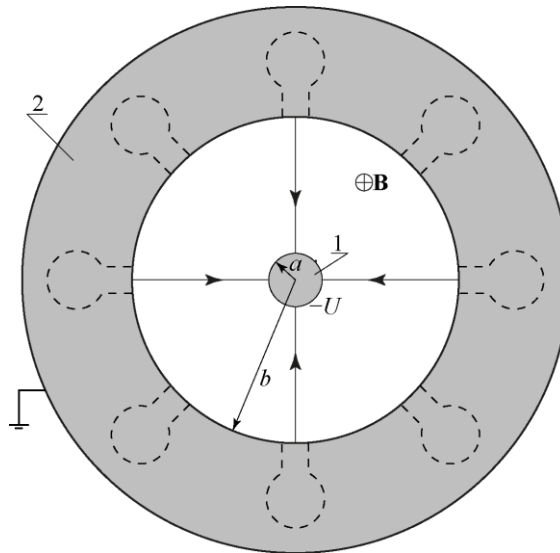


Рисунок 1.

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