



№ \_\_\_\_\_  
(регистрационный номер)

\_\_\_\_\_ (не заполнять)

ФИО участника \_\_\_\_\_

Вуз \_\_\_\_\_ Курс \_\_\_\_\_ Группа \_\_\_\_\_

Форма подготовки \_\_\_\_\_

(бакалавриат, специалитет, магистратура)

«СОГЛАСОВАНО»

Председатель Совета Федерального  
УМО в системе высшего образования  
по УГСН 14.00.00 «Ядерная  
энергетика и технологии»

\_\_\_\_\_  
О.В. Нагорнов

«УТВЕРЖДАЮ»

Заместитель председателя  
Оргкомитета ВСО по физике  
лазерных и плазменных  
технологий

\_\_\_\_\_  
А.П. Кузнецов

**Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»**

**Всероссийская студенческая олимпиада  
по физике лазерных и плазменных технологий**

**Всероссийский этап**

**Вариант № 1**



При выполнении заданий необходимо подробно комментировать свои решения и выделять ответы. Допускается использование черновиков, которые являются частью олимпиадной работы. Для расчетов можно использовать калькулятор.

1. Излучение непрерывного лазера ( $\lambda=0.5$  мкм) мощностью  $P=100$  мВт направляется на спутник с помощью телескопа, объектив которого имеет диаметр  $D=30$  см. Излучение, отраженное спутником, улавливается другим таким же телескопом и фокусируется на фотоприемник с пороговой чувствительностью  $P_{\text{пор}}=10^{-13}$  Вт. Оцените максимальное расстояние  $L_m$  до спутника, на котором отраженный сигнал еще может быть обнаружен. Поверхность спутника равномерно рассеивает падающий свет с коэффициентом отражения  $r=0.4$ . Диаметр спутника  $d=60$  см.

(10 баллов)

2. Найти добротность пустого резонатора для длины волны излучения  $\lambda = 10.6$  мкм при расстоянии между зеркалами  $l = 80$  см и коэффициентах отражения зеркал по интенсивности  $R_1 = 0.95$  и  $R_2 = 0.9$ . Затухание интенсивности излучения с течением времени описывается уравнением  $\frac{1}{I} \frac{dI}{dt} = -c\alpha_n$ , где  $c$  – скорость света,  $\alpha_n$  – пороговый коэффициент

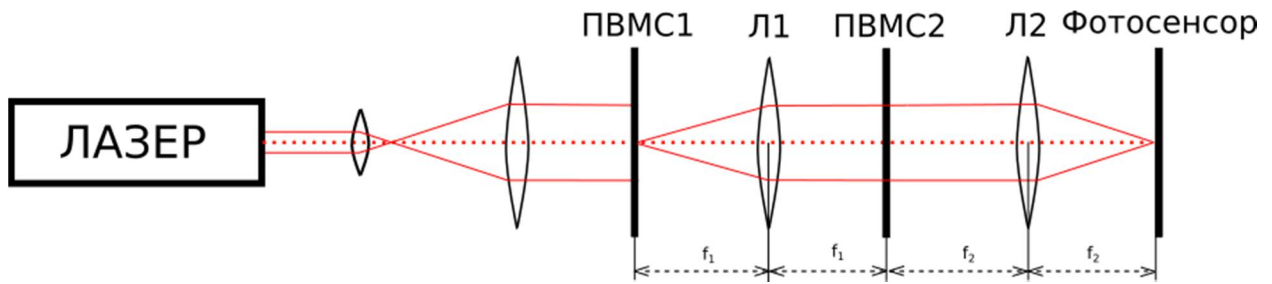
усиления:  $\alpha_n = -\frac{1}{2l} \ln(R_1 R_2)$ . Обусловленная затуханием излучения ширина линии излучения

дается выражением  $\Delta\nu = \frac{1}{2\pi\tau}$ , где  $\tau = \frac{1}{c\alpha_n}$  – постоянная затухания. Добротность резонатора

определяется как  $Q = \frac{\nu}{\Delta\nu}$ .

(15 баллов)

3. В системе оптического кодирования, построенной по классической  $4f$  схеме, используются два жидкокристаллических пространственно-временных модулятора света (ПВМС) – амплитудный, для ввода кодируемой информации, и фазовый, для отображения кодирующего дифракционного оптического элемента (ДОЭ). Амплитудный ПВМС1 расположен в передней фокальной плоскости линзы Л2, фазовый ПВМС2 – в задней фокальной плоскости линзы Л1 и передней фокальной плоскости линзы Л2, фотосенсор камеры расположен в задней фокальной плоскости линзы Л2. Амплитудный ПВМС1 имеет  $800 \times 800$  пикселей размером  $30 \times 30$  мкм<sup>2</sup> каждый, фазовый ПВМС2 имеет  $1920 \times 1920$  пикселей размером  $8 \times 8$  мкм<sup>2</sup> каждый, фотосенсор камеры имеет размер  $20 \times 20$  мм<sup>2</sup>. Кодирование осуществляется оптической сверткой\* кодируемого изображения и функции рассеяния точки кодирующего ДОЭ. Рассчитайте, какие фокусные расстояния должны быть у объективов, чтобы свертка заняла всю площадь фотосенсора камеры. Считать, что функция рассеяния точки ДОЭ занимает всю область дифракции фазового ПВМС2 и в два раза меньше изображения ПВМС1 на фотосенсоре.



\*Свертка двух функций  $f$  и  $g$ :

$$(f * g)(x) \stackrel{\text{def}}{=} \int_0^x f(y) g(x-y) dy = \int_0^x f(x-y) g(y) dy.$$

Свертка двух изображений размером  $M \times M$  и  $N \times N$  имеет размер  $(M+N) \times (M+N)$ .

(25 баллов)

4. В эксперименте по определению верхней границы плотности электронов в плазме используются генератор электромагнитных волн с варьируемой частотой волны и приемник излучения, между которыми помещается плазма. Регистрируя критическую частоту, при которой приемник показывает отсутствие сигнала, определяют верхнюю границу плотности электронов. Найдите критическую частоту  $\omega_{\text{кр}}$  и плотность электронов  $n_e$ , если уравнение дисперсии для электромагнитных волн в плазме имеет вид

$$k^2 \cdot c^2 = \omega^2 - \omega_p^2,$$

где  $\omega$  — частота электромагнитной волны,  $k = 2\pi/\lambda$  — волновое число,  $\omega_p = \sqrt{4\pi \cdot e^2 \cdot n_e / m_e} = 10^{12}$  Гц — плазменная частота,  $c$  — скорость света в вакууме.

(10 баллов)

5. Оценить угол рефракции  $dr/dz$  излучения при выходе из столба дуги в Ar при атмосферном давлении длиной  $l = 10$  см, радиусом  $r = 0.5$  см, температурой газа на оси  $T = 5000$  К и плотностью электронов на оси  $n_e = 10^{14}$  см<sup>-3</sup> при просвечивании столба в продольном направлении излучением He-Ne-лазера с длиной волны  $\lambda = 0.63$  мкм. Считать, что плотность электронов на внешней границе дуги равна нулю, плотность газа на границе равна нормальной плотности  $N_{\text{Ar}0} = 2.7 \cdot 10^{19}$  см<sup>-3</sup> и температура  $T_0 = 300$  К. Давление газа везде одинаково.

Указание: воспользоваться следующим выражением для показателя преломления аргоновой плазмы

$$n = 1 + 1.04 \cdot 10^{-23} (1 + 5.6 \cdot 10^{-11} \cdot \lambda^{-2} - 4.32 \cdot 10^9 \cdot \lambda^2 \cdot n_e / N_{\text{Ar}}) N_{\text{Ar}} \quad (1)$$

(здесь плотности электронов  $n_e$  и аргона  $N_{\text{Ar}}$  выражены в см<sup>-3</sup>, а  $\lambda$  — в см) и уравнением светового луча



$$\frac{d}{dz} \left( n \frac{dr}{dz} \right) = \nabla n, \quad (2)$$

где  $z$  и  $r$  – соответственно продольная и поперечная координата.

(15 баллов)

6. Электрон находится в центре цилиндрического соленоида с постоянным однородным магнитным полем с индукцией  $\vec{B}$ . Соленоид начинают двигать поперёк его магнитного поля с постоянной скоростью  $\vec{v}$  много меньшей скорости света. Найдите траекторию движения электрона в лабораторной системе отсчета для случаев: а) электрону сообщают в начальный момент скорость равную скорости соленоида, б) электрон в начальный момент покоится. Объясните полученный результат в лабораторной системе отсчета.

Указание: для объяснения можно, например, воспользоваться преобразованиями Лоренца

$$\begin{aligned} E'_{\parallel} &= E_{\parallel}; & B'_{\parallel} &= B_{\parallel}; \\ E'_{\perp} &= \frac{E_{\perp} + \frac{1}{c} [\vec{v}, \vec{B}]}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}; & B'_{\perp} &= \frac{B_{\perp} - \frac{1}{c} [\vec{v}, \vec{E}]}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}. \end{aligned} \quad (1)$$

или уравнениями Максвелла

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{rot} \mathbf{H} &= \frac{4\pi}{c} \mathbf{j} + \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}, \\ \operatorname{rot} \mathbf{E} &= -\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}, \\ \operatorname{div} \mathbf{B} &= 0, \\ \operatorname{div} \mathbf{D} &= 4\pi \rho. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

(25 баллов)

---

### Справочные материалы

$$q_e = 4,8 \cdot 10^{-10} \text{ СГС} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-28} \text{ г}$$

$$c = 3 \cdot 10^{10} \text{ см/с}$$