

# ЭКЗАМЕНАЦИОННАЯ КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА ПО ФИЗИКЕ

Для студентов 2-го курса МФТИ

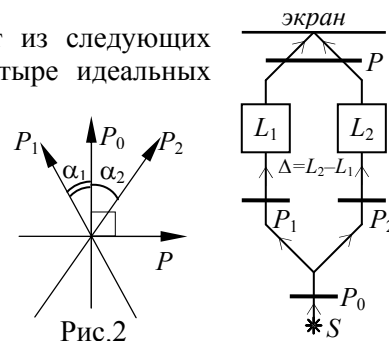
06 июня 2011г.

ФИО	№ группы

**ВАРИАНТ А**

1	2	3	4	5	Σ	оценка

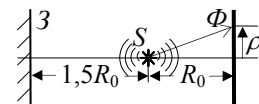
**1А.** Двухлучевой интерферометр, схема которого показана на рис. 1, состоит из следующих элементов: 1) монохроматический источник неполяризованного света  $S$ , 2) четыре идеальных поляроида ( $P_0, P_1, P_2, P$ ), 3) экран для наблюдения интерференционных полос. На схеме  $L_1$  и  $L_2$  обозначают оптические пути, которые проходит свет от источника до точки наблюдения на экране. Взаимное положение разрешённых направлений поляроидов изображено на рис. 2. Рассмотрите случай  $\alpha_1 = 15^\circ, \alpha_2 = 30^\circ$ .



1. Определите видность интерференционных полос.
2. Какая полоса (светлая или тёмная) будет наблюдаться в центре экрана при  $\Delta = L_2 - L_1 = 0$  ?

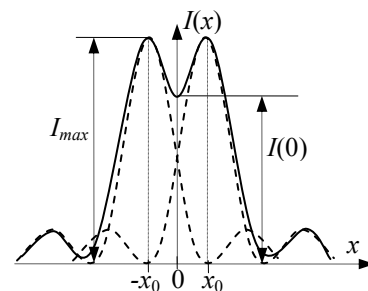
**2А.** Зависимость показателя преломления  $n$  некоторой прозрачной среды от частоты  $\omega$  в диапазоне видимого света можно приближённо описать с помощью соотношения  $n(\omega) = n_0 - A/(\omega - \omega_0)$ ,  $\omega < \omega_0$ , где  $\omega_0 = 3,9 \cdot 10^{15} \text{ c}^{-1}$ ,  $n_0 = 1,5$ ,  $A = 1,9 \cdot 10^{13} \text{ c}^{-1}$ . Каким должно быть основание  $b$  трёхгранной призмы, изготовленной из этого вещества, для разрешения красных линий водорода ( $\lambda_H = 656,45 \text{ нм}$ ) и дейтерия ( $\lambda_D = 656,27 \text{ нм}$ )?

**3А.** Голограмма точечного источника  $S$ , излучающего красный свет с длиной волны  $\lambda_1 = 600 \text{ нм}$ , была получена по схеме, изображённой на рисунке. Источник находился на расстоянии  $R_0 = 100 \text{ см}$  от фотопластинки  $\Phi$ . На расстоянии  $1,5R_0$  от источника располагалось плоское зеркало  $Z$ . Свет от источника, отражённый от зеркала, играл роль опорной волны. Полученная таким образом после обработки фотоматериала пластинка была просвечена плоской нормально падающей на голограмму волной с длиной волны  $\lambda_2 = 400 \text{ нм}$  (фиолетовый свет). Пренебрегая для простоты всеми несущественными постоянными фазовыми сдвигами, найдите распределение интенсивности  $I(\rho)$  света на фотопластинке при записи голограммы. Считая, что амплитудная прозрачность голограммы пропорциональна интенсивности света при записи, определите положение действительного и мнимого изображений источника  $S$ . Укажите положения изображений на рисунке. Размер фотопластинки много меньше  $R_0$ .



**4А.** Современная космическая навигационная система определения наземных координат GPS основана на измерениях дальности наземного приёмника потребителя от нескольких искусственных спутников Земли (ИСЗ), координаты которых в любой момент времени известны с высокой точностью, по времени прохождения импульсного сигнала от ИСЗ до приёмника. Земная атмосфера состоит из неионизированного приземного слоя некоторой высоты  $H$  — тропосферы и ионизированной части на высотах  $h > H$  — ионосферы. Определить ошибку  $\Delta$  при измерении дальности  $L$  до ИСЗ, вызванную прохождением сигнала через атмосферу Земли. Считать, что спутник находится в зените в высоких слоях ионосферы ( $L > H$ ). Несущая частота радиосигнала спутника  $f_0 = 1227 \text{ МГц}$ . В тропосфере показатель преломления радиоволн  $n(h) = 1 + 3 \cdot 10^{-4} \cdot (1 - h/H)$ ;  $H = 10 \text{ км}$ ; при  $h > H$  без учёта влияния ионизации  $n = 1$ . Считать известным полное число электронов на пути сигнала (т.е. их число в столбе сечением  $1 \text{ см}^2$  и высотой  $L$ )  $N = \int_0^L N_e(h) dh = 2 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$ ,  $N_e$  — концентрация свободных электронов. Частота радиоволн значительно превышает частоту плазменных колебаний.

**5А.** На рисунке показана картина интенсивности  $I(x)$ , возникающая в плоскости изображения двух некогерентных точечных источников. Изображения источников расположены симметрично относительно оси оптической системы на расстоянии друг от друга  $\Delta x = 2x_0$ , соответствующем пределу разрешения по Рэлю. Известно, что «провал» в суммарной картине интенсивности  $I(x)$  (в точке  $x = 0$  на оси оптической системы) составляет примерно 20% от максимальной интенсивности  $I_{max}$  (т.е. от интенсивности в точках  $x_0$  и  $-x_0$ , где возникает «геометрическое» изображение источников):  $I(0) = 0,8I_{max}$ . Будет ли заметен «провал», по которому судят, согласно критерию Рэля, о наличии двух источников, если заменить некогерентные источники одинаковыми когерентными источниками, излучающими с разностью фаз  $\phi = \pi/3$  и расположенными на том же расстоянии  $\Delta x$  друг от друга?



1. Определить в этом случае отношение  $I(0)/I_{max} = I(0)/I(x_0)$ .
2. При какой разности фаз  $\phi$  провал в суммарной картине интенсивности отсутствует, т.е.  $I(0) = I(x_0)$ ?

# ЭКЗАМЕНАЦИОННАЯ КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА ПО ФИЗИКЕ

Для студентов 2-го курса МФТИ

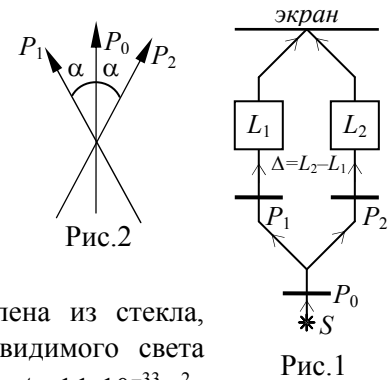
06 июня 2011г.

ФИО	№ группы

## ВАРИАНТ Б

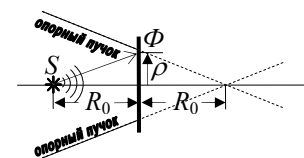
1	2	3	4	5	$\Sigma$	оценка

**1Б.** Двухлучевой интерферометр, схема которого показана на рис. 1, состоит из следующих элементов: 1) монохроматический источник неполяризованного света  $S$ ; 2) три идеальных поляроида ( $P_0, P_1, P_2$ ); 3) экран. На схеме  $L_1$  и  $L_2$  обозначают оптические пути, которые проходит свет от источника до точки наблюдения на экране. Взаимное положение разрешённых направлений поляроидов представлено на рис. 2. Определите видность  $V$  интерференционной картины для двух случаев: 1)  $\alpha = \alpha_1 = 30^\circ$  и 2)  $\alpha = \alpha_2 = 60^\circ$ . Какая полоса (светлая или тёмная) будет наблюдаться в центре интерференционной картины (при разнице хода  $\Delta = 0$ )?



**2Б.** Трёхгранная призма спектрографа с шириной основания  $b = 1 \text{ см}$  изготовлена из стекла, зависимость показателя преломления  $n$  которого от частоты  $\omega$  в диапазоне видимого света приближённо описывается соотношением  $n(\omega) = n_0 + A\omega^2$ . Известно значение  $A = 1,1 \cdot 10^{-33} \text{ с}^2$ . Определите разрешающую способность спектрографа в окрестности  $\lambda = 600 \text{ нм}$ . Можно ли с помощью этого прибора разрешить жёлтый дублет Na ( $\lambda_1 = 589,0 \text{ нм}$ ,  $\lambda_2 = 589,6 \text{ нм}$ )?

**3Б.** На рис. изображена схема Габора для записи голограммы точечного источника  $S$ , расположенного на расстоянии  $R_0 = 1 \text{ м}$  от фотопластинки  $\Phi$ . В качестве опорной волны использовался когерентный пучок, сходящийся на расстоянии  $R_0$  за фотопластинкой. При записи голограммы использовался свет с длиной волны  $\lambda_1$ . Полученная таким образом после обработки фотоматериала голограмма просвечивалась светом точечного источника с длиной волны  $\lambda_2$ , расположенного на расстоянии  $R_0/2$  перед голограммой. Пренебрегая для простоты всеми несущественными постоянными фазовыми сдвигами и предполагая, что амплитуды опорной и предметной волн одинаковы, найдите распределение интенсивности  $I(\rho)$  света на фотопластинке при записи голограммы. Считая, что амплитудная прозрачность голограммы пропорциональна интенсивности света при записи, определите положения действительного и мнимого изображений. Укажите положения изображений на рисунке для случая  $k_1/k_2 = \lambda_2/\lambda_1 = 2/3$ . При каком условии оба изображения источника будут мнимыми? Размер фотопластинки много меньше  $R_0$ .



**4Б.** Земная атмосфера состоит из тропосферы, которая простирается от поверхности Земли до некоторой высоты  $H$ , и ионосферы ( $h > H$ ). В тропосфере отсутствует ионизация воздуха и показатель преломления радиоволн равен  $n(h) = 1 + 3 \cdot 10^{-4} \cdot (1 - h/H)$ , где  $H = 7 \text{ км}$ . При  $h > H$  без учёта влияния ионизации  $n = 1$ . В ионосфере воздух ионизирован. Предположим, что искусственный спутник Земли (ИСЗ) находится в высоких слоях ионосферы в зените наземной станции приёма. Спутник излучает радиоволны некоторой частоты  $\omega$ . Определите частоту  $\omega$  радиоволн, для которых фазовый путь (в радиофизике — синоним оптического пути) в атмосфере  $\Phi = \int_0^L n(h) dh$  равен истинному расстоянию  $L$  от ИСЗ до наземной станции приёма. Считать известным полное число  $N$  электронов на пути сигнала (т.е. их число в цилиндре сечением  $1 \text{ см}^2$  и высотой  $L$ )  $N = \int_0^L N_e(h) dh = 5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$ ,  $N_e$  — концентрация свободных электронов. Частота радиоволн значительно превышает частоту плазменных колебаний.

**5Б.** Два одинаковых некогерентных точечных источника  $S_1$  и  $S_2$  находятся в «предметной плоскости» на расстоянии  $z$  от объектива диаметра  $D$  (симметрично относительно оси оптической системы, см. рис.1). На рис.2 показана картина интенсивности  $I(x)$  в плоскости изображения (оптически сопряжённой с предметной плоскостью). Источники  $S_1$  и  $S_2$  находятся на пределе разрешения по Рэлю, т.е. на расстоянии друг от друга  $\Delta x = 1,22 \lambda z/D$ . Известно, что «провал» в суммарной картине интенсивности  $I(x)$  (в точке  $x = 0$  на оси оптической системы) составляет примерно 20% от максимальной интенсивности  $I_{max}$  (т.е. от интенсивности в точках  $x_0$  и  $-x_0$ , где возникает «геометрическое» изображение источников):  $I_0 = 0,8 I_{max}$ . Как изменится отношение  $I(0)/I(x_0)$ , если заменить некогерентные источники когерентными, синфазно излучающими источниками, находящимися на том же расстоянии  $\Delta x$  друг от друга? Как изменится это отношение, если источники излучают с разностью фаз  $\pi/2$ ?

