

# ЭКЗАМЕНАЦИОННАЯ КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА ПО ФИЗИКЕ

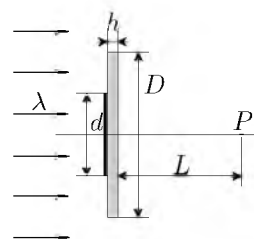
1	2	3	4	5	Σ

Для студентов 2-го курса МФТИ.

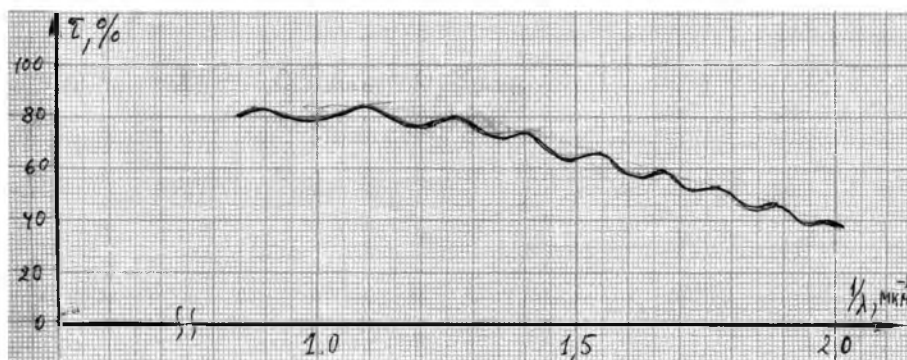
6 июня 2007 года

## ВАРИАНТ А

**1А.** В параллельный пучок радиоизлучения с длиной волны  $\lambda = 3$  см (см. рис.) установили диск из диэлектрика с показателем преломления  $n = 1,5$ , диаметром  $D = 60$  см. В точке  $P$ , находящейся на оси диска на расстоянии  $L = 1$  м от него, требуется получить нулевую интенсивность излучения. Для этого предлагается вплотную к диску поместить соосно с ним круглую металлическую пластину. Каким надо взять диаметр пластины? Какой при этом должна быть толщина  $h$  диска?



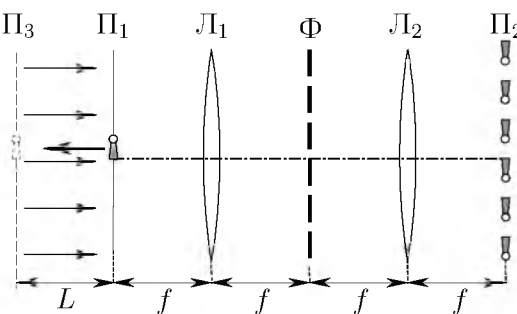
**2А.** При просвечивании тонкой плёнки толщиной  $d = 1,0$  мкм. в диапазоне ближнего ИК и видимого света была получена зависимость коэффициента пропускания  $\tau = f(1/\lambda)$ , изображённая на рисунке. Покажите, что в данном диапазоне длин волн показатель преломления плёнки можно приближённо описать выражением  $n(\lambda) = B/\lambda$ , где  $B$  — некоторая постоянная величина, и определите значение этой величины.



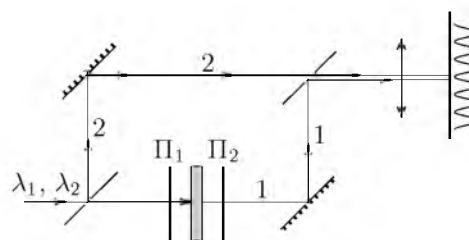
**3А.** Источник света излучает в спектральном интервале  $\Delta\lambda = 200$  нм со средней длиной волны  $\lambda = 600$  нм. Требуется выполнить исследование спектрального состава излучения источника с высоким разрешением не хуже  $\delta\lambda = 2 \cdot 10^{-3}$  нм. Для этой цели может быть использован спектрограф с дифракционной решёткой. В лаборатории имеются три высококачественные решётки, их параметры указаны в таблице, в которой  $n$  — число штрихов на миллиметр,  $L$  — полный размер решётки,  $b$  — ширина прозрачных щелей каждого периода решётки. Какую из этих решёток следует использовать для проведения указанных исследований?

№	$n$ ш/мм	$L$ (см)	$b$ (мкм)
1	500	10	0,4
2	1000	10	0,25
3	2000	10	0,25

**4А.** На рисунке показана оптическая система, состоящая из двух одинаковых линз  $L_1$  и  $L_2$  с фокусным расстоянием  $f = 50$  см. В их общей фокальной плоскости  $\Phi$  установлена решётка с узкими щелями и периодом  $d_0 = 2,5 \cdot 10^{-2}$  см. Предмет («пешка», изображённая на рисунке) располагается во «входной» плоскости  $\Pi_1$  (передняя фокальная плоскость линзы  $L_1$ ) и освещается параллельным пучком света ( $\lambda = 5 \cdot 10^{-5}$  см). При этом в «выходной» плоскости  $\Pi_2$  (задней фокальной плоскости линзы  $L_2$ ) возникает сфокусированное и при этом размноженное (мультиплицированное) изображение предмета. Определите: 1) период возникающей в выходной плоскости периодической структуры — мультиплицированного изображения; 2) при каком смещении предмета влево от входной плоскости (из  $\Pi_1$  в некоторую плоскость  $\Pi_3$ ) изображение предмета (и при этом мультиплицированное) вновь окажется сфокусированным.



**5А.** Излучение точечного источника неполяризованного света в интерферометре Майкельсона содержит две близкие спектральные линии одинаковой интенсивности  $\lambda_1 = 5000$  Å и  $\lambda_2 = 5050$  Å. В одно из плеч интерферометра устанавливается «монохроматор» — два скрещенных поляроида (с ортогональными разрешёнными направлениями), между которыми располагается кристаллическая пластинка в  $\lambda/2$  для линии  $\lambda_1$ . Главные оси пластинки составляют угол  $45^\circ$  с разрешёнными направлениями поляридов, а  $\Delta n = n_e - n_o = 0,005$ . 1) При какой минимальной толщине пластинки «монохроматор» не пропустит (отфильтрует) компоненту  $\lambda_2$ ? 2) Какова при этом будет видность наблюдаемой интерференционной картины?



# ЭКЗАМЕНАЦИОННАЯ КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА ПО ФИЗИКЕ

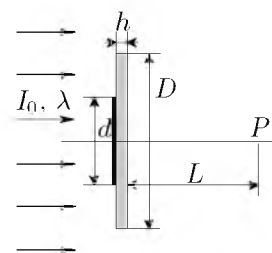
1	2	3	4	5	$\Sigma$

Для студентов 2-го курса МФТИ.

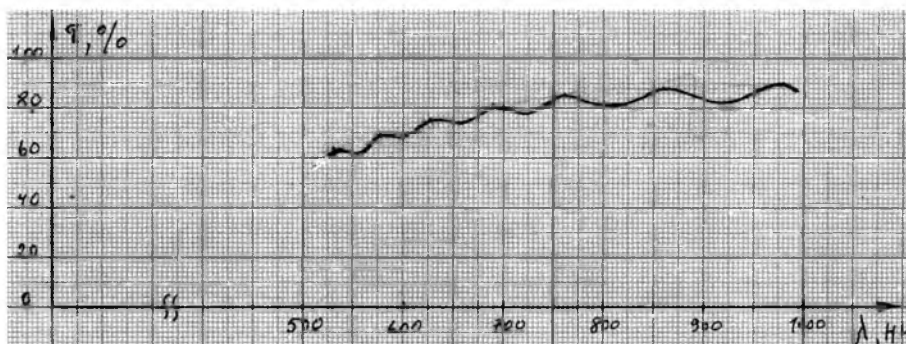
6 июня 2007 года

## ВАРИАНТ Б

**1Б.** В параллельный пучок радиоизлучения с длиной волны  $\lambda = 3$  см и интенсивностью  $I_0$  внесли диск из диэлектрика с показателем преломления  $n = 1,5$ , диаметром  $D = 60$  см и толщиной  $h = 2$  см (см. рис.). В точке  $P$ , находящейся на оси диска на расстоянии  $L = 1,5$  м от него, расположен приёмник излучения. Для повышения интенсивности излучения в точке  $P$  вплотную к диску приставили соосно с ним круглую металлическую пластину диаметром  $d$ . Определить этот диаметр, обеспечивший максимум интенсивности в этих условиях. Чему равен этот максимум  $I_{\max}$ ?

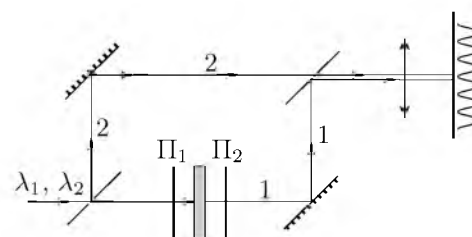


**2Б.** При изучении спектра пропускания тонкой диэлектрической плёнки была получена зависимость коэффициента пропускания  $\tau$  от длины волны  $\lambda$ , изображённая на рисунке. Предполагая, что диэлектрическая постоянная  $\epsilon$  плёнки не зависит от длины волны в данном диапазоне и равна  $\epsilon = 2,25$ , определите толщину плёнки  $d$ . Покажите, что экспериментальная кривая приблизительно соответствует предположению  $\epsilon = \text{const}$ .

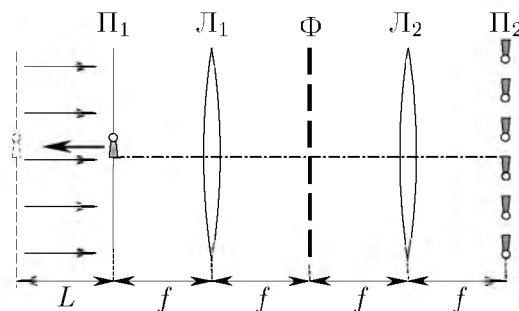


**3Б.** Спектральная линия некоторого вещества имеет среднюю длину волны  $\lambda = 630$  нм и спектральную ширину  $\Delta f = 3 \cdot 10^9$  Гц. Требуется выполнить исследование точкой структуры этой линии с разрешением не хуже  $\delta\lambda = 2 \cdot 10^{-5}$  нм. Для этой цели в лаборатории имеются три интерферометра Фабри–Перо со следующими параметрами: базы интерферометров (расстояние между зеркалами)  $L_1 = 10$  см,  $L_2 = 5$  см,  $L_3 = 2,5$  см; энергетический коэффициент отражения зеркал  $r_1 = 99\%$ ,  $r_2 = 95\%$ ,  $r_3 = 99,5\%$ . Какой из этих интерферометров следует использовать для проведения указанных исследований?

**4Б.** В интерференционной схеме (см. рис.) используется точечный источник естественного света, излучение которого содержит две близкие спектральные линии  $\lambda_1 = 5000$  Å и  $\lambda_2 = 5100$  Å одинаковой интенсивности. В одном из плеч интерференционной схемы установлен фильтр, представляющий собой два поляроида  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$  с совпадающими разрешёнными направлениями, между которыми расположена кристаллическая пластинка в  $\lambda/2$  для линии  $\lambda_2$ . Главные направления пластинки составляют угол  $45^\circ$  с разрешёнными направлениями поляроидов, а  $\Delta n = n_e - n_o = 0,005$ . 1) Какова минимальная толщина кристаллической пластинки, если на выходе пластинки свет с длиной волны  $\lambda_1$  оказался поляризованным по кругу? 2) Какова при этом видимость наблюдаемой на экране Э интерференционной картины?



**5Б.** В оптической системе, изображённой на рисунке, в общей фокальной плоскости линз  $L_1$  и  $L_2$  (плоскость Ф) расположена решётка с узкими щелями. При этом в выходной плоскости  $\Pi_2$  возникает мультиплицированное (размноженное) изображение объекта, расположенного во входной плоскости  $\Pi_1$  и освещённого параллельным пучком света с длиной волны  $\lambda = 5 \cdot 10^{-5}$  см. Фокусное расстояние линз  $f = 25$  см. Определите период фильтрующей решётки в плоскости Ф, если расстояние между соседними элементами размноженного изображения (период мультипликации)  $d = 0,25$  мм. На какое расстояние  $L$  влево от входной плоскости  $\Pi_1$  можно сдвинуть объект, чтобы в плоскости  $\Pi_2$  вновь возникло прежнее сфокусированное мультиплицированное изображение.



# ЭКЗАМЕНАЦИОННАЯ КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА ПО ФИЗИКЕ

1	2	3	4	5	$\Sigma$

Для студентов 2-го курса МФТИ.

5 июня 2008 года

## ВАРИАНТ А

### 1А. Интерферометр Маха–Цапдера

состоит из двух «глухих» зеркал  $Z_2$  и  $Z_4$ , и двух полупрозрачных зеркал  $Z_1$  и  $Z_3$ . В оба плеча интерферометра помещены одинаковые кюветы длиной  $l = 50$  см, торцы которых закрыты одинаковыми плоскопараллельными стеклянными пластинами (рис. 1). В обеих кюветах находится воздух; давление в одной из них равно атмосферному  $P_1 = P_{\text{атм}}$ ; в другой кювете можно изотермически создавать избыточное давление  $\Delta P = P_2 - P_{\text{атм}}$ . Интерференционная картина исследуется с помощью фотоприёмника, имеющего достаточно малые размеры. Интерферометр отъюстирован так, что при равных давлениях в кюветах фотоприёмник находится в максимуме интенсивности интерференционной полосы пулевого порядка. В эксперименте была получена зависимость силы тока  $i$  фотоприёмника от избыточного давления (рис. 2). Предполагая, что изменение  $\Delta n$  показателя преломления воздуха пропорционально изменению  $\Delta N$  концентрации молекул ( $\Delta n = \alpha \Delta N$ ,  $\alpha = \text{const}$ ), определите из экспериментальных данных:

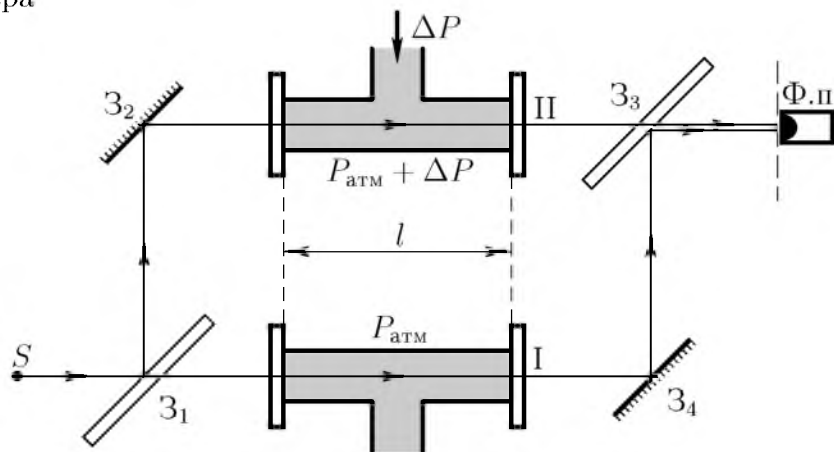


Рис. 1

1. Коэффициент пропорциональности  $\alpha$ .
  2. Показатель преломления воздуха при нормальных условиях ( $P = 10^5$  Па,  $T = 0$  °С).
  3. Оцените относительную ширину  $\Delta\lambda/\lambda$  спектра источника света.
- Постоянная Больцмана  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К, число Лошмидта  $\Lambda = 2,7 \cdot 10^{25}$  м $^{-3}$  (число молекул в 1 м $^3$  при нормальных условиях), длина волны света  $\lambda = 600$  нм.

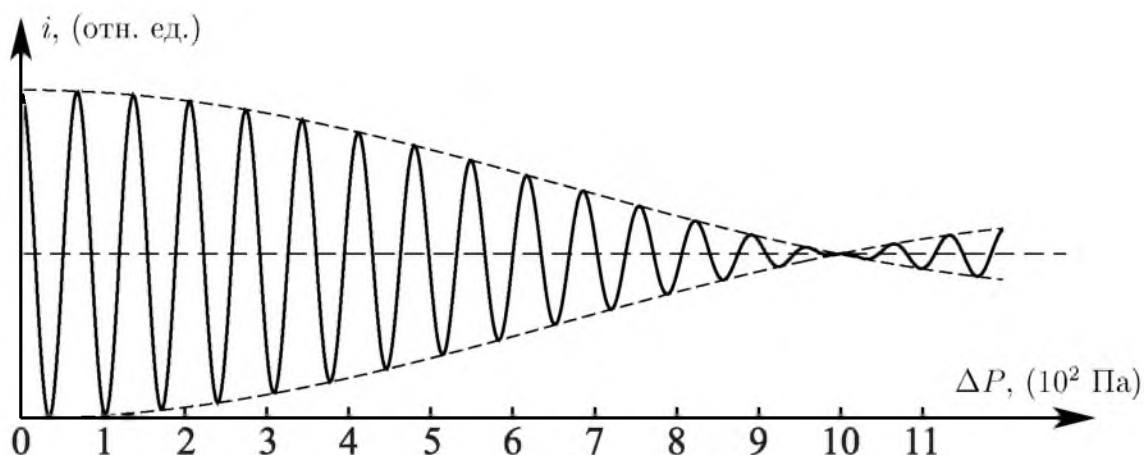


Рис. 2

**2А.** При использовании в интерференционных опытах протяжённых источников допустимая разность хода  $\Delta_{\max}$  может зависеть не только от немонохроматичности света, но и от размеров источника. Аналогично радиусу поперечной пространственной когерентности  $\rho_{\perp}$  (в направлении, перпендикулярном лучу), можно ввести понятие продольного радиуса пространственной когерентности  $\rho_{\parallel}$ . Рассмотрим удалённый квазимонохроматический источник света с угловым размером  $\varphi \ll \pi$ . Выделим на пути луча две точки  $P_1$  и  $P_2$  на расстоянии  $\rho$  друг от друга и разместим в этих точках два небольших полупрозрачных зеркала (или просто два рассеивателя) так, чтобы отражённый свет падал на экран (рис. 3). Если колебания в точках  $P_1$  и  $P_2$  когерентны, то на экране возникнет интерференционная картина, причём разность хода в центре экрана будет равна  $\rho$ . Оцените  $\rho_{\parallel}$ , то есть расстояние между точками  $P_1$  и  $P_2$ , при котором исчезнет интерференционная картина в центре экрана. Оцените также степень монохроматичности  $\Delta\lambda/\lambda$  излучения, при которой  $\rho_{\parallel}$  перестанет зависеть от  $\Delta\lambda$ .

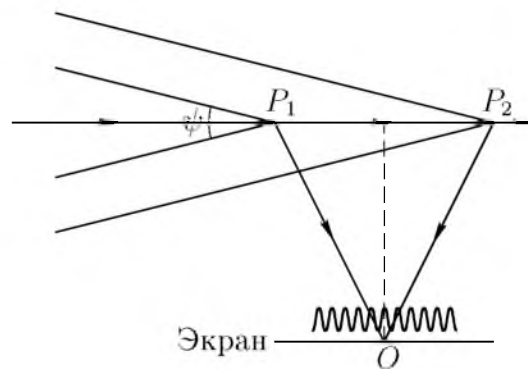


Рис. 3

**3А.** Во сколько раз изменится отношение интенсивностей пучевого ( $m = 0$ ) и третьего ( $m = 3$ ) главных дифракционных максимумов в картине дифракции, наблюдаемой в фокальной плоскости линзы, (рис. 4), если решётку с периодом  $d$  и шириной щелей  $b = d/6$  заменить «обратной» решёткой с тем же числом штрихов  $N \gg 1$  и тем же периодом  $d$ , но со щелями шириной  $a = \frac{5}{6}d = (d - b)$ ?

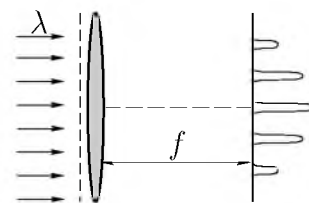


Рис. 4

**4А.** Дифракционная решётка с амплитудной прозрачностью  $\tau(x) = a(1 + m \cos^2 \Omega x)$  ( $m < 1$ ,  $a$  — постоянная величина) просвечивается плоской монохроматической волной с длиной волны  $\lambda$ . Амплитуду волны можно принять равной 1. Предполагая, что  $\Omega \ll k = 2\pi/\lambda$ , определите зависимость комплексной амплитуды поля  $A(x)$  от координаты  $x$  на плоскости, расположенной на расстоянии  $z_0 = 2$  см от решётки (рис. 5), если  $\lambda = 5 \cdot 10^{-5}$  см,  $\Omega = \pi \cdot 10^2$  см $^{-1}$ . Будет ли в этой плоскости видно изображение решётки?

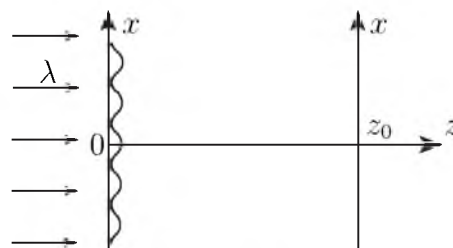


Рис. 5

**5А.** Предположим, что концентрация  $N_e$  электронов в атмосфере Земли изменяется с высотой  $h$  по линейному закону:  $N_e = \alpha h$ , достигая на высоте  $h_0 = 40$  км значения  $(N_e)_0 = 2,5 \cdot 10^6$  см $^{-3}$ . При радиозондировании атмосферы вертикально вверх посылается короткий электромагнитный импульс со средней частотой  $f_0 = 10$  МГц. Найдите время, через которое импульс возвратится на Землю, отразившись от ионосферного слоя с критической концентрацией электронов. На какой высоте  $h_{кр}$  произойдёт отражение?

# ЭКЗАМЕНАЦИОННАЯ КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА ПО ФИЗИКЕ

1	2	3	4	5	$\Sigma$

Для студентов 2-го курса МФТИ.

5 июня 2008 года

## ВАРИАНТ Б

**1Б.** Для измерения модуля всестороннего сжатия некоторой жидкости, показатель преломления которой при нормальном атмосферном давлении  $n_0 = 1,50$ , кювету с этой жидкостью поместили в одно из плеч интерферометра Майкельсона (рис. 1). Длина кюветы  $l = 10$  см. С помощью компрессора в жидкости можно было создавать избыточное давление  $\Delta P = P - P_{\text{атм}}$ . Фотоприёмник достаточно малого размера был установлен в фокальной плоскости объектива  $O_2$ . При  $\Delta P = 0$  зеркала интерферометра были установлены так, что фотоприёмник находился в максимуме интенсивности интерференционной полосы пулевого порядка. В эксперименте был снят график зависимости тока  $i$  фотоприёмника от избыточного давления в жидкости (рис. 2).

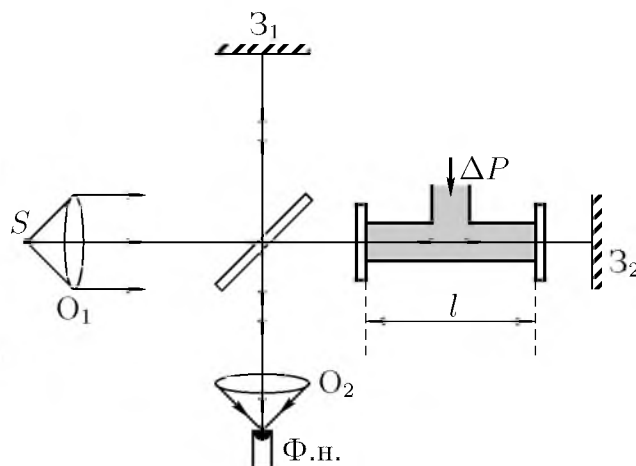


Рис. 1

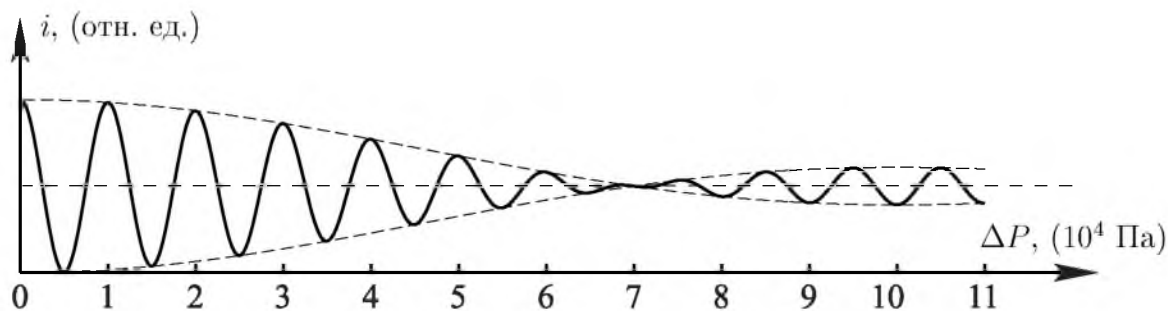


Рис. 2

1. Предполагая, что изменение  $\Delta n$  показателя преломления жидкости пропорционально изменению её плотности, определите из приведённых экспериментальных данных модуль  $K$  всестороннего сжатия.

2. Оцените относительную спектральную ширину  $\Delta\lambda/\lambda$  излучения источника  $S$ . Средняя длина волны света источника  $\lambda = 500$  нм.

*Примечание:* Модуль  $K$  всестороннего сжатия определяется из соотношения

$$\frac{\Delta V}{V_0} = -\frac{1}{K}\Delta P,$$

где  $\frac{\Delta V}{V_0}$  — относительное изменение объёма жидкости,  $\Delta P$  — изменение давления.

**2Б.** Параллельный пучок света ( $\lambda = 0,5$  мкм) круглого сечения ( $R = 0,5$  см) фокусируется линзой с фокусным расстоянием  $F = 10$  см в точке  $A$  (рис. 3). На каком расстоянии  $L$  от точки  $A$  расположена на оси линзы точка  $B$ , в которой наблюдается первый минимум интенсивности световой волны (оценка продольного размера фокального пятна).

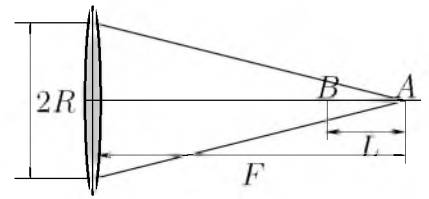


Рис. 3

**3Б.** Если, подойдя близко к окну, смотреть на уличный фонарь через капроновую, почти прозрачную занавеску (толщина нитей занавески, по-видимому, заметно меньше расстояния между ними), то можно увидеть характерную дифракционную картину: кроме собственно изображения фонаря наблюдается линейка (или крест) нитей-изображений. Оказалось, что линейка состоит примерно из десяти пятен, причём расстояние между пятнами приблизительно вдвое больше их размера, а угловой размер всей наблюдаемой дифракционной картины равен примерно  $\varphi \approx 2 \cdot 10^{-2}$ . Средняя длина волны света  $\lambda = 5 \cdot 10^{-5}$  см, расстояние до фонаря  $L = 50$  м, диаметр зрачка глаза  $d_{\text{зр}} = 5$  мм.

1. Каково строение занавески: толщина нитей и «плотность» занавески (число нитей на 1 см)?

2. Оцените также размер светящейся колбы фонаря.

**4Б.** Фазовая решётка, прозрачность которой выражается формулой  $\tau(x) = ae^{im \cos^2 \Omega x}$  ( $m \ll 1$ ,  $a = \text{const}$ ), просвечивается плоской монохроматической волной с длиной волны  $\lambda$ . Амплитуду волны можно принять равной 1.

1. Предполагая, что  $\Omega \ll k = 2\pi/\lambda$ , определите зависимость комплексной амплитуды поля  $A(x)$  от координаты  $x$  на плоскости, расположенной на расстоянии  $z = z_0$  от решётки (рис. 4).

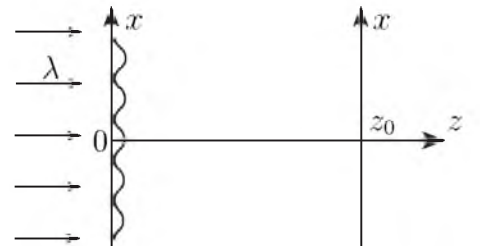


Рис. 4

2. Можно ли визуально наблюдать изображение фазовой решётки на экране, расположенном на расстоянии  $z_0 = 2$  см от решётки, если  $\lambda = 500$  нм,  $\Omega = \pi \cdot 10^2$  см $^{-1}$ ?

**5Б.** При вертикальном зондировании ионосферы передатчик геофизической ракеты посылает сигнал на частоте  $f_0 = 50$  МГц, а приёмник, расположенный в точке старта, принимает сигнал на частоте  $f$  и фиксирует доплеровский сдвиг  $\Delta f = f - f_0$ . Из-за нестабильности ионизированной оболочки Земли интеграл электронной концентрации  $N_e$  в вертикальном столбе от точки старта до верхней точки подъёма испытывает медленные изменения. В момент запуска ракеты можно принять

$$\frac{d}{dt} \int_0^{h_{\max}} N_e(h) dh = 5 \cdot 10^9 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}.$$

Какими будут сдвиг частоты  $\Delta f$  и кажущаяся скорость  $v$  ракеты в верхней точке траектории, где ракета остановится? Считать, что частота передатчика на всех участках траектории значительно превышает частоту плазменных колебаний.



# ЭКЗАМЕНАЦИОННАЯ КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА ПО ФИЗИКЕ

Для студентов 2-го курса МФТИ

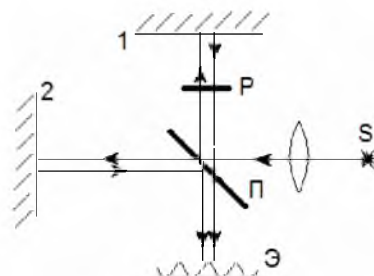
5 июня 2009г.

ФИО	№ группы

**ВАРИАНТ А**

1	2	3	4	5	чисто решено

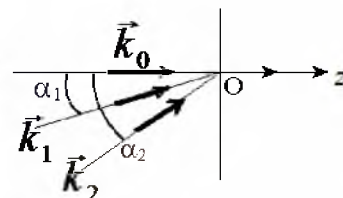
**1А.** В интерферометре Майкельсона (см. рисунок) используется монохроматический точечный источник света  $S$ . В одно из плеч интерферометра вносится поляроид  $P$ . При этом видность интерференционной картины на экране  $\mathcal{E}$  оказалась равной  $0,7 \approx 1/\sqrt{2}$ . Найти коэффициент отражения по интенсивности  $R$  зеркала 2, полагая, что зеркало 1 идеально отражает ( $R_1 = 1$ ). (Делительная пластинка  $\Pi$  половину света пропускает, а половину отражает).



**2А.** В газоразрядной трубке находится неон  $^{20}\text{Ne}$  при низком давлении. Из-за теплового движения молекул неона красная спектральная линия с длиной волны  $\lambda = 633 \text{ нм}$  (на этой длине волны работает гелий-неоновый лазер) уширена (эффект Доплера). Принимая температуру газа равной  $400 \text{ К}$ , оцените, при какой базе интерферометра Фабри-Перо, зеркала которого имеют энергетический коэффициент отражения  $r = 0,98$ , можно измерить доплеровскую ширину спектральной линии неона. Постоянная Больцмана  $k = 1,38 \cdot 10^{-16} \text{ эрг/град}$ , число Авогадро  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ .

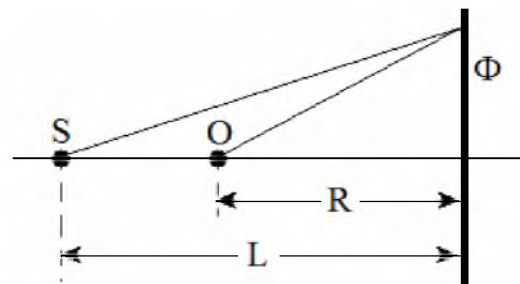
**3А.** Точечный фотоприёмник смещается вдоль оси  $z$  и регистрирует результат интерференции трёх плоских монохроматических волн ( $\lambda = 500 \text{ нм}$ ), одна из которых  $\vec{k}_0$  бежит вдоль оси  $z$ , и имеет амплитуду  $a_0$ , а две других  $\vec{k}_1$  и  $\vec{k}_2$  составляют с осью  $z$  углы соответственно  $\alpha_1 = 10^{-3} \text{ рад}$  и  $\alpha_2 = \sqrt{2} \cdot 10^{-3} \text{ рад}$  и имеют амплитуду  $a_1 = a_2 = a_0/2$ . Колебания волн  $\vec{k}_0$  и  $\vec{k}_2$  в точке  $O$  оказались синфазными, а волна  $\vec{k}_1$  отстаёт по фазе на  $\pi/2$ .

1. При каком минимальном смещении  $z$  интенсивность, регистрируемая фотоприёмником, окажется минимальной и чему она равна?
2. При каком минимальном смещении регистрируемая приёмником интенсивность окажется равной интенсивности волны  $\vec{k}_0$ ?



**4А.** Голограмма точечного объекта  $O$  записывается по схеме Габора с той лишь разницей, что опорная волна создаётся точечным монохроматическим источником  $S$  с длиной волны  $\lambda = 633 \text{ нм}$ , расположенным на расстоянии  $L = 1 \text{ м}$  от фотопластинки  $\Phi$  (см. рис.). Объект расположен на расстоянии  $R = 60 \text{ см}$  от фотопластинки. Предметной волной служит свет опорной волны, рассеянный объектом. Полученная таким образом голограмма просвечивается параллельным пучком лучей от удаленного монохроматического источника с той же длиной волны.

1. Определите положение действительного и мнимого изображений объекта.
2. Принимая диаметр фотопластинки равным  $D = 10 \text{ см}$ , оцените допустимую немонахроматичность света  $\Delta\lambda/\lambda$  при записи, при которой достигается максимальное разрешение голограммы.



Указание: используйте параболическое приближение.

**5А.** При Комптон-эффекте максимальная энергия электронов отдачи оказалась равной  $T_{\text{max}} = 0,44 \text{ МэВ}$ . Определите длину волны фотона.

# ЭКЗАМЕНАЦИОННАЯ КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА ПО ФИЗИКЕ

Для студентов 2-го курса МФТИ

5 июня 2009г.

ФИО	№ группы

## ВАРИАНТ Б

1	2	3	4	5	чисто решено

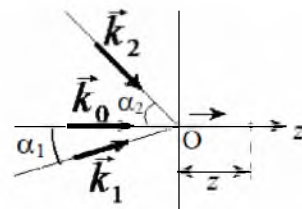
**1Б.** В интерференционном опыте Юнга одна из щелей прикрыта поляризатором, а вторая — изотропной пластинкой с коэффициентом пропускания по интенсивности, равным 0,5. Какова видимость наблюдаемой интерференционной картины, если используется точечный монохроматический источник неполяризованного света?

**2Б.** Спектральные волны в спектре далёких галактик смещены в область длинных волн (красное смещение), причём сдвиг спектральных линий пропорционален расстоянию  $r$  до галактики. В модели расширяющейся Вселенной это явление объясняется доплеровским сдвигом частоты спектральных линий. Из наблюдений установлено, что скорость удаления  $v$  галактики пропорциональна расстоянию до неё:  $v = Hr$ . Это соотношение называется законом Хаббла; коэффициент пропорциональности  $H$  называется постоянной Хаббла. Его численное значение:  $H \approx 75 \text{ км}/(\text{с Мпк})$ . (В астрономии расстояние принято измерять в парсеках,  $1 \text{ пк} = 3086 \cdot 10^{12} \text{ км} = 3,26 \text{ св. года}$ .)

1. Какой должна быть длина  $b$  основания призмы, выполненной из стекла с дисперсией показателя преломления  $|dn/d\lambda| = 10^3 \text{ см}^{-1}$ , чтобы с её помощью можно было обнаружить красное смещение спектральных линий туманности Андромеды, если расстояние до этой галактики равно  $0,7 \text{ Мпк}$ ?
2. Какой бы Вы предложили спектральный прибор для обнаружения красного смещения линий в спектре галактики Большое Магелланово Облако (БМО) ( $r = 0,05 \text{ Мпк}$ )?

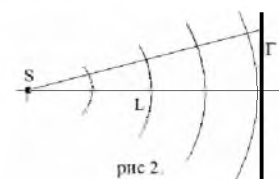
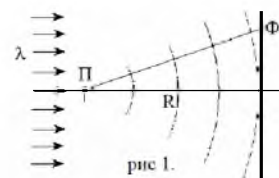
**3Б.** Точечный фотоприёмник, смещаясь вдоль оси  $z$ , регистрирует результат интерференции трёх монохроматических волн ( $\lambda = 500 \text{ нм}$ ), одна из которых  $\vec{k}_0$ , с амплитудой  $a_0$ , бежит вдоль оси  $z$ , а волновые векторы  $\vec{k}_1$  и  $\vec{k}_2$  двух других, с амплитудами  $a_1 = a_2 = a_0/2$  составляют углы  $\alpha_1 = 10^{-3} \text{ рад}$  и  $\alpha_2 = \sqrt{3} \cdot \alpha_1$  с осью  $z$ . Колебания всех трёх волн в точке  $O$  оказались синфазными.

1. Какова интенсивность, регистрируемая приёмником в точке  $O$ ?
2. При каком минимальном смещении регистрируемая приёмником интенсивность окажется равной интенсивности волны  $\vec{k}_0$ ?
3. При каком минимальном смещении регистрируемая интенсивность максимальна?



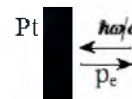
**4Б.** При записи голограммы небольшого предмета  $\Pi$  использовалась схема Габора. Предмет располагался на расстоянии  $R = 100 \text{ см}$  от фотопластинки  $\Phi$  и освещался параллельным пучком лучей от далёкого монохроматического источника  $S$  с длиной волны  $\lambda = 633 \text{ нм}$ , нормально падающим на фотопластинку (см. рис.1). Предметной волной служил свет, рассеянный предметом. При восстановлении изображения предмета голограмма просвечивалась светом точечного источника с той же длиной волны, расположенного на расстоянии  $L = 150 \text{ см}$  от голограммы (рис.2).

1. Определите положение действительного и мнимого изображений предмета.
2. Принимая диаметр фотопластинки равным  $D = 19 \text{ см}$ , оцените разрешающую способность её фотоэмульсии (в линиях на мм), при которой достигается максимальное разрешение голограммы.



Указание: используйте параболическое приближение.

**5Б.** Фотон с длиной волны  $\lambda = 2,3 \cdot 10^{-5} \text{ см}$  нормально падает на поверхность платиновой (Pt) пластинки и выбивает фотоэлектрон, движущийся в противоположном направлении с максимально возможной кинетической энергией. Работа выхода платины  $A_{\text{Pt}} = 5,29 \text{ эВ}$ . Определите импульс, переданный пластинке.



Какая из двух частиц — фотон или электрон — передаёт стенке больший импульс и во сколько раз?



# ЭКЗАМЕНАЦИОННАЯ КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА ПО ФИЗИКЕ

Для студентов 2-го курса МФТИ

05 июня 2010г.

ФИО	№ группы

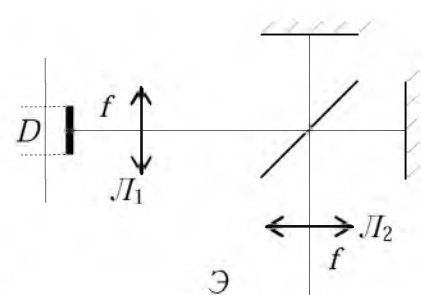
## ВАРИАНТ А

1	2	3	4	5	чисто решено	оценка

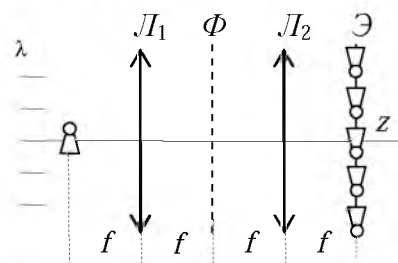
**1А.** Параллельный пучок света от натриевой лампы проходит сквозь пару поляризатор — анализатор, у которых разрешённые направления колебаний прошедшей волны параллельны. Между ними помещена двояколучепреломляющая пластина из кальцита, вырезанная параллельно оптической оси. Жёлтый дублет натрия состоит из двух близких линий:  $\lambda_1 = 589,0 \text{ нм}$  и  $\lambda_2 = 589,6 \text{ нм}$ . Показатели преломления кальцита зависят от длины волны, так что в жёлтой области спектра  $n_o = 1,4860$ ,  $n_e = 1,6595$ ,  $\frac{dn_o}{d\lambda} = -3,53 \cdot 10^{-5} \text{ нм}^{-1}$ ,  $\frac{dn_e}{d\lambda} = -5,88 \cdot 10^{-5} \text{ нм}^{-1}$ . Определить, при какой минимальной толщине пластинки через анализатор пройдёт только одна из линий дублета натрия, причём с максимальной интенсивностью. Как в этом случае должна быть ориентирована оптическая ось?

**2А.** На высокочастотный интерферометр Фабри-Перо, образованный двумя плоскими зеркалами, находящимися на расстоянии  $L = 5 \text{ см}$  друг от друга, падают монохроматические волны длиной  $\lambda = 0,6 \text{ мкм}$ . Для пространственных частот падающих волн  $\vec{\Omega} = (k_x, k_y)$  выполнено условие  $|\vec{\Omega}| \leq \Omega_0 [\text{рад/см}]$ . Оценить минимальное значение  $\Omega_0$ , при котором появится первое светлое кольцо в угловом распределении излучения за интерферометром. В центре дифракционной картины наблюдается светлое пятно.

**3А.** Протяжённый круглый монохроматический ( $\lambda = 5461 \text{ Å}$ ) источник света в интерферометре Майкельсона (рис.) расположен в фокальной плоскости линзы  $L_1$ . Центр источника совпадает с фокусом этой линзы, а его плоскость перпендикулярна главной оптической оси. Определить минимальный диаметр  $D$  источника, если в фокальной плоскости линзы  $L_2$  наблюдается интерференционная картина из двух светлых колец, а в центре — максимум интенсивности. Линзы  $L_1$  и  $L_2$  имеют фокусное расстояние  $f = 1 \text{ м}$ . Разность длин плеч интерферометра  $l = 1 \text{ см}$ .



**4А.** В Фурье-плоскости  $\Phi$  оптической системы, изображённой на рисунке, помещена решётка с периодом  $d_0 = 0,05 \text{ см}$  и шириной щелей  $b = 0,01 \text{ см}$ . Фокусное расстояние линз  $f = 50 \text{ см}$ . При этом мультиплицированное (размноженное) и сфокусированное изображение объекта, расположенного в передней фокальной плоскости линзы  $L_1$  и освещённого монохроматическим параллельным пучком света (длина волны  $\lambda = 5 \cdot 10^{-5} \text{ см}$ ), наблюдается на экране  $\mathcal{E}$ , расположенном в задней фокальной плоскости линзы  $L_2$ .



- 1) Определить период мультипликации  $d$ .
- 2) Оценить число элементов размноженного изображения.
- 3) При каких смещениях экрана  $\mathcal{E}$  вправо на нём можно вновь наблюдать сфокусированное (и размноженное) изображение?
- 4) Каков допустимый размер объекта?

**5А.** Полная энергия ионизации атома лития  $E_{\text{Li}}^{3+}$  (т.е. работа по удалению всех трёх электронов из нормального состояния в бесконечность) составляет  $203,4 \text{ эВ}$ . Найти энергию  $E_{\text{Li}}^{2+}$  ионизации атома лития до состояния  $Li^{2+}$ , т.е. работу по удалению только двух наружных электронов из нормального состояния в бесконечность, если энергия ионизации атома водорода  $E_{\text{H}}$  равна  $13,6 \text{ эВ}$ .

# ЭКЗАМЕНАЦИОННАЯ КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА ПО ФИЗИКЕ

Для студентов 2-го курса МФТИ

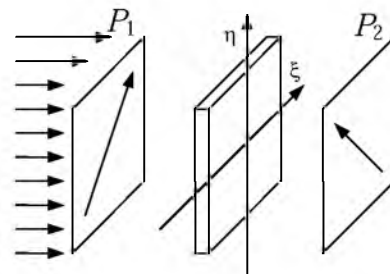
05 июня 2010г.

ФИО	№ группы

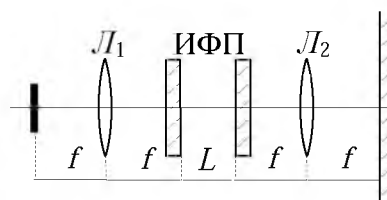
## ВАРИАНТ Б

1	2	3	4	5	чисто решено	оценка

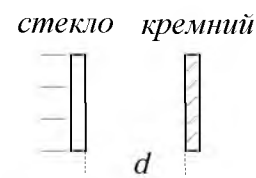
**1Б.** Кварцевая пластинка, вырезанная параллельно главной оптической оси, помещена между двумя скрещенными поляроидами  $P_1$  и  $P_2$  так, что её оптические оси составляют угол  $45^\circ$  с плоскостями пропускания поляроидов. Через эту систему пропускают излучение, в спектре которого содержится дублет  $\lambda_1 = 456,0 \text{ нм}$  и  $\lambda_2 = 452,2 \text{ нм}$ . Пренебрегая дисперсией показателей преломления  $n_o = 1,552$  и  $n_e = 1,561$  в этой области спектра, определить, при какой минимальной толщине пластинки свет с длиной волны  $\lambda_1$  будет проходить через эту систему с максимальной интенсивностью, а свет с  $\lambda_2$  будет сильно ослаблен.



**2Б.** Протяжённый круглый источник квазимонохроматического света излучает на длине волны  $\lambda = 0,5 \text{ мкм}$ . Центр источника совпадает с фокусом линзы  $L_1$  (рис.). Оптическая система включает в себя также высокодобротный интерферометр Фабри-Перо (расстояние между зеркалами  $L = 5 \text{ см}$ ), линзу  $L_2$ , соосную с линзой  $L_1$ , и экран, расположенный в фокальной плоскости линзы  $L_2$ . Оценить, при каком максимальном диаметре  $d$  источника на экране не будет наблюдаться ни одного кольца. Фокусное расстояние линз  $f = 50 \text{ см}$ .

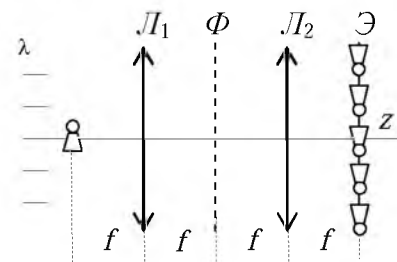


**3Б.** На параллельно расположенные стеклянную и кремниевую пластинки, образующие низкодобротный интерферометр Фабри-Перо, падает плоская монохроматическая волна. После многократных отражений кремниевая пластинка полностью поглощает проникающий в неё свет. Найти отношение  $I_{\max}/I_{\min}$  — максимальной к минимальной интенсивности света, прошедшего через стеклянную пластинку и поглощённого кремнием, если изменять расстояние  $d$  между ними. Коэффициенты преломления стекла и кремния равны соответственно  $n_{\text{ст}} = 1,5$  и  $n_{\text{кр}} = 3,5$ . Достаточно (но не обязательно) ограничиться двумя интерферирующими волнами, падающими на кремний (двулучевое приближение).



**4Б.** В оптической схеме, показанной на рисунке, предмет-транспарант расположен в передней фокальной плоскости линзы  $L_1$  и освещён параллельным пучком монохроматического света (длина волны  $\lambda = 5 \cdot 10^{-5} \text{ см}$ ). В Фурье-плоскости  $\Phi$  помещают решётку с узкими щелями. При этом на экране  $\mathcal{E}$ , расположенном в задней фокальной плоскости линзы  $L_2$ , возникает мультиплицированное (размноженное) изображение объекта. При смещении экрана вправо изображение становится размытым (расфокусированным), однако при смещении на  $l = 4 \text{ м}$  изображение вновь становится резким (сфокусированным). Фокусное расстояние линз  $f = 50 \text{ см}$ .

- 1) Определить период решётки  $d_0$ .
- 2) Определить период мультипликации  $d$  (т.е. расстояние между элементами наблюдаемой периодической структуры).
- 3) Каков при этом допустимый размер предмета  $a$ ?



**5Б.** В рамках боровской модели атома водорода, в которой электрон вращается вокруг ядра по круговым орбитам, определить величину индукции магнитного поля  $B$  в центре второй боровской орбиты, где находится ядро (протон). Как относятся величины поля  $B$ , когда электрон находится на первой и третьей орбитах?

# ЭКЗАМЕНАЦИОННАЯ КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА ПО ФИЗИКЕ

Для студентов 2-го курса МФТИ

06 июня 2011г.

ФИО	№ группы

## ВАРИАНТ А

1	2	3	4	5	$\Sigma$	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  $\Delta = L_2 - L_1 = 0$ ?

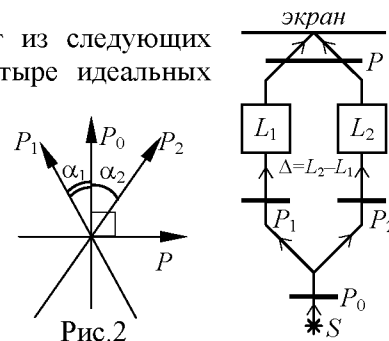


Рис. 2

Рис. 1

**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  $\omega_0 = 3,9 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$ ,  $n_0 = 1,5$ ,  $A = 1,9 \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1}$ . 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  $З$ . 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 Рэлею. 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 Рэлея, о наличии двух источников, если заменить некогерентные источники одинаковыми когерентными источниками, излучающими с разностью фаз  $\varphi = \pi/3$  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  $\varphi$  провал в суммарной картине интенсивности отсутствует, т.е.  $I(0) = I(x_0)$ ?

# ЭКЗАМЕНАЦИОННАЯ КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА ПО ФИЗИКЕ

Для студентов 2-го курса МФТИ

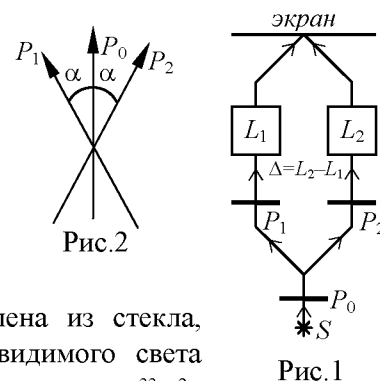
06 июня 2011г.

ФИО	№ группы

## ВАРИАНТ Б

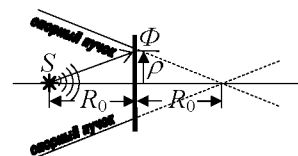
1	2	3	4	5	$\Sigma$	оценка

**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  $\Delta = 0$ )?



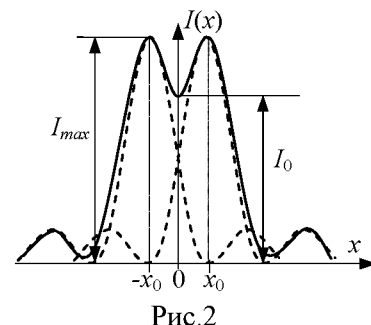
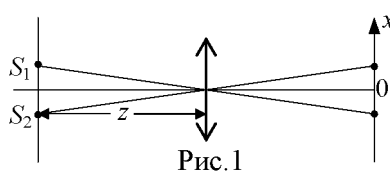
**2Б.** Трёхгранная призма спектрографа с шириной основания  $b = 1 \text{ см}$  изготовлена из стекла, зависимость показателя преломления  $n$  которого от частоты  $\omega$  в диапазоне видимого света приближённо описывается соотношением  $n(\omega) = n_0 + A\omega^2$ . Известно значение  $A = 1,1 \cdot 10^{-33} \text{ с}^2$ . 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 Рэлею, 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  $I_{\text{max}}$  (т.е. от интенсивности в точках  $x_0$  и  $-x_0$ , где возникает «геометрическое» изображение источников):  $I_0 = 0,8 I_{\text{max}}$ . 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  $\pi/2$ ?



# ЭКЗАМЕНАЦИОННАЯ КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА ПО ФИЗИКЕ

Для студентов 2-го курса МФТИ

05 июня 2012г.

ФИО	№ группы

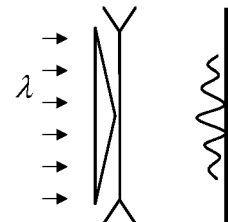
## ВАРИАНТ А

1	2	3	4	5	$\Sigma$	оценка

**1А.** На бипризму БП с показателем преломления  $n = 1,5$  и преломляющим углом  $\alpha$  падает параллельный квазимонохроматический пучок света (средняя длина волны  $\lambda = 1$  мкм, ширина спектра  $\Delta\lambda \ll \lambda$ ). За бипризмой вплотную к ней помещена рассеивающая линза  $L$  с фокусным расстоянием  $f = -40$  см. На экране Э, расположенном на расстоянии  $|f|$  от линзы, наблюдается интерференционная картина.

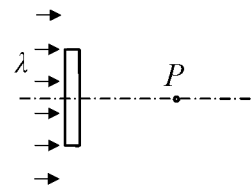
1. Найти угол  $\alpha$ , если измеренная ширина интерференционной полосы  $\Delta x = N\lambda$ , где  $N = 57$ .
2. Найти  $\Delta\lambda$ , если максимальное число наблюдаемых на экране полос  $m = 200$ .
3. Найти видность  $V$  50-й полосы, отсчитываемой от центра.

Линзу и бипризму считать тонкими.



**2А.** В Германии создана установка, представляющая собой мощный импульсный лазер, смонтированный на грузовике, с телескопом для расширения лазерного пучка и спектрографом. Сфокусированное лазерное излучение может вызывать пробой воздуха на значительном расстоянии от установки, и по спектру излучения искры можно дистанционно определять загрязнение воздуха в недоступных точках. Найти пороговую энергию  $W$  лазерного импульса, необходимую для осуществления пробоя воздуха на расстоянии  $L = 1$  км, если диаметр лазерного пучка после телескопа  $D = 0,5$  м, распределение интенсивности излучения по сечению пучка вблизи телескопа прямоугольное, длина волны излучения  $\lambda = 1$  мкм, длительность импульса  $\tau = 10$  нс, расходимость лазерного излучения близка к дифракционной. Воздух пробивается, если амплитуда электрического поля в световой волне достигнет значения  $E = 10^7$  В/см.

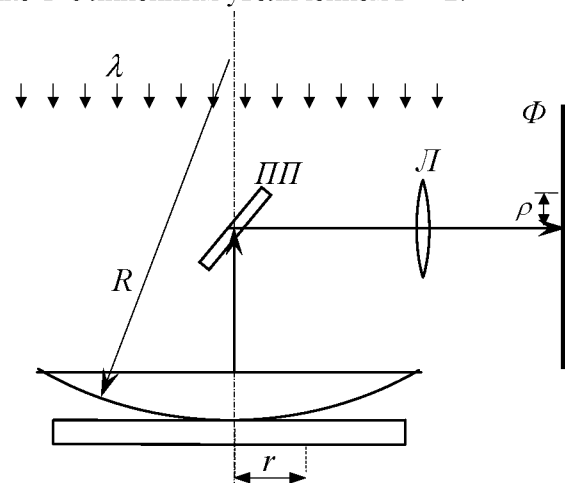
**3А.** На пути плоской квазимонохроматической неполяризованной световой волны (интенсивность  $I_0$ , длина волны  $\lambda$ ) установлен круглый диск из поляроидной плёнки, плоскость которого нормальна волновому вектору волны. Показатель преломления плёнки для разрешённого направления поляризации равен  $n$ , радиус диска  $R$ . При какой толщине плёнки  $d$  интенсивность света в точке  $P$ , находящейся на оси за диском на расстоянии, при котором на диске укладывается  $m = 1,5$  зоны Френеля, окажется максимальной? Чему равна эта интенсивность?



**4А.** В установке для наблюдения колец Ньютона монохроматический свет от удалённого точечного источника с длиной волны  $\lambda = 500$  нм нормально падает на плоскую поверхность плоско-выпуклой линзы с радиусом кривизны выпуклой поверхности  $R = 100$  см. Участок интерференционного поля радиусом  $r_0 = 1$  см с помощью полупрозрачной пластинки  $ПП$  и линзы  $L$  фокусируется на фотоплёнке  $\Phi$  с линейным увеличением  $\Gamma = 2$ .

Для упрощения задачи будем считать интенсивности обеих волн, создающих интерференционную картину, одинаковыми и пренебрегать преломлением лучей на поверхностях линзы. В этом приближении:

1. Найдите распределение интенсивности света от радиуса  $I(\rho)$  на фотоплёнке и определите число колец на выделенном участке интерференционного поля.
2. Можно ли рассмотреть (разрешить) все кольца на фотоплёнке невооружённым глазом с расстояния  $L = 25$  см? Диаметр зрачка примите равным  $d = 5$  мм.
3. Пусть теперь обработанную фотоплёнку просвечивают нормально падающей плоской волной с той же длиной волны  $\lambda = 500$  нм. Какие волны будут распространяться за фотоплёнкой? Укажите точки фокусировки света.



**5А.** Твердотельный лазер на кристалле Fe: CdSe излучает короткие импульсы длительностью  $\tau = 50$  пс на длине волны  $\lambda = 5$  мкм. Излучение лазера пропускается через плоскопараллельную прозрачную для этой длины волны пластинку из PbTe толщиной  $L = 1$  мм. Показатель преломления пластинки  $n = 5,857$ . Благодаря Френелевскому отражению от поверхностей пластинки, она работает как интерферометр Фабри-Перо. Оцените длительность импульсов за пластинкой.



# ЭКЗАМЕНАЦИОННАЯ КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА ПО ФИЗИКЕ

Для студентов 2-го курса МФТИ

05 июня 2012г.

ФИО	№ группы

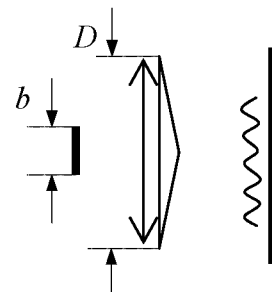
## ВАРИАНТ Б

1	2	3	4	5	$\Sigma$	оценка

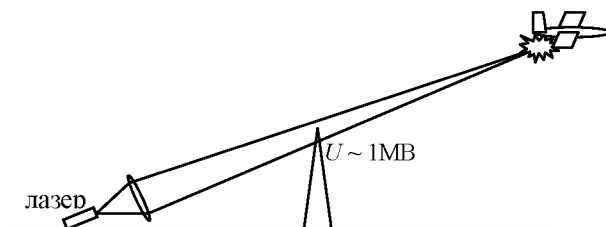
**1Б.** Свет от протяжённого монохроматического источника ( $\lambda = 1$  мкм) с размером  $b$  падает на собирающую линзу диаметром  $D = 1$  см с фокусным расстоянием  $f = 40$  см. За линзой вплотную к ней расположена бипризма с показателем преломления  $n = 1,5$  и преломляющим углом  $\delta = 0,02$  рад. На экране, расположенном на некотором расстоянии от бипризмы, наблюдается интерференционная картина, причём оказалось, что ширина полос интерференции  $\Delta x$  не зависит от этого расстояния.

1. Найти ширину интерференционных полос  $\Delta x$ .
2. Найти расстояние  $L$  между бипризмой и экраном, при котором на экране наблюдается максимальное число полос.
3. Найти размер источника  $b$ , если видность полос, измеренная на этом расстоянии  $L$  от бипризмы, оказалась равна  $V = \sin(\pi/2)/(\pi/2) \approx 0,64$ .

Линзу и бипризму считать тонкими.

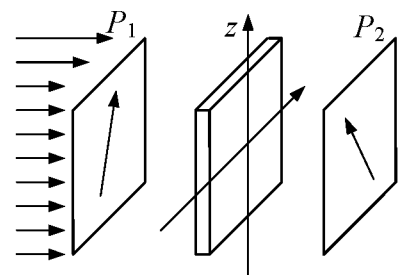


**2Б.** Существовал проект (так и не реализованный) вывода из строя электроники вражеских самолетов путем подачи на корпус самолета по плазменному шнуру высоковольтного импульса от высокой мачты, на которую подано напряжение  $\sim 1$  МВ. Плазменный шнур должен был создаваться за счет пробоя воздуха мощным сфокусированным лазерным излучением, предварительно расширенным телескопом для уменьшения расходимости.



Оцените необходимый диаметр  $D$  объектива телескопа, чтобы инициировать пробой воздуха на расстоянии  $L = 3$  км, если длительность лазерного импульса  $\tau = 100$  мкс, энергия  $W = 100$  кДж, длина волны  $\lambda = 1000$  нм, расходимость обусловлена только дифракцией, а пробой наступает при амплитуде электрического поля волны  $E_0 = 10^7$  В/см. Считать, что лазерное излучение полностью заполняет объектив телескопа, то есть распределение интенсивности по сечению пучка вблизи телескопа близко к прямоугольному.

**3Б.** Система состоит из двух поляризаторов, между которыми поставили двулучепреломляющую пластинку, вырезанную параллельно оптической оси. Угол между разрешенными направлениями поляризаторов  $\alpha = 60^\circ$ , а ось пластинки ориентирована вдоль биссектрисы этого угла. Полученную конструкцию освещают неполяризованным квазимонохроматическим светом интенсивностью  $I_0$ , для которого данная пластинка оказывается пластинкой  $\lambda/3$ . Найти интенсивность света на выходе из системы.



**4Б.** Периодическая структура — решётка периода  $d = 2 \cdot 10^{-2}$  см с узкими щелями — освещается нормально падающим параллельным пучком света, содержащим две спектральные линии:  $\lambda_1 = 600$  нм (оранжевый цвет) и  $\lambda_2 = 450$  нм (синий цвет). Определите минимальное расстояние от решётки, где саморепродуцированное изображение её щелей имеет максимальную интенсивность.

**5Б.** Многие лазеры непрерывного действия генерируют свет одновременно на нескольких частотах (модах), определяемых размерами резонатора лазера и шириной спектральной линии (линии усиления) активного вещества. У аргонового (Ar) лазера, работающего на длине волны  $\lambda = 514,5$  нм, ширина линии усиления составляет  $\Delta \nu_0 = 3,5$  ГГц. Длина резонатора Ar лазера  $L = 1,5$  м.

Для выделения только одной моды, соответствующей максимуму линии усиления, излучение лазера пропускается через эталон Фабри-Перо, представляющий собой прозрачную пластину с показателем преломления  $n = 1,5$ . Энергетический коэффициент отражения поверхностей эталона (за счёт специального покрытия)  $r = 0,9$ . Оцените верхний и нижний пределы допустимых значений толщины эталона Фабри-Перо.

# ЭКЗАМЕНАЦИОННАЯ КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА ПО ФИЗИКЕ

Для студентов 2-го курса МФТИ

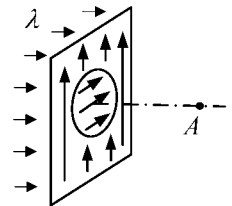
06 июня 2013г.

ФИО	№ группы

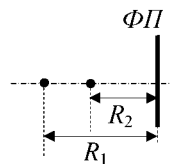
## ВАРИАНТ А

1	2	3	4	5	$\Sigma$	оценка

**1А.** В пластинке из поляроида вырезано круглое отверстие размером в 2,5 зоны Френеля для точки  $A$ , лежащей на оси отверстия (см. рис.). Отверстие затянато поляроидной плёнкой, разрешённое направление в которой составляет угол  $90^\circ$  с разрешённым направлением пластинки. Пластинка освещается параллельным пучком неполяризованного света интенсивностью  $I_0$ . Найти интенсивность света в точке  $A$ .



**2А.** Фотографируется на плёнку интерференционная картина, полученная от двух точечных монохроматических источников, испускающих свет одной и той же частоты. Источники расположены на перпендикуляре к плоскости фотоплёнки (ФП) на расстояниях  $R_1 = 1$  м и  $R_2 = 0,6$  м (см. рис.). Обработанная фотоплёнка просвечивается плоской волной той же частоты, падающей нормально на её поверхность. Предполагая, что амплитудная прозрачность фотоплёнки (голограммы) пропорциональна интенсивности света при записи, определите положения изображений. Размер фотоплёнки много меньше  $R_1$  и  $R_2$ .



**3А.** На рис. 1 изображена модифицированная схема опыта Юнга. Источником света служит щель шириной  $a$ , на которую сфокусировано изображение протяжённого источника. На экран с двумя щелями шириной  $b$  каждая, расположенными на расстоянии  $d$  друг от друга, свет падает параллельным пучком. Интерференционная картина наблюдается в фокальной плоскости второй линзы. Длина волны  $\lambda = 600$  нм, фокусные расстояния линз  $F_1 = F_2 = F = 20$  см. Интерференционная картина  $I(\varphi)$  изображена на рис. 2.

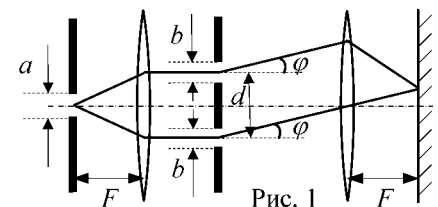


Рис. 1

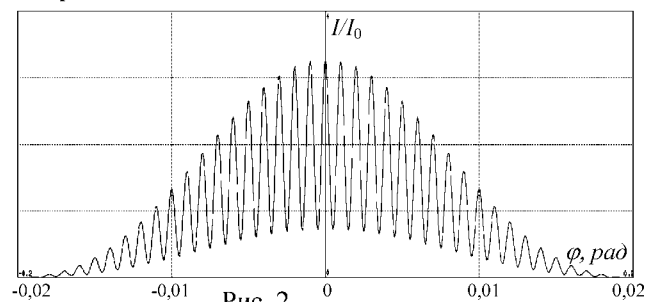
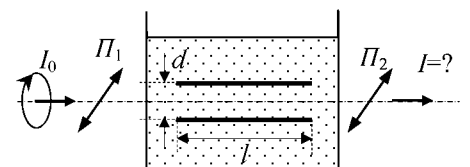


Рис. 2

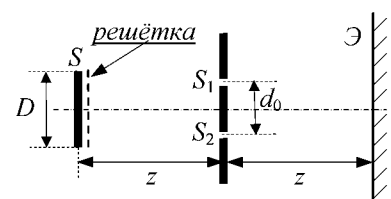
1. Определите ширину  $b$  каждой из 2-х щелей.
2. Определите расстояние  $d$  между щелями.
3. Принимая видность интерференционных полос равной  $V = 2/\pi \approx 0,64$ , определите ширину щели  $a$ .
4. Оцените максимальное значение ширины щели  $a$ , при котором ещё можно наблюдать интерференционные полосы.
5. Оцените максимально допустимую немонахроматичность света  $\Delta\lambda$ , при которой можно наблюдать все интерференционные полосы, изображённые на рис. 2.

**4А.** Некоторые жидкости под действием электрического поля приобретают свойства одноосного кристалла, причём оптическая ось оказывается направлена по полю (электрооптический эффект Керра). Фазовый сдвиг между обыкновенной и необыкновенной волной даётся соотношением  $\Delta\varphi = (2\pi/\lambda)(n_e - n_o)l = 2\pi B E^2$ . Здесь  $l$  — толщина слоя вещества,  $B$  — так называемая константа Керра. Наибольшим значением  $B$  из всех исследованных жидкостей обладает нитробензол, для которого  $B = 2,2 \cdot 10^{-5}$  (ед. СГСЭ).



На рис. изображена кювета с нитробензолом, в которой расположен конденсатор. С обеих сторон к кювете примыкают два идеальных поляроида, разрешённые направления которых параллельны и направлены под углом  $\alpha = 45^\circ$  к направлению поля в конденсаторе. Пластины конденсатора имеют длину  $l = 5$  см, расстояние между ними  $d = 5$  мм. К конденсатору приложено напряжение  $U = 2910$  В (1 ед. напряжения СГСЭ = 300 В). Определите интенсивность  $I$  света на выходе второго поляроида, если на первый поляроид падает свет, поляризованный по кругу с интенсивностью  $I_0$ .

**5А.** В опыте Юнга использовали протяжённый квазимонохроматический источник  $S$  (длина волны  $\lambda = 5 \cdot 10^{-5}$  см, размер источника  $D = 1$  см, расстояние от источника до непрозрачного экрана с двумя щелями  $S_1$  и  $S_2$  равно  $z = 20$  см). Расстояние между щелями  $d_0 = 2$  мм оказалось слишком большим, поэтому интерференционная картина на экране  $\mathcal{E}$  не наблюдается. Для получения чёткой интерференционной картины предлагается вплотную к источнику  $S$  расположить многощелевую диафрагму (решётку) с периодом  $d = 5 \cdot 10^{-3}$  см и шириной щелей  $b = 2 \cdot 10^{-3}$  см. Решётка полностью покрывает источник, т.е.  $d \cdot N = D$ ,  $N$  — число щелей решётки. Какова видность интерференционной картины, возникающей на экране  $\mathcal{E}$  в этом случае? При каком минимальном изменении расстояния  $d_0$  между щелями  $S_1$  и  $S_2$  в непрозрачном экране интерференционная картина исчезает? Используйте приближение малых углов:  $\alpha \approx D/2z \ll 1$ ,  $\sin \alpha \approx \alpha$ ,  $\cos \alpha \approx 1$ .



# ЭКЗАМЕНАЦИОННАЯ КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА ПО ФИЗИКЕ

Для студентов 2-го курса МФТИ

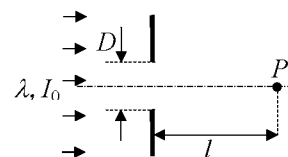
06 июня 2013г.

ФИО	№ группы

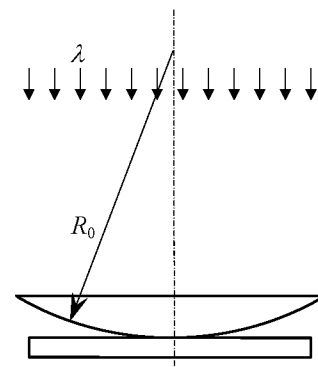
## ВАРИАНТ Б

1	2	3	4	5	$\Sigma$	оценка

**1Б.** Наблюдается дифракция Френеля на оси круглого отверстия диаметром  $D = 0,5$  см. Точка наблюдения  $P$  находится на расстоянии  $l = 50$  см от плоскости экрана. Свет с длиной волны  $\lambda = 500$  нм и интенсивностью  $I_0$  падает на экран параллельным пучком. Как изменится интенсивность света в точке наблюдения, если к экрану вплотную соосно приложить линзу с оптической силой 1 дптр?



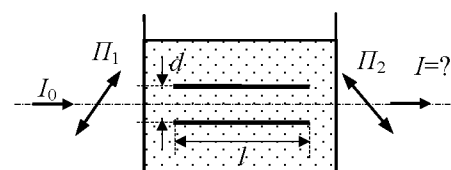
**2Б.** С линейным увеличением  $\Gamma = 2$  на фотоплёнку фотографируется центральный участок интерференционной картины — колец Ньютона, полученных в отражённом монохроматическом свете при нормальном падении лучей. Радиус кривизны выпуклой поверхности линзы  $R_0$ . После обработки фотоплёнки её просвечивают плоской волной той же длины волны, падающей нормально на поверхность плёнки. Предполагая, что амплитудная прозрачность фотоплёнки (голограммы) пропорциональна интенсивности света при экспозиции, определите положение изображений. Размер фотографируемого участка колец Ньютона много меньше  $R_0$ .



**3Б.** При изучении ионизированной оболочки Земли — ионосферы — применяется метод дисперсионного интерферометра. С космического зонда, падающего вертикально вниз (в гравитационном поле Земли) со скоростью  $v = 1$  км/с передатчики излучают радиоволны на частотах  $f_0$  и  $3f_0$ ,  $f_0 = 30$  МГц. Приёмник, расположенный в точке падения зонда на Землю, принимает эти сигналы и обрабатывает их. Нижняя частота принятого сигнала умножается на 3 и вычитается из частоты принятого сигнала на высокой частоте, а получившаяся приведённая разница частот  $|\Delta f|$  измеряется. Определить концентрацию электронов  $N_e$  в ионосфере, соответствующую моменту измерения, если в этот момент  $|\Delta f| = 5$  Гц. Считать, что  $N_e(h)$  — медленная функция от высоты  $h$ :  $dN_e(h)/dh \cdot 1 \text{ км} \ll N_e(h)$ . Для исследуемого участка ионосферы можно считать  $[2\pi f_0]^2 \gg \omega_{\text{пл}}^2$ ,  $\omega_{\text{пл}}$  — плазменная частота.

**4Б.** Некоторые жидкости под действием электрического поля приобретают свойства одноосного кристалла, причём оптическая ось оказывается направленной по полю (электрооптический эффект Керра). Фазовый сдвиг между обыкновенной и необыкновенной волной даётся соотношением  $\Delta\varphi = (2\pi/\lambda)(n_e - n_o)l = 2\pi B E^2$ . Здесь  $l$  — толщина слоя вещества,  $B$  — так называемая константа Керра. Наибольшим значением  $B$  из всех исследованных жидкостей обладает нитробензол, для которого  $B = 2,2 \cdot 10^{-5}$  (ед. СГСЭ).

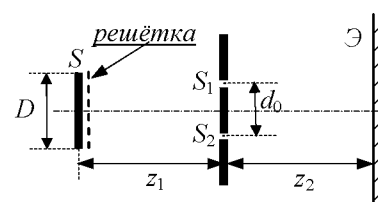
На рис. изображена кювета с нитробензолом, в которой расположен конденсатор. С обеих сторон к кювете примыкают два скрещенных поляроида  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$ , разрешённые направления которых составляют угол  $\alpha = 45^\circ$  с направлением поля в конденсаторе. На поляризатор  $\Pi_1$  падает неполяризованный свет с интенсивностью  $I_0$ . Определите интенсивность  $I$  света на выходе второго поляроида при следующих параметрах установки:  $l = 10$  см,  $d = 1$  см, напряжение на конденсаторе  $U = 8250$  В (1 ед. напряжения СГСЭ = 300 В).



**5Б.** В опыте Юнга использовали протяжённый квазимонохроматический источник  $S$  размера  $D = 0,5$  см (длина волны  $\lambda = 5 \cdot 10^{-5}$  см,  $z_1 = z_2 = 20$  см, расстояние между щелями  $S_1$  и  $S_2$  равно  $d_0 = 2$  мм). Возникнет ли картина интерференции на экране  $\mathcal{E}$ ?

Чтобы получить чёткую интерференционную картину, предлагается вплотную к источнику  $S$  расположить многощелевую диафрагму (решётку) с периодом  $d = 10^{-2}$  см, шириной щелей  $b = 1,5 \cdot 10^{-3}$  см и числом щелей  $N = 50$ . Какова видность интерференционной картины на экране  $\mathcal{E}$  в этом случае?

При каком минимальном изменении длины волны излучения источника интерференционная картина исчезает? Используйте приближение малых углов:  $\alpha \approx D/2z \ll 1$ ,  $\sin \alpha \approx \alpha$ ,  $\cos \alpha \approx 1$ .



# ЭКЗАМЕНАЦИОННАЯ КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА ПО ФИЗИКЕ

Для студентов 2-го курса МФТИ

13 июня 2014г.

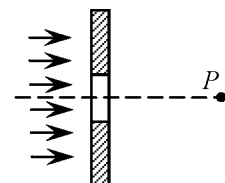
ФИО	№ группы

**ВАРИАНТ А**

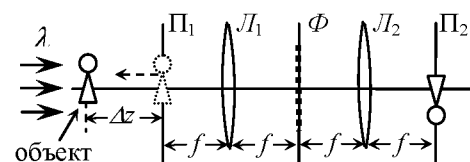
1	2	3	4	5	$\Sigma$	оценка

**1А.** Амплитудный коэффициент пропускания голограммы точечного источника, записанной по методу Габора, зависит от радиуса:  $\tau(\rho) = A + B \cos(C \rho^2 + \varphi)$ , где  $A$ ,  $B$ ,  $\varphi$  — некоторые константы, а  $C = 628 \text{ см}^{-2}$ . На каком расстоянии от голограммы будут находиться действительное и мнимое изображения, если её осветить параллельным пучком света с длиной волны  $\lambda = 500 \text{ нм}$ ?

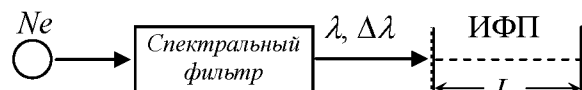
**2А.** Широкая пластинка из поляроида освещается параллельным пучком неполяризованного монохроматического света с интенсивностью  $I_0$ . Для «разрешенного» направления колебаний пластинка вносит фазовую задержку  $\Delta\varphi = 2\pi m \pm \pi/2$  ( $m$  — некоторое целое число). Как изменится интенсивность света в точке  $P$ , если в пластинке проделать круглое отверстие в одну зону Френеля? (см. рис.)



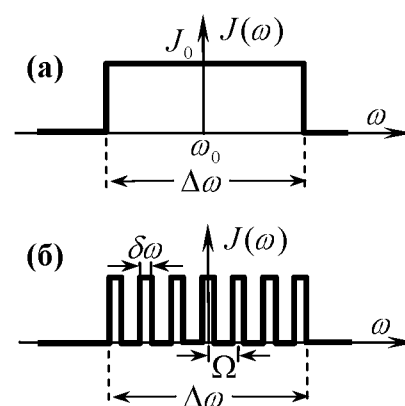
**3А.** Если во входной плоскости  $\Pi_1$  оптической системы (см. рис.) расположить предмет, то в выходной плоскости  $\Pi_2$  изображение предмета оказывается сфокусированным, т.е. плоскости  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$  являются оптически сопряжёнными (по законам геометрической оптики). При каком минимальном смещении объекта  $\Delta z$  от входной плоскости  $\Pi_1$  изображение в выходной плоскости  $\Pi_2$  также окажется сфокусированным, если в Фурье плоскости  $\Phi$  (см. рис.) расположить фильтрующую решётку с периодом  $d = 10^{-2} \text{ см}$ . Фокусные расстояния объективов  $J_1$  и  $J_2$  равны  $f = 10 \text{ см}$ , а длина волны, освещающей объект,  $\lambda = 5 \cdot 10^{-5} \text{ см}$ .



**4А.** Ширина спектральной линии неона с длиной волны  $\lambda = 633 \text{ нм}$  (на этой линии работает *He-Ne* лазер) равна  $\Delta\nu = 1,5 \cdot 10^3 \text{ МГц}$ . Для детального исследования контура этой линии, то есть зависимости спектральной интенсивности от частоты  $J(\omega)$  (или от длины волны  $J(\lambda)$ ), предлагается использовать интерферометр Фабри-Перо (ИФП), зеркала которого имеют энергетический коэффициент отражения  $r = 0,95$ . Условная схема эксперимента показана на рис. Излучение газоразрядной неоновой трубки проходит через спектральный фильтр, выделяющий спектральный интервал  $(\lambda, \lambda + \Delta\lambda)$  ( $\Delta\lambda$  соответствует  $\Delta\nu$ ), и направляется на ИФП. Какую максимальную базу  $L_{\max}$  может иметь ИФП для того, чтобы с его помощью можно было исследовать контур спектральной линии неона во всём диапазоне частот? Какой при этом будет максимальная разрешающая способность  $R_{\max}$  интерферометра Фабри-Перо?



**5А.** В интерференционном опыте Юнга используется квази-монохроматический точечный источник света, излучающий с постоянной спектральной интенсивностью  $J_0$  ( $J(\omega) = J_0$ ) в интервале частот  $\Delta\omega$ , локализованном вблизи центральной частоты излучения  $\omega_0$  (рис. а). Если излучение пройдет через фильтр, пропускающий  $N$  дискретных, равноотстоящих по частоте спектральных линий с частотным интервалом между линиями  $\Omega$  (так, что общая полоса частот  $N\Omega = \Delta\omega$  осталась неизменной, а спектральная ширина каждой линии  $\delta\omega$  много меньше частотного интервала  $\Omega$  между линиями (рис. б)), то интерференционная картина изменится. В каких порядках интерференции  $m_{\max}$  наблюдаются при этом максимумы видности и какова в этих порядках видность полос? При каком отклонении  $\Delta m$  от максимального значения  $m_{\max}$  ( $m = m_{\max} \pm \Delta m$ ) видность окажется равной нулю?



# ЭКЗАМЕНАЦИОННАЯ КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА ПО ФИЗИКЕ

Для студентов 2-го курса МФТИ

13 июня 2014г.

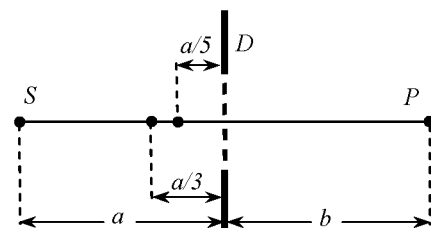
ФИО	№ группы

## ВАРИАНТ Б

1	2	3	4	5	$\Sigma$	оценка

**1Б.** Известно, что смесь красного и зеленого света воспринимается глазом человека как жёлтый свет. Амплитудная синусоидальная решётка периода  $d = 10^{-2}$  см освещается параллельным пучком света, содержащим две спектральные линии:  $\lambda_1 = 630$  нм (красный свет) и  $\lambda_2 = 525$  нм (зелёный свет). Определите, на каком минимальном расстоянии нужно расположить белый экран, чтобы саморепродуцированное изображение решётки оказалось жёлтым.

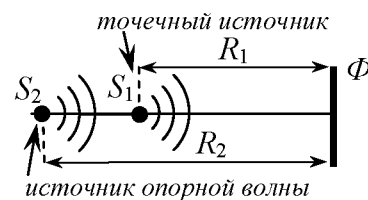
**2Б.** Амплитудная зонная пластинка Френеля для радиоволн с длиной волны  $\lambda = 3$  мм, состоящая из чередующихся прозрачных и непрозрачных зон Френеля, вставлена в отверстие в непрозрачном экране диаметром  $D = 30$  см. Точечный источник  $S$  радиоволн и точка наблюдения  $P$  расположены симметрично относительно экрана на расстояниях  $a = b = 150$  см (см. рис.). Радиусы зон Френеля пластинки рассчитаны именно для этого расположения точек  $S$  и  $P$ .



Интенсивность волн в плоскости экрана равна  $I_0 = A_0^2$ . Определите

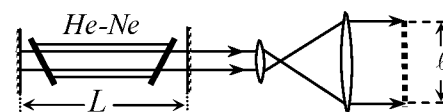
интенсивности колебаний  $I$ ,  $I_1$ ,  $I_2$  в т.  $P$  для случаев: 1) начального положения т.  $S$ ; 2) при перемещении источника на расстояние  $a_1 = a/3$  до экрана; 3) при перемещении источника на расстояние  $a_2 = a/5$  до экрана.

**3Б.** При записи голограммы точечного источника  $S_1$ , расположенного на расстоянии  $R_1 = 60$  см от фотопластинки  $\Phi$ , по методу Габора вместо плоской опорной волны использована сферическая опорная волна от когерентного точечного источника  $S_2$ , расположенного на расстоянии  $R_2 = 90$  см от фотопластинки (см. рис.) В эксперименте был использован монохроматический свет лазера. Предполагая, что

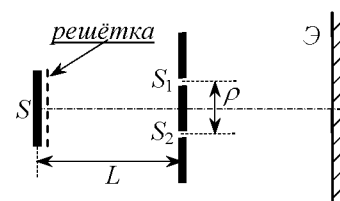


амплитудная прозрачность записанной таким образом голограммы пропорциональна интенсивности света при записи, определите положения действительного и мнимого изображений при просвечивании голограммы нормально падающей плоской волной той же длины волны, что и при записи.

**4Б.** В *He-Ne* лазере, работающем на длине волны  $\lambda = 633$  нм, в качестве резонатора используется интерферометр Фабри-Перо с базой  $L = 15$  см. При определённых условиях лазер может генерировать излучение, спектр которого состоит из двух близких линий (так называемых продольных мод). Каждая из этих линий является резонансной для лазерного интерферометра Фабри-Перо. Лазерный пучок расширяется с помощью телескопической системы (см. рис.) и падает нормально на дифракционную решётку с плотностью штрихов  $n = 1,2 \cdot 10^3$  мм<sup>-1</sup> и шириной  $\ell = 10$  см. Возможно ли с помощью данной решётки разрешить моды в излучении лазера?



**5Б.** Протяженный квазимонохроматический источник света  $S$  (длина волны  $\lambda$ ) накрыт решёткой с периодом  $d$ , так что весь источник покрывают  $N$  щелей решётки (ширина щелей  $b$  много меньше периода  $d$ ). Источник используется в опыте Юнга и находится на расстоянии  $L$  от непрозрачного экрана с двумя узкими щелями  $S_1$  и  $S_2$ , расстояние между которыми  $\rho$  (см. рис.). 1) Найти степень когерентности колебаний на щелях  $S_1$  и  $S_2$



(видность интерференционной картины на экране Э). 2) При каком минимальном расстоянии  $\rho_0$  между щелями  $S_1$  и  $S_2$  видность интерференционной картины максимальна, чему она при этом равна? 3) При каком отклонении расстояния  $\Delta\rho$  от  $\rho_0$  видность картины обращается в нуль?