Задача №1

- Определить количество TE мод в протонообменном планарном волноводе на подложке ниобата лития толщиной 5 мкм на длине волны 1550 нм и 632 нм. Сколько будет мод, если толщину волновода увеличить вдвое?

- Дано:

$$h_1 = 5 \text{ мкм};\ h_2 = 10 \text{ мкм};\ \lambda_1 = 632 * 10^{-9} \text{ м};\ \lambda_2 = 1550 * 10^{-9} \text{ м}$$

Для m = 1 $\lambda = 1550$ нм.

- Найти:

$$h - ?$$

- Решение:

$$m = \frac{4h}{\lambda}\sqrt{n_0^2 - n_1^2}$$

$$h_1:\ m_1 = \frac{4 * 5 * 10^{-6}}{1550 * 10^{-9}}\sqrt{2{,}21^2 - 2{,}2^2} = 2$$

$$m_2 = \frac{4 * 5 * 10^{-6}}{632 * 10^{-9}} * 0{,}21 = 6$$

$$h_2:\ m_1 = \frac{4 * 10 * 10^{-6}}{1550 * 10^{-9}}\sqrt{2{,}21^2 - 2{,}2^2} = 5$$

$$m_2 = \frac{4 * 10 * 10^{-6}}{632 * 10^{-9}} * 0{,}21 = 13$$

$$h = \frac{m\lambda}{4\sqrt{n_0^2 - n_1^2}}$$

$$h = \frac{1550 * 10^{-9}}{4\sqrt{2{,}21^2 - 2{,}2^2}} = 18 \text{ мкм}$$

Задача 3. Ковган Кирилл

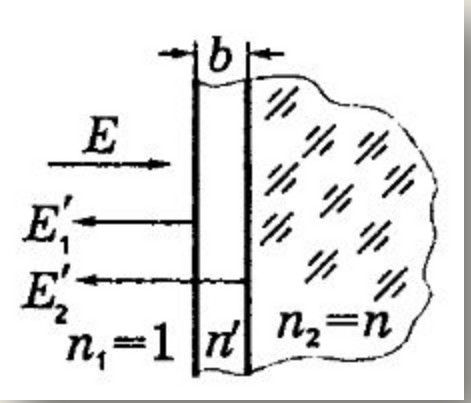
- Принцип просветления оптических деталей.
- Оценить минимальную толщину и величину показателя преломления диэлектрической пленки на стеклянном оптическом элементе с ПП 1,5.

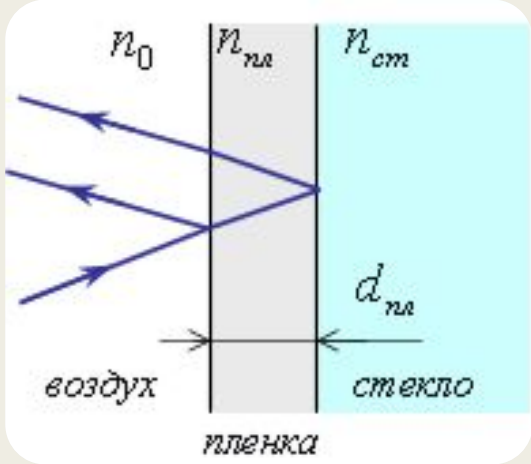
Просветление оптики

Всё остальное лежит **интерференция** света при отражении от **тонких пластинок.** Дело в том, что при прохождении света через каждую преломляющую поверхность линзы **отражается** примерно 4% падающего света. В сложных объективах такие отражения совершаются многократно и суммарная потеря светового потока оказывается весьма ощутимой.

В **просветленной оптике** на каждую поверхность линзы наносят путем напыления **тонкую пленку** прозрачного диэлектрика с показателем преломления $\boldsymbol{n'} \approx \sqrt{\boldsymbol{n_1 n_2}}$, где $\boldsymbol{n_1}$ и $\boldsymbol{n_2}$ - показатели преломления сред, между которыми находится пленка. При этом условии **амплитуды** отраженных от обеих поверхностей пленки волн оказываются, согласно $\boldsymbol{E'_1} = \frac{\boldsymbol{n_1 - n_2}}{\boldsymbol{n_1 + n_2}}\boldsymbol{E}$, практически **одинаковыми.** Толщина же пленки делается такой, чтобы волны, отраженные от обеих поверхностей пленки, оказывались в **противофазе**, т.е. гасили друг друга.

■ Найдем <u>показатель преломления</u> $\boldsymbol{n'}$ пленки и её <u>толщину</u> $\boldsymbol{b}$, чтобы отражение света с длиной волны $\boldsymbol{\lambda = 0,55}$ мкм от поверхности стекла с показателем преломления $\boldsymbol{n = 1,5}$ отсутствовало при нормальном падении света. Сначала найдем $\boldsymbol{n'}$, при котором амплитуды волн, отраженных от обеих поверхностей пленки, были бы одинаковыми.





Для этого согласно $\boldsymbol{E'_1 = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} E}$, нужно чтобы $\boldsymbol{{E'_1}/{E} = {E'_2}/{E}}$. Мы будем пренебрегать многократными отражениями и считать, что амплитуды падающих на обе поверхности пленки волн практически одинаковы. В нашем случае это выглядит так: $\boldsymbol{\frac{1-n'}{1+n'} \approx \frac{n'-n}{n'+n}}$, откуда $\boldsymbol{n' \approx \sqrt{n} = 1,225}$. Твердых веществ с таким малым показателем преломления нет. Трудность может быть преодолена путем использования двухслойных покрытий с соответственно подобранными показателями преломления.

- Теперь определим толщину пленки, при которой отраженные волны будут в противофазе. Это значит, что оптическая разность хода этих двух отраженных волн на выходе пленки должна быть равно полуцелому числу длин волн:

$$\Delta \boldsymbol{L}_{\text{оп}} = \boldsymbol{2bn'} = \left(\boldsymbol{m} + \frac{\boldsymbol{1}}{\boldsymbol{2}}\right)\boldsymbol{\lambda}.$$

Здесь учтено, что обе волны отражаются от оптически более плотных сред, и значит одинаково испытывают скачок фазы на $\boldsymbol{\pi}$ («потерю» полуволны). Из последнего условия находим $\boldsymbol{b} = \frac{(\boldsymbol{m}+\boldsymbol{1}/\boldsymbol{2})\boldsymbol{\lambda}}{\boldsymbol{2}\sqrt{\boldsymbol{n}}}$. Наименьшая толщина (при $\boldsymbol{m} = \boldsymbol{0}$) равна $\mathbf{b} = \boldsymbol{\lambda}/\boldsymbol{4} \cdot \sqrt{\boldsymbol{n}} = \boldsymbol{0,168}$ мкм.

У обычного света длина когерентности невелика, поэтому пленка должна иметь толщину порядка нескольких длин волн. Это обязывает с особой осторожностью относиться к таким покрытиям: малейшее механическое повреждение пленки разрушает её действие.

Обычно просветление оптики проводят для средней (**желто-зеленой**) области видимого спектра. Для краев же этого спектра коэффициент отражения заметно отличается от нуля, и объективы кажутся в отраженном свете пурпурными, что соответствует смешению **красного** и **фиолетового** цветов.

Задача №4

по дисциплине «Оптикоэлектронные измерители в навигации»

- Выполнил:
- ст. гр. ИВК-18-1Б
- Быков М.С

Интерферометр Майкельсона

Пусть делитель симметричный, тогда $\frac{I}{I_0} = \frac{1}{2}(1+\cos(\Delta\varphi))$ - передаточная функция, где I - интенсивность [Вт], $\Delta\varphi$ - разность фаз [рад.] График $\frac{I}{I_0}(\Delta\varphi)$ представлен на рисунке 1.

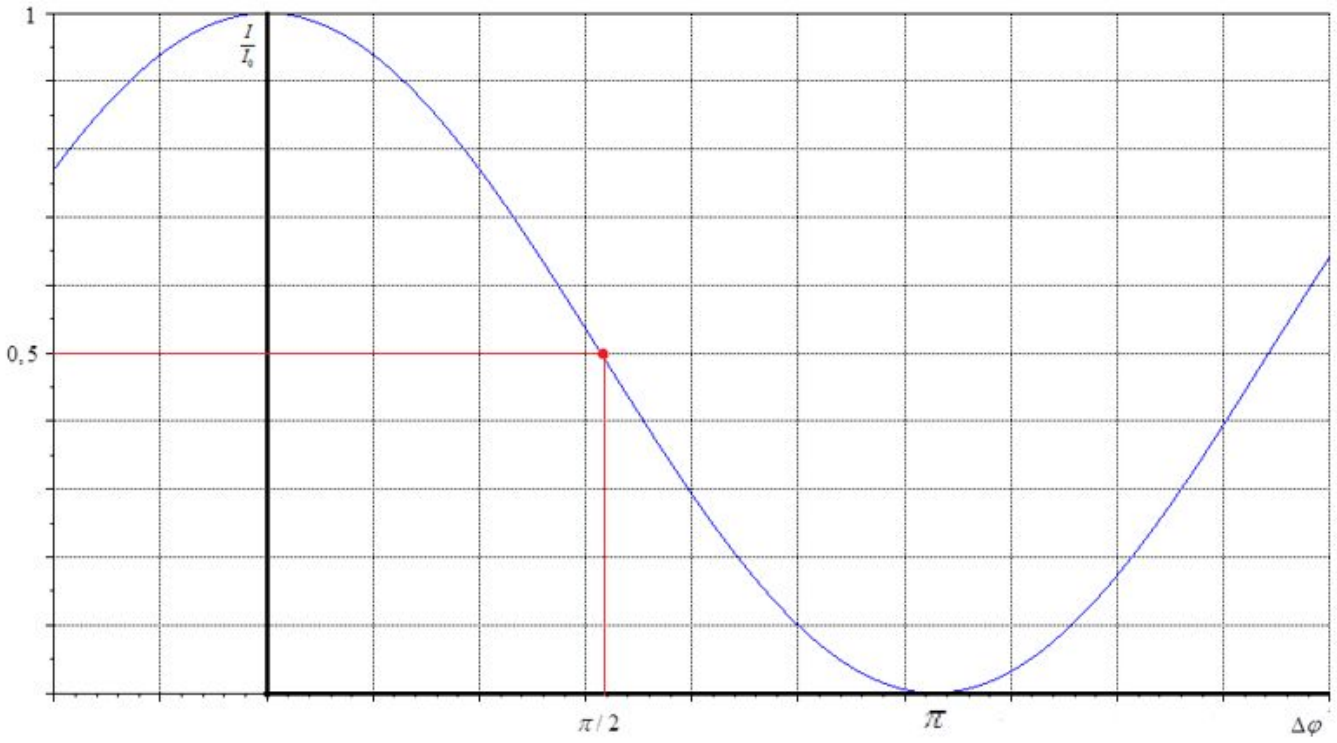


Рис.1

Максимальная чувствительность будет в точке $\frac{\pi}{2}$ т.к. чувствительность – это производная от передаточной характеристики (при дифференцировании cos поменяется на sin).

$$\frac{I}{I_0} = \frac{1}{2}(1+\cos(\Delta\varphi + \frac{\pi}{2})) = \frac{1}{2}(1+\sin(\Delta\varphi))$$

$\delta(\frac{I}{I_0}) = \frac{1}{2}\sin\Delta\varphi = \frac{1}{2}\Delta\varphi$, синус исчез т.к. При малых значениях угла синусом можно пренебречь. С другой стороны, $\Delta\varphi = \frac{2\pi n \Delta L}{\lambda} \Rightarrow \Delta L = \frac{\lambda\Delta\varphi}{2\pi n}$

Где, ΔL -разность хода, λ-длина волны, n-показатель преломления среды.

$\delta(\frac{I}{I_0}) = \frac{1}{2}\Delta\varphi \Rightarrow \Delta\varphi = 2\delta(\frac{I}{I_0})$ Подставим выражение для разности фаз в выражение для разности хода: $\Delta L = \frac{\lambda}{2\pi n} 2\delta(\frac{I}{I_0}) = \frac{\lambda}{\pi n}\delta(\frac{I}{I_0})$

Подставим исходные данные в уравнение для разности хода: $\begin{cases} \lambda = 1{,}55 * 10^{-6} м. \\ \frac{I}{I_0} = 10\% \\ n = 1 \end{cases}$

$$\Delta L = \frac{1{,}55 * 10^{-6}}{\pi * 1} * 0{,}1 = 50 нм.$$

При смещении полосы на 10% для интерферометра Майкельсона чувствительность к перемещению зеркала равна 50 н.м.

Интерферометр Фабри-Перо

Передаточная функция:

$$\begin{cases} \dfrac{I}{I_0} = \dfrac{1}{1 + F\sin^2(\dfrac{\Delta\varphi}{2})} \\ F = \dfrac{4R}{1-R^2} \end{cases}$$

Где I - интенсивность [Вт], $\Delta\varphi$ - разность фаз [рад.], F – число Эйри, R – коэффициент отражения зеркал. Примем коэффициент R равным 0.99, тогда передаточная функция примет вид:

$$\frac{I}{I_0} = \frac{1}{1 + \dfrac{4R}{1-R^2}\sin^2(\dfrac{\Delta\varphi}{2})} = \frac{1}{1 + 198.99\sin^2(\dfrac{\Delta\varphi}{2})}$$

$$\frac{4R}{1-R^2} = 198.99$$

График $\dfrac{I}{I_0}(\Delta\varphi)$ представлен на рисунке 2.

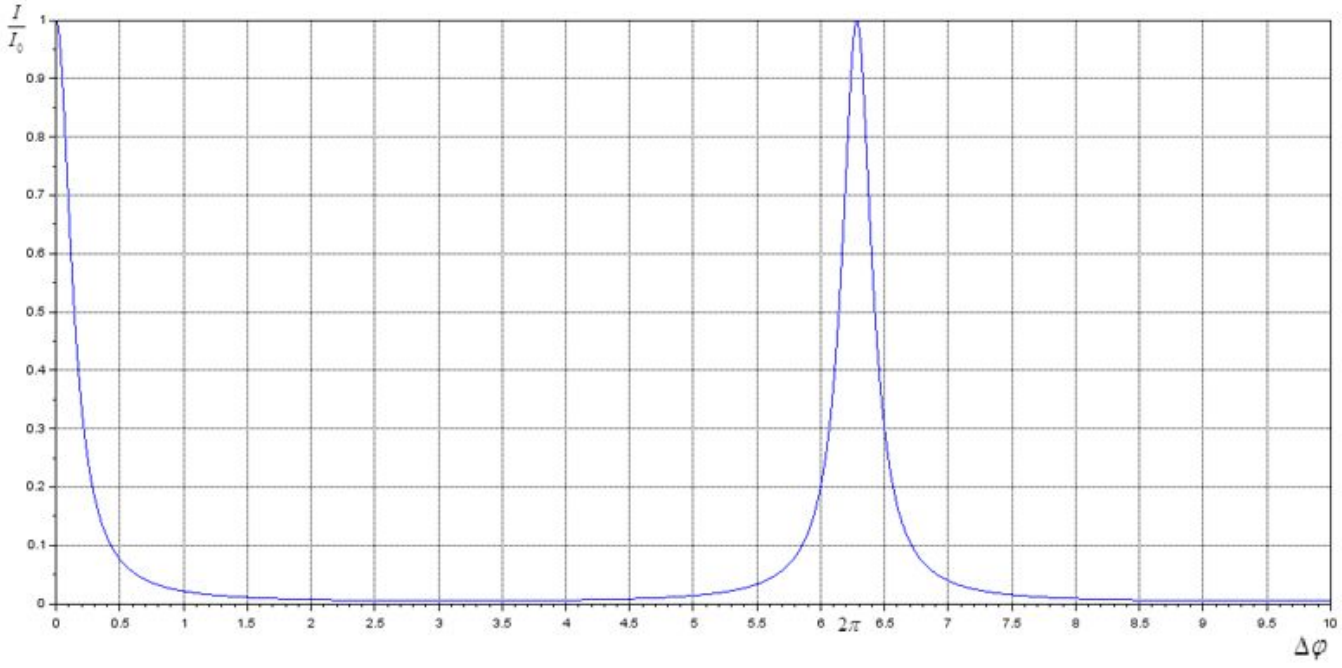


Рис.2

Найдем производную передаточной функции для того, чтобы найти точку, в которой будет максимальная чувствительность.

$$\left(\frac{1}{1+198.99\sin^2(\frac{\Delta\varphi}{2})}\right)' = \frac{-1}{(1+198.99\sin^2(\frac{\Delta\varphi}{2}))^2} * 198.99 * 2 * \sin(\frac{\Delta\varphi}{2}) * \cos(\frac{\Delta\varphi}{2}) * \frac{1}{2} =$$

$$= -\frac{198.99\sin(\frac{\Delta\varphi}{2})\cos(\frac{\Delta\varphi}{2})}{(1+198.99\sin^2(\frac{\Delta\varphi}{2}))^2}$$

Построим график для производной от передаточной функции. График представлен на рисунке 3.

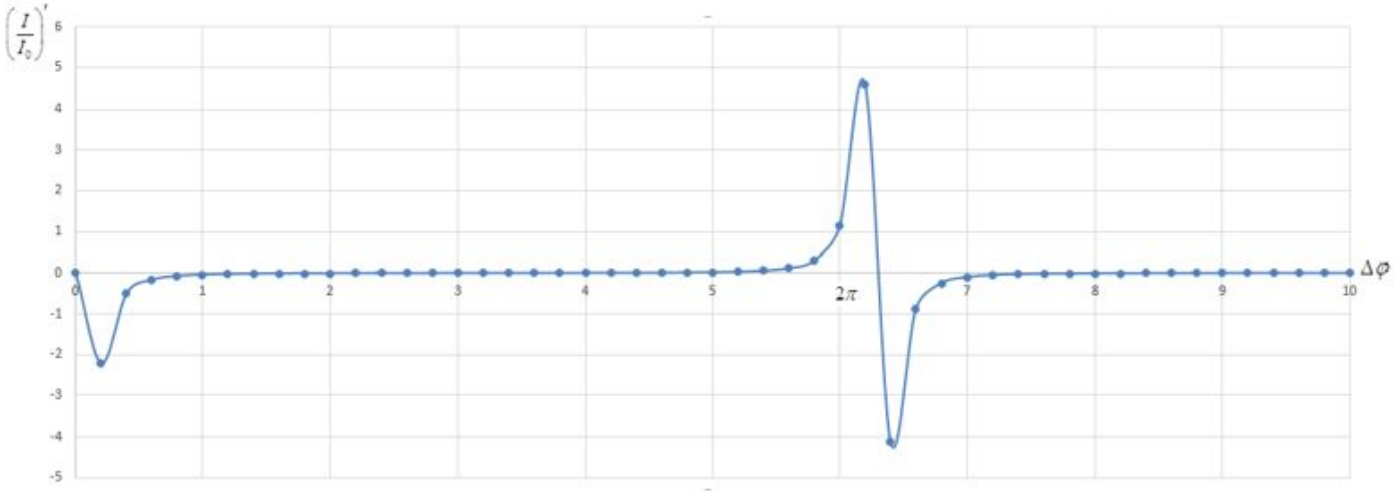


Рис.3

Максимальная чувствительность будет при $\Delta\varphi_0 = 2\pi$.Перепишем передаточную функцию с учетом того, что $\Delta\varphi_0 = 2\pi$:

$$\frac{I}{I_0} = \frac{1}{1+198.99\sin^2(\frac{\Delta\varphi}{2}+2\pi)} = \frac{1}{1+198.99\sin^2(\frac{\Delta\varphi}{2})}$$

Передаточная функция не изменится.

Выведем из уравнения для передаточной функции $\Delta\varphi$:

$$1+198.99\sin^2(\frac{\Delta\varphi}{2}) = \frac{I_0}{I}$$

$$\sin(\frac{\Delta\varphi}{2}) = \sqrt{\frac{\frac{I_0}{I}-1}{198.99}}$$

$$\Delta\varphi = 2\arcsin\sqrt{\frac{\frac{I_0}{I}-1}{198.99}}$$

$$\frac{I}{I_0} = 10\% \Rightarrow \frac{I_0}{I} = \frac{1}{0.1} = 10$$

$$\Delta\varphi = 2\arcsin\sqrt{\frac{10-1}{198.99}} = 2\arcsin(0.213) = 24,56$$

С другой стороны, $\Delta\varphi = \frac{2\pi n \Delta L}{\lambda} \Rightarrow \Delta L = \frac{\lambda\Delta\varphi}{2\pi n}$

где n -показатель преломления, ΔL -разность хода, λ-длина волны

Подставим исходные данные в уравнение для разности хода: $\begin{cases} \lambda = 1,55*10^{-6} м. \\ n = 1 \end{cases}$

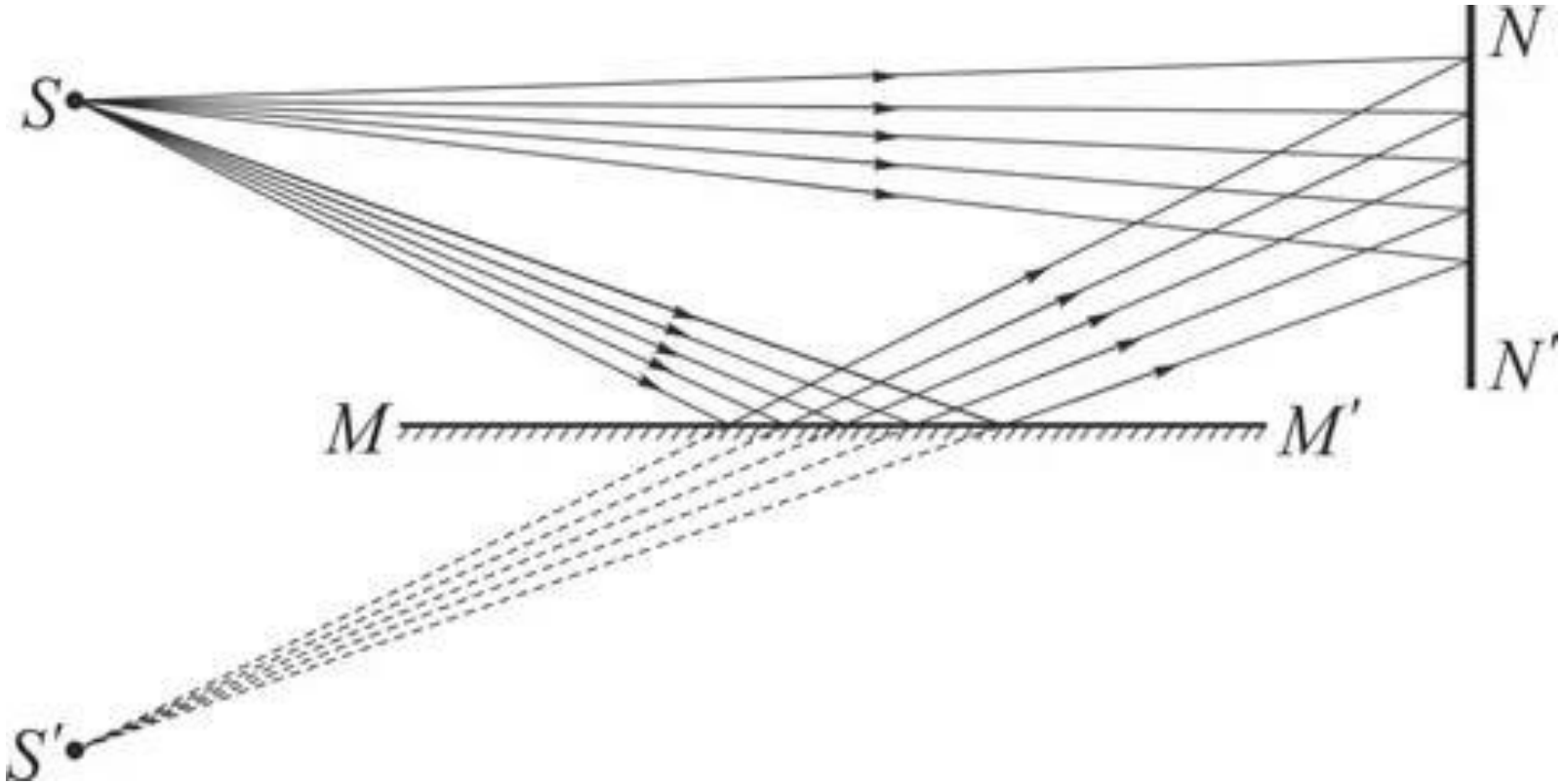
$$\Delta L = \frac{\lambda\Delta\varphi}{2\pi n} = \frac{1.55*10^{-6}*24,56}{2\pi*1} = 6 мк.м.$$

При смещении полосы на 10% для интерферометра Фабри-Перо чувствительность к перемещению зеркала равна 6 мк.м.

Агеева Полина 5 вопрос

Задача 5

Интерферометр Ллойда. Оценить ширину интерференционной полосы для монохроматического света 1550 нм – излучательная мода планарного волновода заглубленного на 4,5 мкм на стекле. Расстояние до экрана 1 см.



- X=(1550*10^(-9)*0,01)/4,5*10^(-6)*2=1,72*10^(-3)

$$\Delta x = \frac{\lambda l}{d}, \qquad (1)$$

Задача 6.

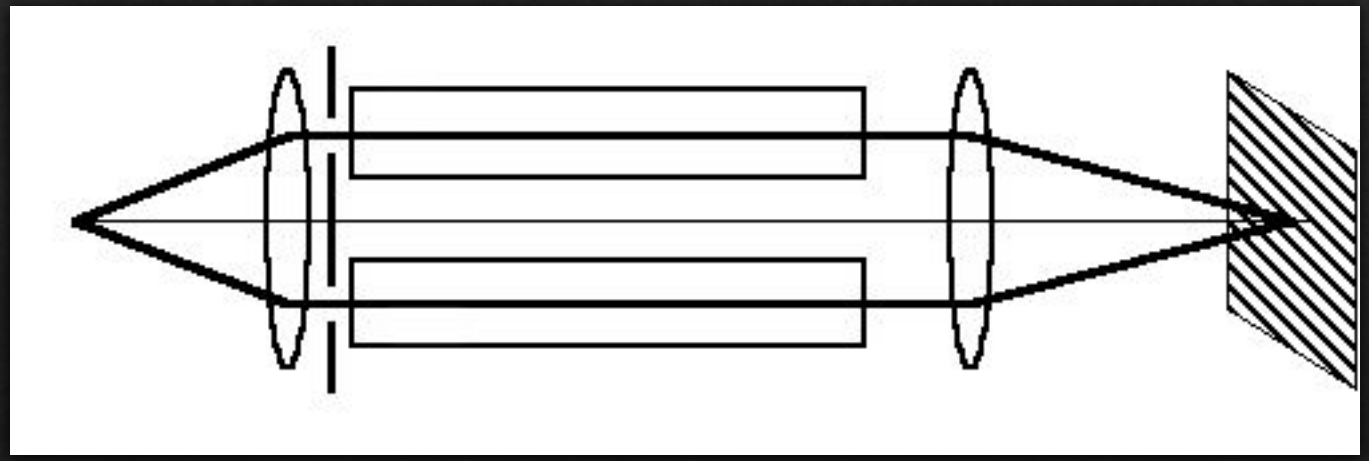
Выполнил: Каменев В.-А. Д.

Интерферометр Рэлея. Оценить на сколько и в какую сторону сместятся интерференционные полосы при замене в одном из плеч стекла с ПП 1,50 (крон) на стекло такой же длины с ПП 1,70 (сверхтяженый флинт).

- n_1=*1,50*
  n_2=*1,70*

$$n_2 > n_1$$

Следовательно интерференционная картина сместится вверх (Замена верхнего плеча).



Решение:

- $(n_2 - n_1)d * 2\pi = N\lambda$

$$N = \frac{(n_2 - n_1)d * 2\pi}{\lambda}$$

$$N = \frac{0{,}20d * 2\pi}{\lambda}$$

- N – Число полос, на которое сместится интерференционная картина.
  λ – Длина волны.
  d – Длина стекла.

Пример:

- $d = 1\text{м}$
- $\lambda = 632$ нм
- $N = \frac{0{,}20*1*2\pi}{632*10^{-9}} = 1987341.77215$ полос.

Задача №7 (Новикова Татьяна)

Френелевское отражение. Определить сдвиг Гуса-Хенхен для пучка TE моды (632 нм) из стекла в воздух и испытывающего полное внутреннее отражение.

Решение:

1. Найдем критический угол $\theta_{\text{кр}}$.

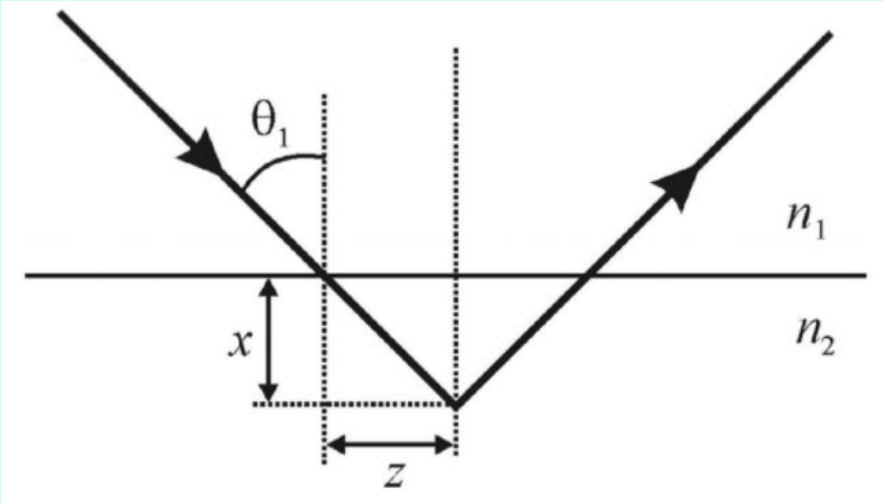
$$sin\theta_{\text{кр}} = \frac{n_2}{n_1}$$

В данном случае $n_1 = 1{,}45$; $n_2 = 1$.

Тогда $\theta_{\text{кр}} = \arcsin\left(\frac{1}{1{,}45}\right) = 0{,}761$ рад.

Полное внутренне отражение возможно только при угле падения большем критического угла. Рассчитаем сдвиг Гуса-Хенхена для угла $\theta = 0{,}77$ рад.

Полное внутреннее отражение сопровождается смещением пучка вдоль оси z (сдвиг Гуса-Хенхена). Это происходит за счет проникновения излучения за границу двух сред в виде затухающей волны.



Величина смещения пучка по оси z для случая ТЕ-поляризации (вектор электрического поля (E) перпендикулярен плоскости падения излучения) задается следующим соотношением:

$$z = \frac{tg(\theta)}{k\sqrt{n_1^2 sin^2(\theta) - n_2^2}}$$

Где k – волновое число, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$.

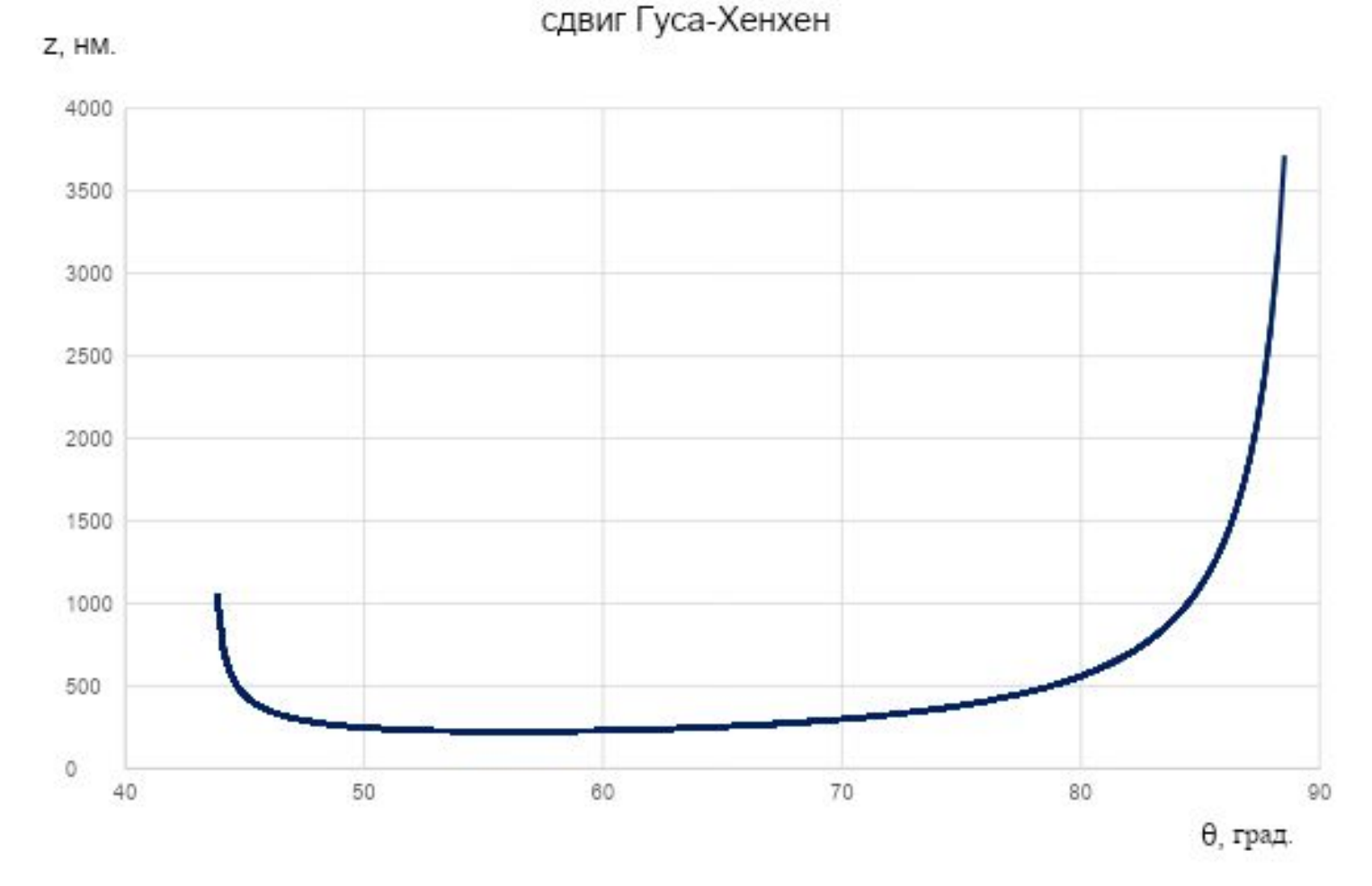
В данном случае

$$z = \frac{tg(0{,}77) * 632 * 10^{-9}}{2\pi\sqrt{1{,}45^2 sin^2(0{,}77) - 1}} =$$

$$= 7{,}0983 * 10^{-7} = \mathbf{709{,}8} \text{ нм.}$$

Построим график зависимости сдвига Гуса-Хенхена от угла θ.

$\theta_{\text{кр}} = 0{,}761$ рад. $= 43{,}6$ град.



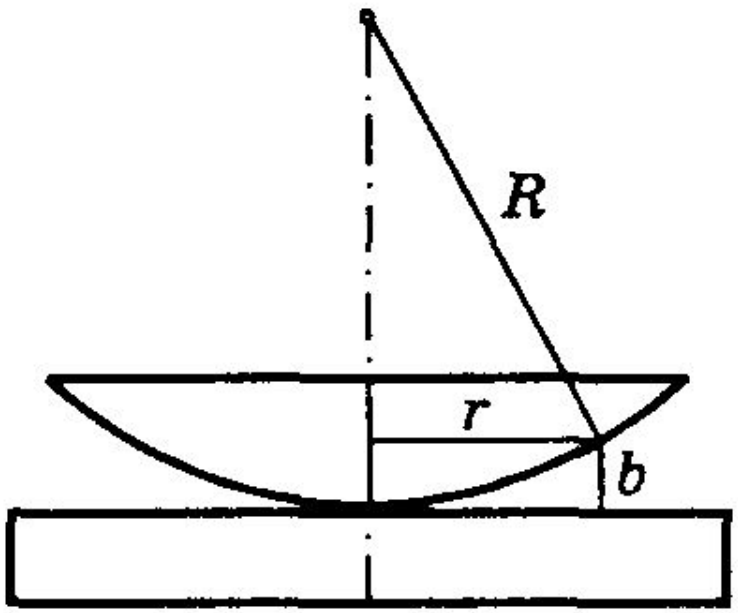
Задача для курсового проекта №8

Выполнил: ст. гр. ИВК-18

Неволина Елена Сергеевна

Определить радиус кривизны оптической детали из стекла (ПП 1,45), если наблюдается кольцо Ньютона в отраженном свете первого порядка радиусом 10 см на длине волны 632 нм.

<u>Дано:</u>
n = 1.45
m = 1
r = 10 см = 0.1 м
λ = 632 нм = $632 \cdot 10^{-9}$



<u>Решение:</u>

1) Условие образования светлого кольца

$$2bn + \frac{\lambda}{2} = m\lambda$$

2) Учтем связь между зазором b и радиусом кольца r

$$2bR = r^2$$

3) Исключим из этих 2х уравнений b

$$b = \frac{m\lambda - \lambda}{2n} = \frac{\lambda(2m-1)}{4n}$$

$$r^2 = \frac{\lambda R}{2n}(2m-1)$$

4) Выразим R

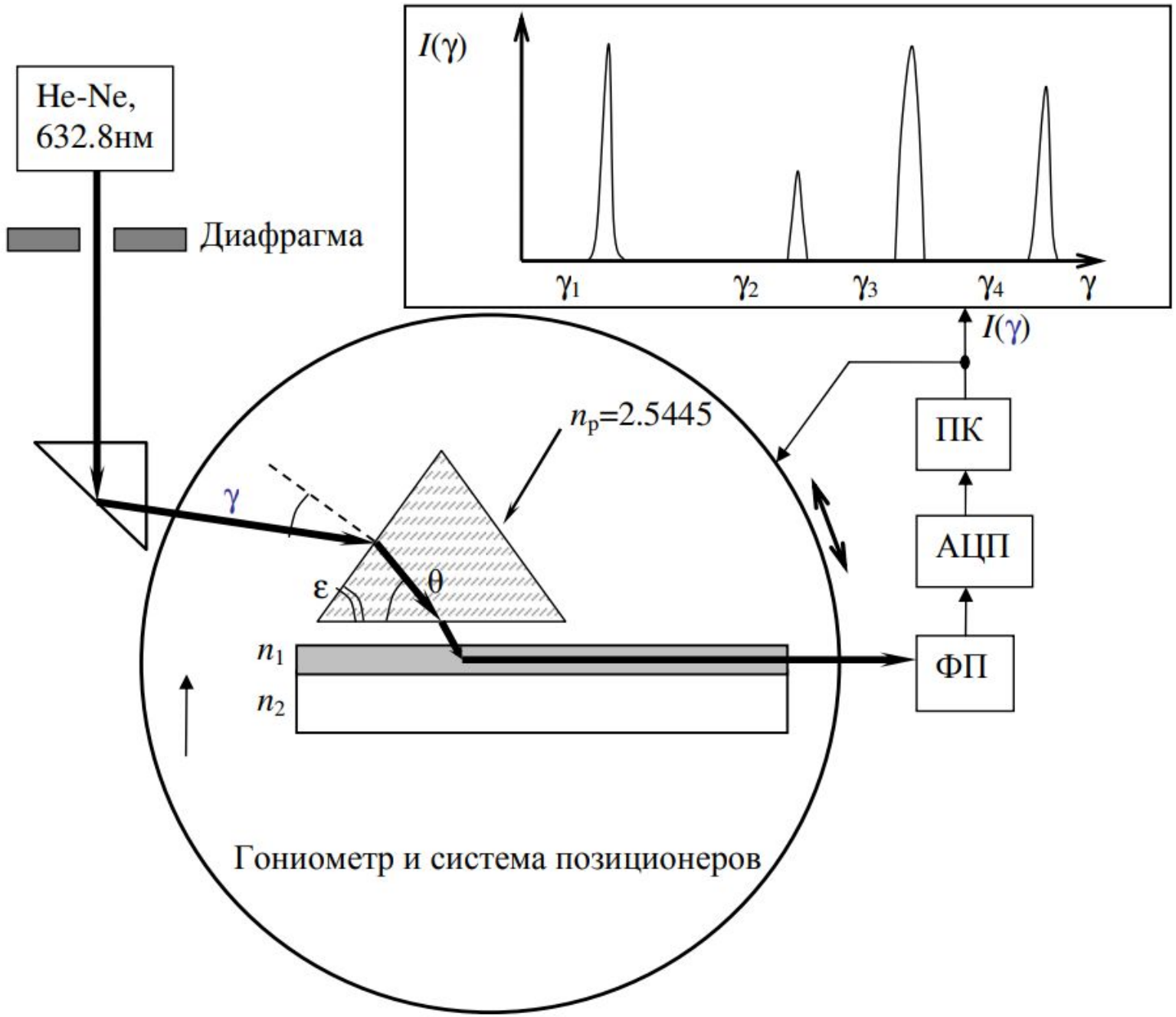
$$R = \frac{2nr^2}{\lambda(2m-1)}$$

5) Подставляем данные

$$R = \frac{2 \cdot 1.45 \cdot 0.1^2}{632 \cdot 10^{-9} \cdot (2 \cdot 1 - 1)} \backsimeq 4.589 \cdot 10^4 \backsimeq 45890 \text{ м}$$

Задача 9. Модовая спектороскопия

Шаврин Игорь



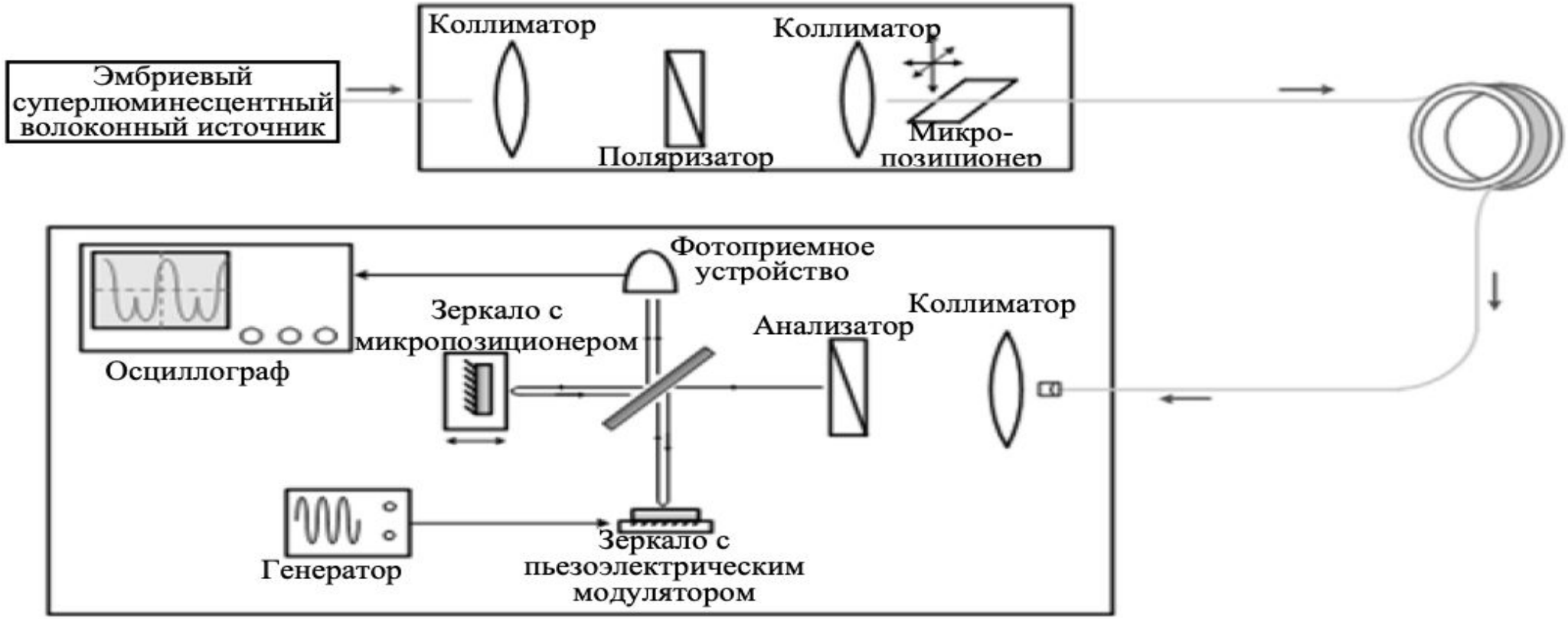
1.

схема установки модовой спектроскопии

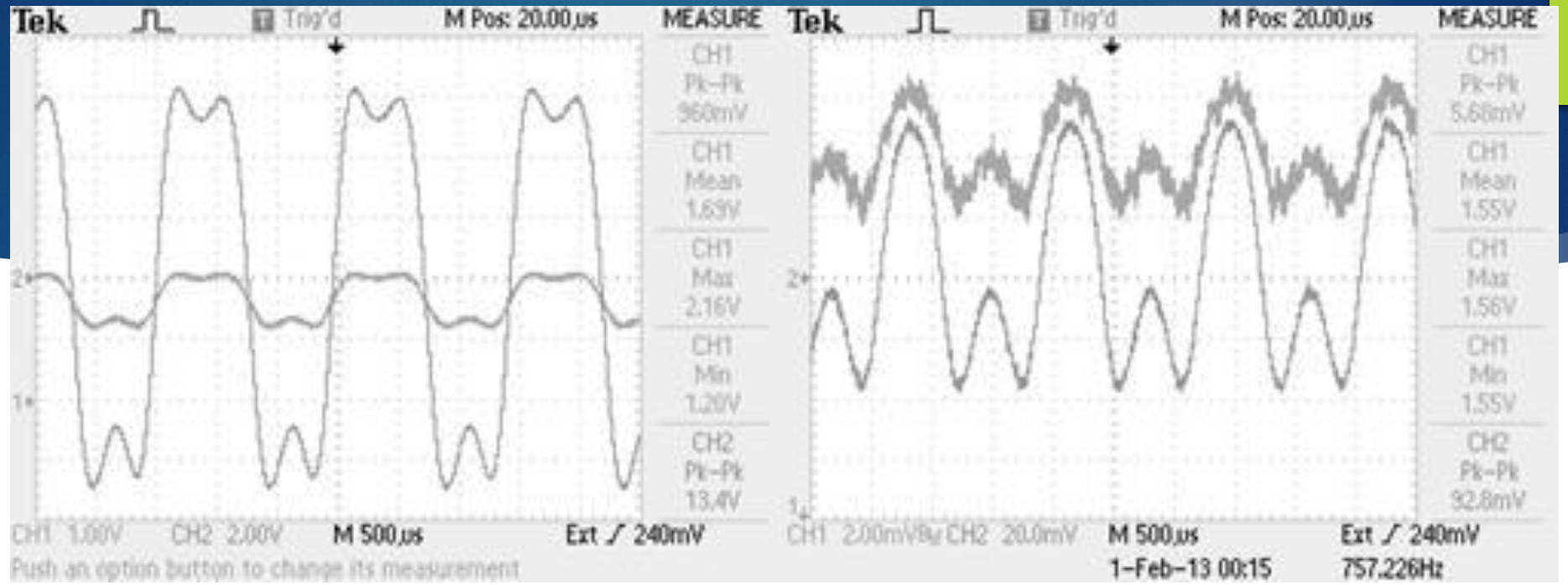
Задача 10 (Абдулов Роман)

Метод измерения степени сохранения поляризации

схема установки для измерения степени сохранения поляризации



- При распространении одной поляризационной моды в волокне происходит перекачка мощности в ортогональную моду, а также присутствует набег разности фаз между ними. С помощью микропозиционера с закрепленным на нем зеркалом в одно из плеч интерферометра вносится соответствующая фазовая задержка, что позволяет видеть на экране осциллографа картину интерференции рассматриваемых мод



- Осциллограммы интерференционного сигнала, слева – при вводе линейно-поляризованного излучения в световод под углом 45° к оптическим осям, справа - при вводе линейно-поляризованного излучения строго в оптическую ось

- Параметры полученной интерференционной картины зависят от интенсивностей мод на выходе исследуемого волокна следующим образом:

$$I_{\min} = \frac{1}{2}I_1 + \frac{1}{2}I_2 - 2\sqrt{\frac{I_1}{4} \times \frac{I_2}{4}}$$

$$I_{\max} = \frac{1}{2}I_1 + \frac{1}{2}I_2 + 2\sqrt{\frac{I_1}{4} \times \frac{I_2}{4}}$$

- Где Imin, Imax – интенсивность интерференционного сигнала при деструктивной и конструктивной интерференции соответственно; I1 – интенсивность первоначально возбуждённой моды; I2 – интенсивность паразитной моды.

- Из формул получаем выражение для искомого отношения:

$$\frac{I_2}{I_1}=\frac{(I_{\max}+I_{\min})-2\sqrt{I_{\max}\times I_{\min}-\frac{3}{4}(I_{\max}-I_{\min})^2}}{(I_{\max}+I_{\min})+2\sqrt{I_{\max}\times I_{\min}-\frac{3}{4}(I_{\max}-I_{\min})^2}}.$$

- Таким образом, зная Imin и Imax, можно определить величину степени сохранения поляризации.

методы определения типа поляризации излучения

- По типу поляризации излучение делится на:

1)линейно-поляризованное

2)эллиптически-поляризованное

3)циркулярно- поляризованное

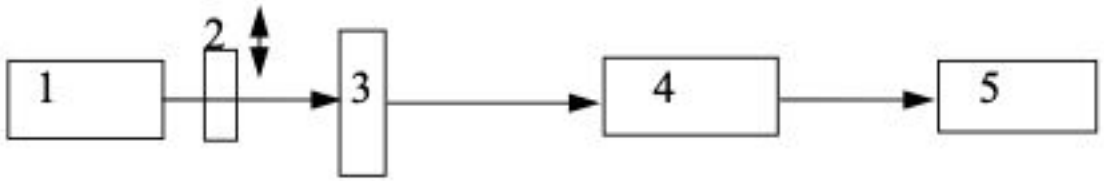
4)неполяризованное

5)излучение, содержащее линейно-поляризованные и неполяризованные компоненты

6)излучение, содержащее циркулярно-поляризованные и неполяризованные компоненты

7)излучение, содержащее эллиптически-поляризованные и неполяризованные компоненты.

- Для определения типа поляризации, а также для измерения поляризационных параметров излучение исследуют с помощью поляризаторов (анализаторов) и фазовых пластинок.
- Схема установки, с помощью которой можно определить тип поляризации излучения, приведена на рисунке:



- Исследуемый пучок излучения (1) переходит через анализатор (3), плоскость пропускания которого может поворачиваться вокруг оптической оси пучка, поступает на фотоэлектрический приемник (4) и на регистрирующее устройство (5).
- Если при вращении анализатора яркость поля зрения на индикаторе или поток излучения изменяется от максимальной, приблизительно равной яркости источника излучения, до нуля, то исследуемая поляризация является линейной. Если яркость не меняется, то излучение может быть неполяризованным или циркулярно-поляризованным.
- Если яркость поля зрения на индикаторе изменяется, но полного гашения не происходит, то излучение может быть частично или эллиптически-поляризованным. При этом для проведения дальнейшего исследования необходимо поместить перед анализатором четвертьволновую пластину (2), которая может поворачиваться вокруг оптической оси. Если пучок частично поляризован и содержит, наряду с поляризованным компонентом эллиптически или циркулярно-поляризованный, то можно найти такое положение четвертьволновой пластины и анализатора, при котором яркость поля зрения частично уменьшается. Чем больше доля поляризованного компонента, тем больше затемнение.

Задача 11

Оценить чувствительность кварцевой ВБР к упругой деформации.

Ирина Вильгельми

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = (1 - \frac{n_{eff}^2}{2}[p_{12} - v(p_{11} + p_{12})])\varepsilon_z$$

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = (1 - 1.063(10^{-10} - 0.17 * 10^{-10})10^{-6}$$

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = (1 - 0.18)10^{-6}$$

$$\Delta\lambda = 1.72 * 10^{-6}$$

λ –резонансная длина волны ВБР

Δλ – изменение резонансной волны ВБР

ε_z*- линейная деформация вдоль оси z*

n_{eff}*-показатель преломления кварцевого стекла*

$p_{11,}p_{12}$*- коэффициенты Поккельса упругого оптического тензора*

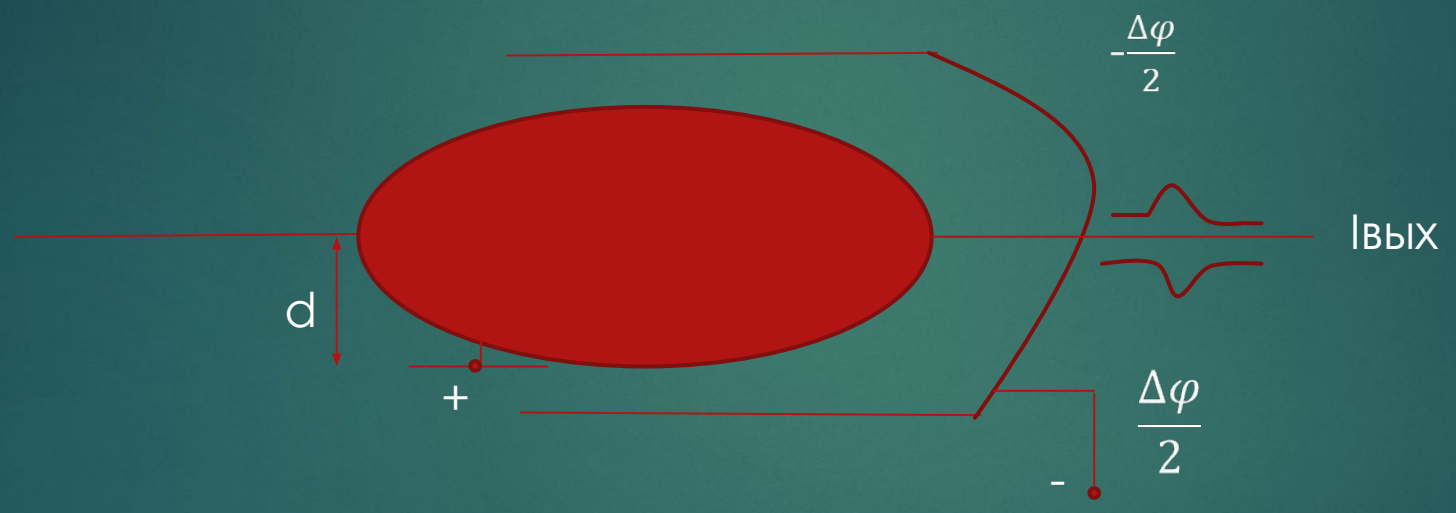
v- Коэффициент Пауссона оптоволокна

Задача 12

ИНТЕГРАЛЬНО-ОПТИЧЕСКИЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР МАХА-ЗАНДЕРА – МОДУЛЯТОР ИНТЕНСИВНОСТИ, РАССЧИТАТЬ ПОЛУВОЛНОВОЕ НАПРЯЖЕНИЕ ДЛЯ ДВУХПЛЕЧЕВОГО МОДУЛЯТОРА НА ПОДЛОЖКЕ НЛ, X-СРЕЗ, ЭЛЕКТРОДЫ ВДОЛЬ Y-СРЕЗА, ДЛИНА ВОЛНЫ 1550 НМ, ЗАЗОР 12 МКМ, ДЛИНА 33 ММ. ЭО КОЭФФИЦИЕНТ 32 ПМ/В.

Выполнил ст.гр. ИВК-18-1б
Куклина Екатерина Сергеевна

Схематическое представление модулятора интенсивности



Решение задачи

- 1. $\Delta\varphi = \frac{\Delta\varphi}{2} - \left(-\frac{\Delta\varphi}{2}\right) = \pi$
- 2. $U = \frac{d\lambda}{2*Ln_e^3 r_{33}} = \frac{1.2*10^{-5}*1.55*10^{-6}}{2*0.03*2.2^3*32*10^{-12}} = 1.14\ \text{В}$

Задача 13. Выполнил : Глухов АА

ДАНО:

$\lambda = 632{,}8 * 10^{-9}$м

$|n_o - n_e| = 0.009$

$\frac{\lambda}{4}$- пластинка

РЕШЕНИЕ:

$h * |n_o - n_e| = m * \frac{\lambda}{4}$, где m-нечетное

Вычислим толщину пластинки, исходя из её произвольности в силу переодичности.

Пусть m = 15 ≡ m_0, тогда

$$h=\frac{m_0*\lambda}{4|n_o-n_e|}=\frac{15*632.8*10^{-9}}{4*0.009}=0.26*10^{-3}\text{м}$$

Пусть m= 17, толщина пластинки будет больше на 0,035мм

Исходя из этого, можно понять, что задавать толщину нет необходимости.

Значения λ, для которых пластина действует как четвертьволновая(от 380нм до 740нм) выполняется:

$$\lambda=\frac{4*h|n_o-n_e|}{m}=\frac{4*0,26*10^{-3}*0,009}{m}=\frac{0,009*10^{-3}}{m}=\frac{9*10^{-6}}{m}\text{ м}$$

m= 11 -> λ = 0,85 мкм – не подходит

m= 13 -> λ = 0,72 мкм - подходит

m= 15 -> λ = 0,60 мкм – подходит

m= 17 -> λ = 0,55 мкм – подходит

m= 19 -> λ = 0,49 мкм – подходит

m= 21 -> λ = 0,45 мкм – подходит

m= 23 -> λ = 0,41 мкм – подходит

m= 25 -> λ = 0,37 мкм – не подходит

Ответ: Для волн 0,72 мкм, 0,60 мкм, 0,55 мкм, 0,49 мкм, 0,45 мкм, 0,41 мкм эта пластинка будет четвертьволновой.

Задача 14

Выполнил: Зыков Алексей

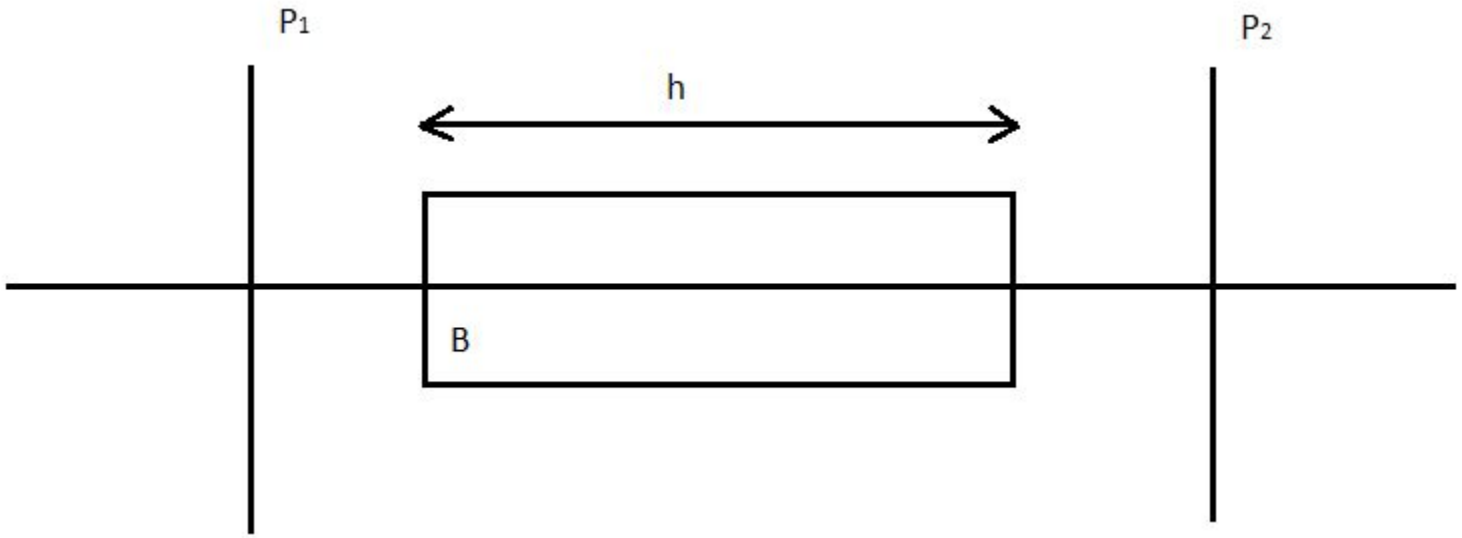
14)Кварцевая пластинка (двулучепреломление) толщиной 0,5 мм между скрещенными поляризаторами. Какие длины волн видимого диапазона будут проходить эту систему с максимальной интенсивностью? А с минимальной?

Дано:

$h = 0{,}5 * 10^{-3}$м

P_2перпендикулярен P_1

$B = n_0 - n_e = 0{,}009$



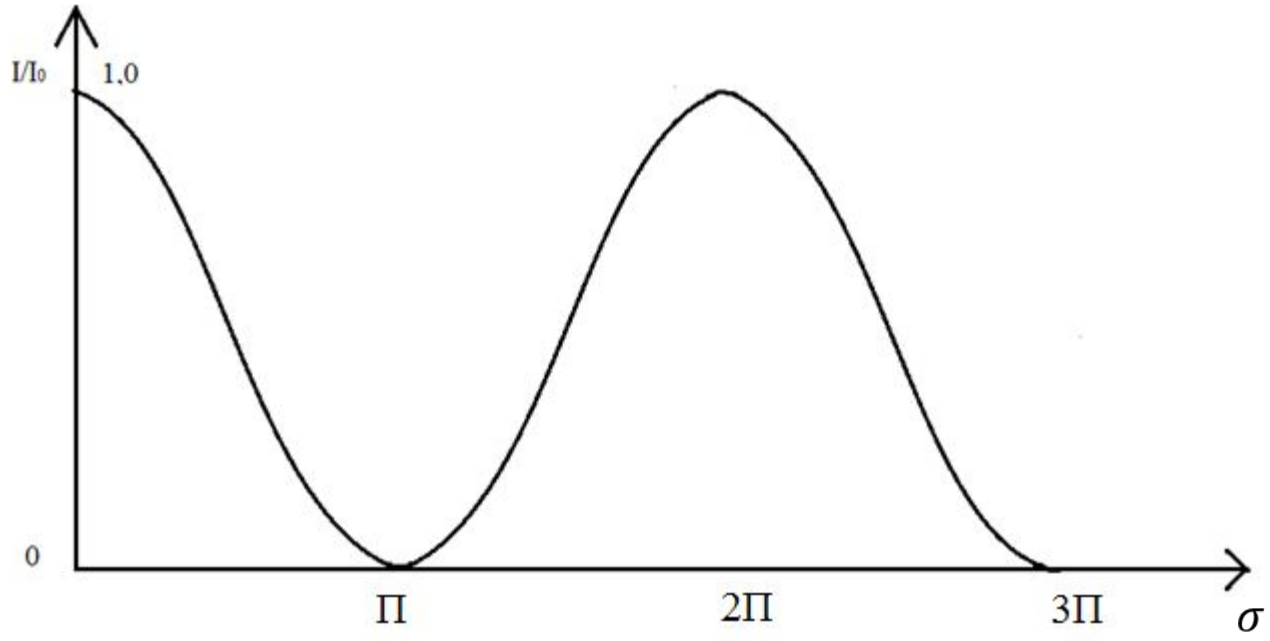
Решение:

$$\frac{I}{I_0} - max \text{ при } 2\pi\sigma hB = 2\pi m$$

$$\frac{I}{I_0} - min \text{ при } 2\pi\sigma hB = \pi + 2\pi m$$

max: $\sigma = \frac{2\pi m}{2\pi hB} = \frac{m}{hB}$ или $\lambda = hB$

min: $\sigma = \frac{\pi+2\pi m}{2\pi hB} = \frac{1+2m}{2hB}$ или $\lambda = \frac{2hB}{1+2m}$



m = 11

$max_1: \lambda = 409\text{нм}$

$min_1: \lambda = 391\text{нм}$

m = 10

$max_2: \lambda = 450\text{нм}$

$min_2: \lambda = 428\text{нм}$

m = 9

$max_3: \lambda = 500\text{нм}$

$min_3: \lambda = 474\text{нм}$

m = 8

$max_4: \lambda = 563\text{нм}$

$min_4: \lambda = 530\text{нм}$

m = 7

$max_5: \lambda = 643\text{нм}$

$min_5: \lambda = 600\text{нм}$

m = 6

$max_6: \lambda = 750\text{нм}$ – *не входит в видимый диапазон*

$min_6: \lambda = 692\text{нм}$