Лабораторная работа №6 (О-107)

Измерение длины световой волны с помощью колец Ньютона

Цель работы:

Изучить явление интерференции света на установке для наблюдения колец Ньютона, определить радиус кривизны линзы и длину волны света

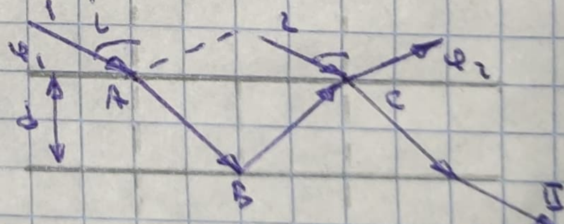
Теоретическая часть.

Интерференция — сложение волн (когерентных) в рез. которого в разных т. пр-ва возникают увелич/уменьш ампл.

Когерентные волны — одинаковые по частоте и с $\Delta\varphi = const$

Интерференция света при отражении от тонкой пластины:

Пучок 1 преломляется, отражается и вновь преломляется.



Опт. разность хода лучей в отр. свете:

$\Delta = (AB + BC)\, n_{пл} - DC \cdot n_в + \lambda/2$, где $n_{пл}$ — абс показ. преломления, $n_в$ — абс п-ль воздуха.

Добавление учитывает сдвиг по фазе на π при отражении света от более плотной среды.

Р-ть хода лучей $\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} + \frac{\lambda}{2}$, $n = n_{пл}$ (2)

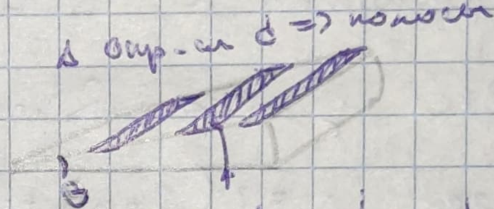
Если Δ будет равна чёт числу полуволн, то свет колеб-я в „C" увел-ся. Если нечёт — min.

$2d\sqrt{n^2-\sin^2 i}+\lambda/2=(2k)\frac{\lambda}{2}$ - усл-е max (3)

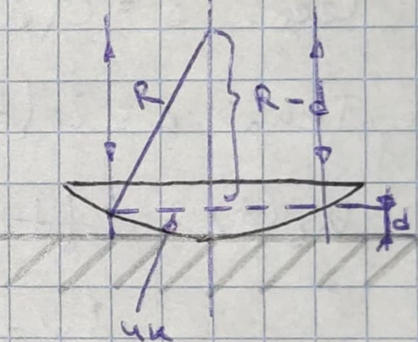
$2d\sqrt{n^2-\sin^2 i}+\lambda/2=(2k+1)\frac{\lambda}{2}$ - усл-е min (4)

В проходящем свете см (р-ть) х. Δ отл-ся от Δ отр. света на $\frac{\lambda}{2}$ => гипп интерф-ии в отр-м и прох-м свете обратны.

] Плёнка: клин с θ
Ф-ла (2) работает для ~x d
При ⊥ падении = θ $d_0 \to d$



Кольца Ньютона.



Линзу с малым искривлением. Между ней и пов-ю возникает воздушный клин. Линза освещ-ся лучами, пер-ми к пов-ти возд. клина. Отр-е от верхней пов-ти линзы и пластины лучи, являясь когерентными, интерферируют.
Интф. полосы равной толщины при этом имеют вид концентр-х окр-й. Их называют кольцами Ньютона (есть и дополнительная - инверсная - инт. картина, но в ней мало $\eta \approx 4\%$ (в-с) в проходящем свете она → λ)

Рассчитаем радиусы колец интерф. картины:

$\Delta = 2d + \lambda/2$ ($n_в = 1$, $\frac{\lambda}{2}$ учитывает Δφ при отр)

Светлых: $\Delta = 2d + \frac{\lambda}{2} = 2k\frac{\lambda}{2}$, $k = 1, 2, \ldots$ (5)

Тёмных: $\Delta = 2d + \lambda/2 = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$, $k = 0, 1, 2, \ldots$ (6)

Из геом: $r_k^2 = R^2 - (R - d_k)^2$. Но $d_k \ll R$, $d_k^2 \approx 0$

$r_k^2 \approx 2Rd_k$ (7)

(5) и (7): $d_k = (2k-1)\frac{\lambda}{2}$ $r_k^2 = (2k-1)\frac{\lambda R}{2}$ =>

=> $r_k = \sqrt{(2k-1)\frac{\lambda R}{2}}$ для светлых колец!

$r_k = \sqrt{kR\lambda}$ – для тёмных колец.

$\Downarrow$

В центре инт. картины колец Ньютона всегда тёмное пятно.

Заметим, что добиться идеальных условий можно не всегда. $\exists$ между линзой и пластиной $\exists$ воздушная прослойка a; $\Delta = 2(d+a) + \frac{\lambda}{2} = 2d + 2a + \frac{\lambda}{2}$

Уже из этого: $R_{\text{колец}} \sim a$

Свет: $\Delta = 2(d+a) + \frac{\lambda}{2} = 2k\frac{\lambda}{2}$, $k = 1, 2, \ldots$

Тень: $\Delta = 2(d+a) + \frac{\lambda}{2} = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$, $k = 0, 1, 2 \ldots$ (*)

Из (*): $2(d_k + a) + \frac{\lambda}{2} = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$

$$d_k = k\frac{\lambda}{2} - a$$

Подставим в (7): $r_k^2 = R\lambda k - 2Ra$ – тёмн. кольц.

$d_k = (2k-1)\frac{\lambda}{4} - a \Rightarrow r_k^2 = R\lambda\frac{2k-1}{2} - 2Ra = R\left(\frac{2k-1}{2}\lambda - 2a\right)$ – светлые.

Экспериментальная часть

Красный свет

k	r_k, см	r_k^2, см	A_i, см	$(A_i - \bar{A})$, см^2
1	0,25	0,0625	–	–
2	0,37	0,1369	0,0744	$3,51 \cdot 10^{-5}$
3	0,45	0,2025	0,0656	$8,26 \cdot 10^{-6}$
4	0,52	0,2704	0,0679	$3,3 \cdot 10^{-7}$
5	0,58	0,3364	0,066	$6,25 \cdot 10^{-6}$

$\bar{A} = 0,0681$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}}$$

$$S_{\text{кр}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(A_i - \bar{A})^2}{3}} = 0,004$$

$$S_{\text{кр. пом}} = \frac{S_{\text{кр}}}{\sqrt{n}} = 0,00\ 037$$

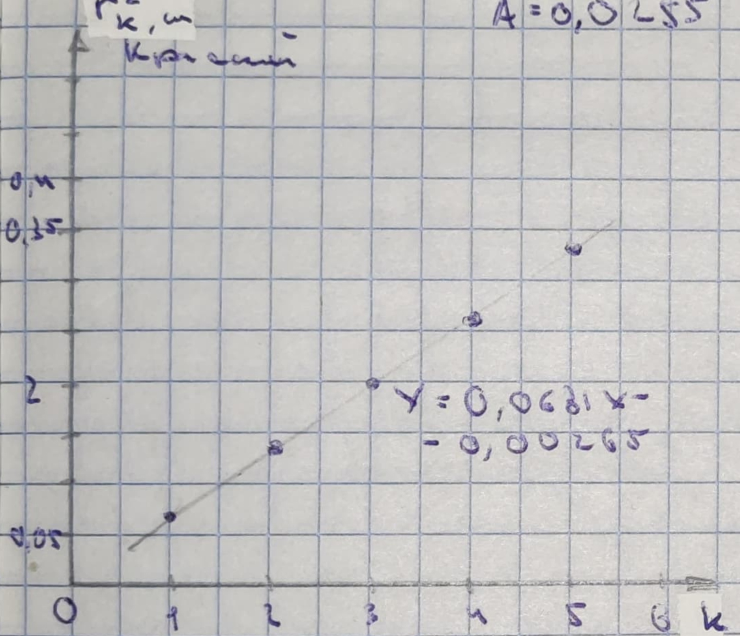
Зелений світ

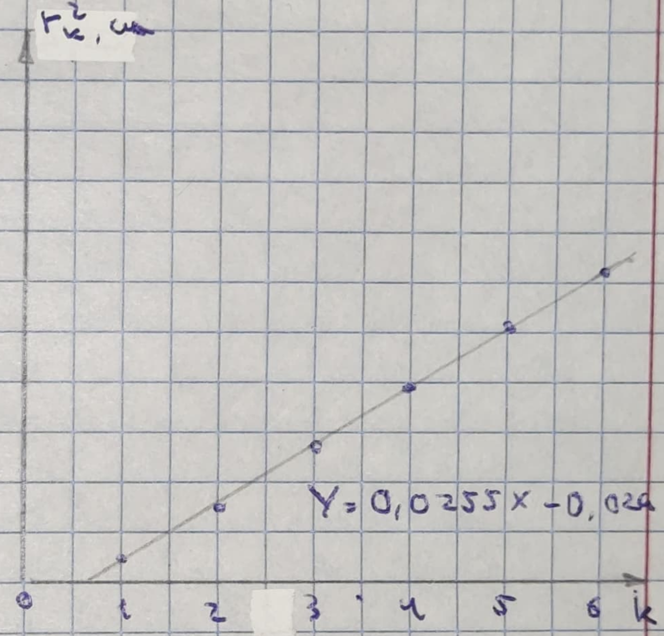
k	r_k, см	r_k^2, см^2	A' см^2	$(A'_i - \bar{A})^2$ см^2
1	0,1	0,01	–	–
2	0,17	0,0289	0,0189	$2,52 \cdot 10^{-5}$
3	0,23	0,0529	0,024	$6,4 \cdot 10^{-9}$
4	0,28	0,0784	0,0255	$2,45 \cdot 10^{-?}$
5	0,32	0,1024	0,024	$6,4 \cdot 10^{-3}$
6	0,36	1,1296	0,0237	$1,075 \cdot 10^{-5}$

$\bar{A} = 0,0255$

$$S_{зел} = \sqrt{\frac{\sum (A_i - \bar{A})^2}{4}} = 0,00310129 \text{ см}^2$$

$$S_{зел\ ср} = \frac{S_{зел}}{\sqrt{5}} = 1,38687 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2$$





т.к. $A' = R \cdot \lambda \Rightarrow$
$\lambda_{зел}\ A_{зел} \Rightarrow R_{лінз}$
$\lambda_{крас} \Leftarrow A_{кр}\ R_{лінз}$

Луч	A, м^2	R	λ, м	λ, нм
Красн	$6,81 \cdot 10^{-6}$	4,95146	$1,3753 \cdot 10^{-6}$	1375,
Зелён	$2,55 \cdot 10^{-6}$	4,95146	$0,515 \cdot 10^{-6}$	515

Похибка: $\varepsilon_R = \frac{\Delta A_{зел}}{A_{зел}} + \frac{\Delta \lambda_з}{\lambda_з} = 0,05439$ м^2

$\varepsilon_\lambda = \frac{\Delta A_{кр}}{A_{кр}} + \frac{\Delta R_r}{R_r} = 0,04091$ м^2

$R = 4,95146 \pm 0,05439$ м^2 $\lambda = 0,00000137535 \pm 0,04091$ м

Висновок: установка из пластины и помещённой на ней собирающей линзой при R линзы >> d становити источником интерференционной картины, колец Ньютона.

При $k = 0$: $-2Ra = -0{,}000\,000\,265$ м

$a = 2{,}67598 \cdot 10^{-8}$ м