

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР**

**КУЙБЫШЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени академика С. П. КОРОЛЕВА**

# ***ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ СВЕТА***

**У т в е р ж д е н о  
редакционно-издательским  
советом института  
в качестве методических указаний  
к лабораторным работам  
№ 3-4, 3-5, 3-6, 3-7, 3-8  
для студентов**

**КУЙБЫШЕВ 1985**

Методические указания к лабораторным работам содержат краткое введение, знакомящее студентов с интерференционными явлениями, используемыми в работах. Приведены схемы экспериментальных установок; описаны методы измерений; порядок выполнения лабораторных работ и обработки полученных результатов; перечень контрольных вопросов, необходимых для самостоятельной подготовки студентов, и перечень рекомендуемой литературы.

Лабораторные работы предназначены для студентов дневного и вечернего отделений всех факультетов.

Составители *В. П. Кабанова, Э. А. Куликова,  
А. Н. Пещенко, Д. Ф. Китаев*

Рецензенты: *А. Н. Бекренев, Э. Д. Посыпайко*

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ ПРИ ПОМОЩИ БИПРИЗМЫ ФРЕНЕЛЯ

Приборы и принадлежности: оптическая скамья, источник света с щелевой диафрагмой, бипризма, собирающая линза, микроскоп, рамка со светофильтрами.

### ОПИСАНИЕ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ

Для измерения длины световой волны в данной работе используется бипризма Френеля. Она состоит из двух одинаковых призм с малыми преломляющими углами, имеющих общее основание (рис. 1). Параллельно этому основанию помещается узкая щель  $S$ ,

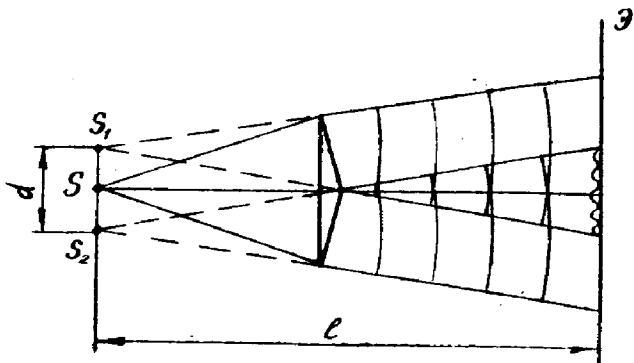


Рис. 1

служащая источником света. Падающий от щели пучок света после преломления в бипризме делится на два перекрывающихся пучка, как бы исходящих из двух мнимых изображений щели  $S_1$  и  $S_2$ . Так как источники  $S_1$  и  $S_2$  когерентны, то на экране наблюдается интерференционная картина.

Расстояние между соседними светлыми или темными полосами этой интерференционной картины определяется по формуле

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

где  $l$  — расстояние от источников света до экрана (рис. 1),  
 $d$  — расстояние между мнимыми источниками  $S_1$  и  $S_2$ .

6. Заменить красный светофильтр зеленым и определить длину световой волны для зеленых лучей.

7. Рассчитать относительную приборную погрешность измерения. Погрешности измерения величин  $b$ ,  $b_1$  и  $l$  малы по сравнению с погрешностями величин  $d_1$  и  $x$ . Поэтому относительную погрешность измерения  $\lambda$  можно определить по формуле

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2},$$

где  $\varepsilon_1$  — относительная приборная погрешность измерения  $d_1$ ,  
 $\varepsilon_2$  — относительная приборная погрешность измерения  $x$ ,

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta d_1}{d_1} = \frac{\Delta n_1}{n_1} = \frac{1}{n_1}, \quad \varepsilon_2 = \frac{\Delta x}{x} = \frac{\Delta n_2}{n_2} = \frac{1}{n_2}.$$

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПРИ ДОПУСКЕ К РАБОТЕ

1. Что такое интерференция света?
2. Какие волны называются когерентными?
3. Чем обусловлена некогерентность естественных источников света?
4. Что такое оптическая разность хода световых волн?
5. Каковы условия интерференционных максимумов и минимумов?
6. Вывести формулу для ширины интерференционной полосы при интерференции двух когерентных световых волн, исходящих от параллельных узких щелей.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ОТЧЕТУ ПО РАБОТЕ

1. Выведите расчетную формулу для  $\lambda$ .
2. Какой вид будет иметь интерференционная картина, если убрать светофильтр?
3. Как меняется интерференционная картина при замене красного светофильтра зеленым?
4. Для чего в данной работе используется линза З?
5. Объясните образование интерференционной картины с помощью бипризмы Френеля.

### Л И Т Е Р А Т У Р А

Савельев И. В. Курс общей физики. — М.: Наука, 1978, т. 2, § 119, 121.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ С ПОМОЩЬЮ КОЛЕЦ НЬЮТОНА

Приборы и принадлежности: микроскоп, устройство для наблюдения колец Ньютона, осветитель.

### ОПИСАНИЕ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ

Кольца Ньютона — частный случай интерференции в тонких пленках. Они наблюдаются, когда выпуклая поверхность линзы с большим радиусом кривизны соприкасается с плоской поверхностью хорошо отполированной пластинки. Роль тонкой пленки, от поверхностей которой отражаются когерентные волны, играет воздушный зазор между пластинкой и линзой. При наблюдении в отраженном свете видна система концентрических светлых и темных колец убывающей ширины, в центре которой находится темное пятно. В проходящем свете наблюдается обратная картина: в центре — светлое пятно, а затем чередующиеся темные и светлые кольца. Оптическая разность хода лучей 1 и 2 (рис. 1).

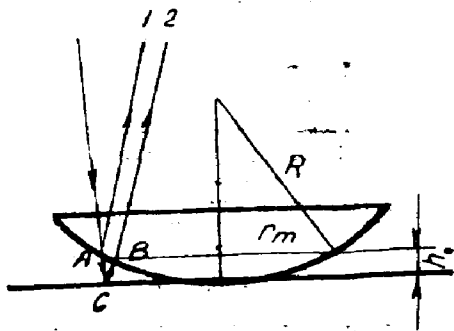


Рис. 1

$$\Delta = AC + BC + \lambda/2.$$

При этом мы учли, что показатель преломления воздуха  $n \approx 1$ . Слагаемое  $\lambda/2$  учитывает потерю полволны при отражении луча 2 в точке C от оптически более плотной среды. Ввиду того, что толщина прослойки  $h$  мала,  $AC \approx CB \approx h$  и

$$\Delta = 2h + \lambda/2. \quad (1)$$

Из геометрических соображений

$$r_m^2 = (2R - h)h \quad \text{или} \quad r_m^2 = 2Rh - h^2,$$

где  $R$  — радиус кривизны поверхности линзы.

Так как  $h \ll R$ , величиной  $h^2$  можно пренебречь, тогда  $r_m^2 = 2Rh$ . Отсюда  $h = r_m^2 / 2R$ . Подставим это значение  $h$  в формулу (1)

$$\Delta = r_m^2 / R + \lambda / 2.$$

Приравняем найденное выражение для  $\Delta$  и условие интерференционного минимума:

$$\Delta = (2m + 1) \lambda / 2. \quad (2)$$

В результате получим  $\frac{r_m^2}{\lambda} + \frac{\lambda}{2} = (2m + 1) \lambda / 2$ . Отсюда

$$r_m = \sqrt{mR\lambda}. \quad (3)$$

Формулой (3) можно пользоваться для определения длины волны в случае идеального соприкосновения сферической линзы и плоской пластинки в одной точке.

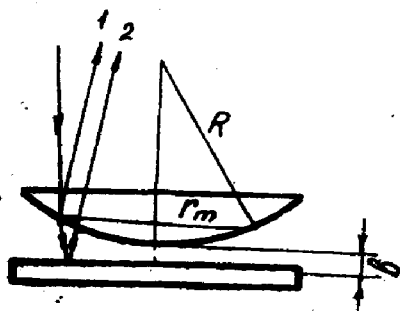


Рис. 2

Однако вследствие упругой деформации стекла и присутствия пылинки возможно образование дополнительного зазора толщиной  $l$  (рис. 2).

В этом случае разность ходов интерферирующих лучей 1 и 2

$$\Delta = \frac{r_m^2}{R} + 2b + \lambda / 2. \quad (4)$$

Из (2) и (4)

$$r_m^2 = (m\lambda - 2b)R. \quad (5)$$

Для кольца с номером  $n$

$$r_n^2 = (n\lambda - 2b)R. \quad (6)$$

Вычитая из (6) формулу (5) получим

$$r_n^2 - r_m^2 = R\lambda(n - m).$$

Откуда

$$\lambda = \frac{r_n^2 - r_m^2}{R(n - m)}$$

или через диаметры колец

$$\lambda = \frac{d_n^2 - d_m^2}{4R(n - m)}. \quad (7)$$

Для уменьшения погрешности измерения длины волны  $\lambda$  рекомендуется при расчете брать кольца, отличающиеся по номеру на большую величину.

## ОПИСАНИЕ ПРИБОРА

Установка, предлагаемая в данной работе, состоит из следующих частей:

1. Устройство для получения колец Ньютона (стеклянная плоскопараллельная пластинка и длиннофокусная линза, заключенные в оправу).

В центре соприкосновения линзы и стеклянной пластинки получаются кольца Ньютона. Если смотреть невооруженным глазом, то система колец представляется в виде небольшого пятнышка.

2. Подставка для удобного расположения линзы с пластинкой.

3. Микроскоп с окулярной шкалой для измерения диаметра колец Ньютона. Цена наименьшего деления микроскопа и радиус кривизны линзы указаны на установке. В оправе окуляра микроскопа помещен красный светофильтр.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Положите на подставку устройство для получения колец Ньютона. Затем осторожно передвигайте его во взаимно перпендикулярных направлениях, подводя центр колец в поле зрения микроскопа. Центр колец виден невооруженным глазом при наблюдении сбоку.

2. Включите осветитель и перемещением тубуса микроскопа добейтесь четкого изображения колец Ньютона.

3. С помощью окуляра получите отчетливое изображение шкалы микроскопа. Диаметр колец совместите с линией, вдоль которой нанесены деления шкалы.

4. Измерьте по порядку, начиная от центра, диаметры  $n_1$  всех темных колец Ньютона в делениях шкалы.

5. Поверните окулярную шкалу на  $90^\circ$  и снова измерьте диаметры —  $n_2$ .

6. Найдите среднее арифметическое полученных диаметров —  $\bar{n}$  и рассчитайте диаметры колец в миллиметрах.

7. Выберите несколько парных комбинаций колец и вычислите по формуле (7) длину волны.

8. Номера пар колец, используемых для расчета  $\lambda$ , и соответствующие значения  $\lambda$  записать в таблицу.

Номер кольца	$n_1$ , дел	$n_2$ , дел	$\bar{n}$ , дел	$d$ , мм	$N \leftarrow \rightarrow N$	$\lambda$ , м
1						
2						
3						
4						
5						

9. Вычислить среднюю квадратичную погрешность результата среднего арифметического:

$$S_{\bar{\lambda}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta \lambda_i)^2}{n(n-1)}}$$

10. Оценить абсолютную погрешность результата серии измерений:

$$\Delta \lambda = t_{\alpha, n} S_{\bar{\lambda}},$$

где  $t_{\alpha, n}$  — коэффициент Стьюдента.

11. Окончательный результат записать в виде

$$\lambda = \bar{\lambda} \pm \Delta \lambda, \quad \epsilon = \frac{\Delta \lambda}{\bar{\lambda}} 100 \%$$

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем заключается явление интерференции света?
2. Объясните возникновение интерференционных колец Ньютона.
3. Выведите формулу для радиусов колец Ньютона.
4. Какой круг будет в центре интерференционной картины, если наблюдение проводить в отраженном свете?
5. При наблюдении в отраженном свете центральный круг оказался светлым. Почему? Как устранить центральный светлый круг?
6. В чем состоит условие минимума и максимума света при интерференции когерентных лучей?
7. Где плотнее располагаются кольца — в центре или на периферии? Почему?
8. Что произойдет с интерференционной картиной при увеличении расстояния между линзой и пластинкой?
9. Почему радиус кривизны линзы должен быть велик?
10. Почему при работе с кольцами Ньютона лучше применить светофильтр?
11. Радиусы каких колец нужно брать для расчета длины волны, чтобы погрешности были минимальными?

### ЛИТЕРАТУРА

Савельев И. В. Курс общей физики. — М.: Наука, 1978, т. 2, § 122



## ИЗУЧЕНИЕ ЧИСТОТЫ ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ С ПОМОЩЬЮ МИКРОИНТЕРФЕРОМЕТРА

**Приборы и принадлежности:** микроинтерферометр МИИ-4, исследуемый образец.

### ОПИСАНИЕ ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ МИКРОИНТЕРФЕРОМЕТРА

При выполнении работы используется микроинтерферометр МИИ-4, разработанный академиком В. П. Линником.

Принцип действия микроинтерферометра основан на использовании явления интерференции света для визуальной оценки и измерения высоты неровностей тонкообрабатываемых поверхностей.

Интерференцией световых волн называется явление, возникающее при сложении когерентных волн. В результате интерференции происходит ослабление или усиление интенсивности света в зависимости от соотношения фаз складываемых световых волн, т. е. происходит перераспределение энергии волн в пространстве согласно закону сохранения энергии. Условием интерференции волн одной и той же длины является сохранение неизменной разности фаз  $\Delta\varphi = \text{const}$  на время, достаточное для наблюдения. Источники, излучающие волны одинаковой частоты с постоянной разностью фаз и совпадающими плоскостями колебаний векторов  $\vec{E}$ , называются когерентными.

Независимые когерентные источники осуществить невозможно, поэтому прибегают к искусственному приему, который состоит в том, что заставляют интерферировать две части от одной и той же волны, т. е. волну, идущую от одного источника, разбивают на две части и направляют в одну и ту же точку по разным путям.

Рассмотрим оптическую схему микроинтерферометра МИИ-4 (рис. 1). Пучок света от источника  $S$  падает на полупрозрачную

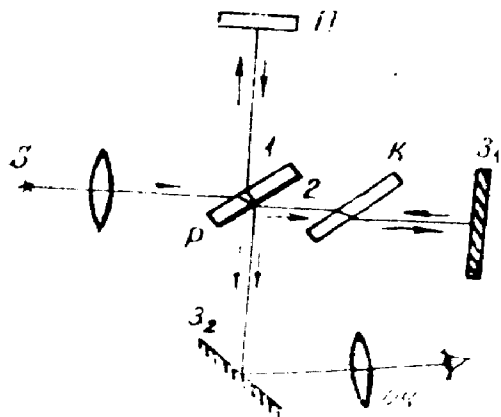


Рис. 1

стеклянную пластинку  $P$  и разделяется ею на два пучка, один из которых сразу попадает на исследуемую поверхность  $\Pi$ , а второй — на гладкое эталонное зеркало  $Z_1$ . После отражения эти лучи вновь соединяются на пластинке  $P$  и выходят из интерферометра вертикально вниз. Для удобства наблюдения направление интерферирующих лучей изменяется зеркалом  $Z_2$ .

Интерференционная картина рассматривается в поле зрения окуляра ОК. Луч  $1$  проходит пластинку  $P$  дважды (вверх и вниз). Для того, чтобы устранить возникающую при этом дополнительную разность хода, на пути горизонтального луча  $2$  устанавливается стеклянная пластинка  $K$  параллельно  $P$  и такой же толщины. Следует учесть, что на рис. 1 показан только ход центральных лучей от источника. Разность хода интерферирующих лучей обусловлена разностью плечей интерферометра и наклоном поверхностей  $\Pi$  и  $Z_1$ .

В тех местах поля наблюдения, где оптическая разность хода пучков равна целому числу волн или четному числу полуволн

$$\Delta = k\lambda,$$

получаются светлые полосы, а в тех местах, где оптическая разность хода равна нечетному числу полуволн

$$\Delta = (2k - 1)\lambda/2,$$

получаются темные полосы.

Интерференционная картина в белом свете имеет следующий вид: в центре поля — белая полоса, по обеим сторонам от нее — две черные полосы с цветными каемками и дальше — по три или четыре цветные полосы с каждой стороны. Переход от одной светлой (или темной) полосы к другой светлой (или темной) полосе соответствует изменению разности хода лучей на одну длину волны  $\lambda$ .

В приборе имеются два светофильтра, с помощью которых получается монохроматический свет. При работе в монохроматическом свете в поле зрения должны быть чередующиеся черные и светлые полосы.

Перемещение исследуемой поверхности  $\Pi$  вверх или вниз на какую-либо малую величину вызывает изменение разности хода лучей на удвоенную величину, так как свет проходит расстояние до  $\Pi$  дважды.

Например, при смещении поверхности  $\Pi$  на величину, равную  $\lambda/2$ , полосы в поле зрения сместятся на один интервал между ними, что соответствует изменению разности хода на  $\lambda$ . Если сама поверхность  $\Pi$  остается на месте, но на ней есть дефекты обработки — бугры или впадины, то в тех местах, которые соответствуют дефектам, будет иметь место искривление интерференционных полос.

Пусть на поверхности имеется царапина глубиной  $\lambda/2$ . Тогда возникает добавочная разность хода, равная  $\lambda$ , так как свет проходит борозду дважды. Это вызовет искривление интерференционной полосы на величину, равную расстоянию между интерференционными полосами  $a$ . Если же глубина царапины не равна  $\lambda/2$ , то ее величину измеряют по формуле

$$d = \frac{\lambda}{2} \frac{b}{a} \quad (1)$$

где  $a$  — расстояние между темными полосами интерференции,

$b$  — глубина искривления полосы (на рис. 2  $a \neq b$ ).

В данной работе предлагается изучить с помощью микроинтерферометра МИИ-4 поверхность тонкообработанного образца в белом и монохроматическом свете, отыскать дефектные участки поверхности и измерить высоту или глубину неровностей.

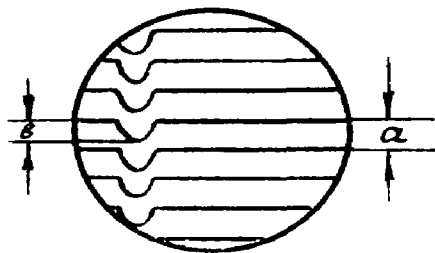


Рис. 2

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

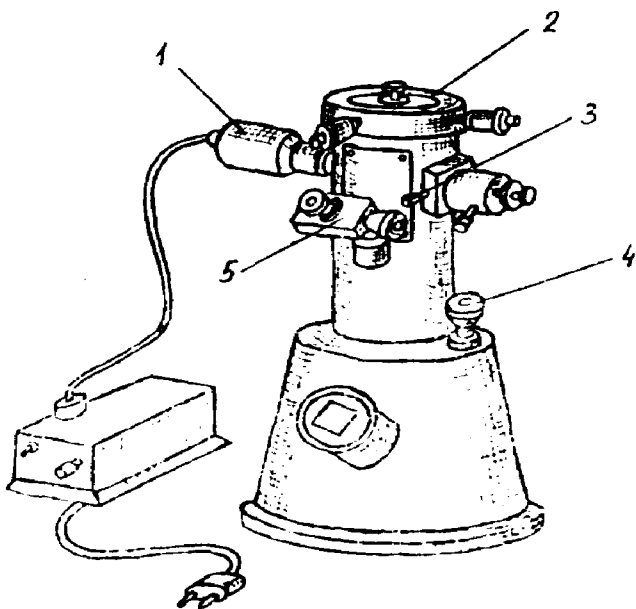


Рис. 3

1. Включить осветитель 1 (рис. 3) и положить на предметный столик 2 интерферометра образец исследуемой поверхностью вниз.

2. Повернуть рукоятку 3 так, чтобы указатель (стрелка) стоял вертикально, и вращением микрометрического резкого винта 4 добиться изображения исследуемой поверхности.

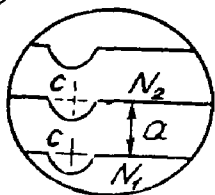
3. Повернуть рукоятку 3 так, чтобы указатель стоял горизонтально. В этом случае включается эталонное

зеркало и при наблюдении в окуляр будут одновременно видны исследуемая поверхность и интерференционные полосы. Вращением винта 4 добиться четкой фокусировки картины полос и поверхности образца.

4. Вращая столик 2, установить образец так, чтобы следы обработки поверхности (царапины) оказались перпендикулярными интерференционным полосам.

5. Измерить расстояние  $a$  между интерференционными полосами и глубину искривления полос  $b$  (рис. 4, а и б). При измерении надо поступить следующим образом:

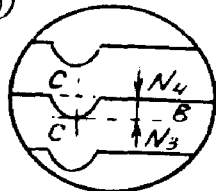
а)



а) установить окулярный микрометр 5 на тубусе микроскопа до упора и развернуть его так, чтобы одна из линий креста нитей  $C$  в поле зрения была параллельна интерференционным полосам (рис. 4, а и б);

б) совместить нить креста  $C$  с интерференционной полосой и замерить показание  $N_1$  по шкале и барабану окулярного микрометра (рис. 4, а);

б)



в) вращая барабан микрометра, переместить крест нитей  $C$  до следующей интерференционной полосы и замерить показание  $N_2$  по окулярному микроскопу. Расстояние между полосами  $a = N_1 - N_2$ .

Точно также измерить глубину искривления полос  $b$  (рис. 4, б):

Рис. 4

$$b = N_3 - N_4.$$

6. Подставить в формулу (1) значения  $a$  и  $b$ , вычислить глубину царапины  $d$ :

$$d = \frac{\lambda}{2} \frac{N_3 - N_4}{N_1 - N_2},$$

где  $\lambda$  — длина волны света. Для белого света принимают  $\lambda = 0,55$  мкм. При работе со светофильтрами используйте длины волн, приведенные на установке.

Все результаты измерений записать в таблицу.

Номер опыта	$\lambda$ , мкм	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_4$	$d$ , мкм
1	0,550					
2						
3						

7. Оценить погрешность полученного значения глубины царапины  $d$  по результатам одного опыта. Оценку погрешности произвести следующим образом:

а) вычислить относительную погрешность измерения глубины царапины  $d$  по формуле

$$\varepsilon_d = \frac{\Delta d}{d} = \sqrt{\left(\frac{\Delta \lambda}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{2 \Delta N}{N_3 - N_4}\right)^2 + \left(\frac{2 \Delta N}{N_1 - N_2}\right)^2},$$

где  $\Delta \lambda$  — погрешность, с которой взято значение  $\lambda$  (эта погрешность составляет  $\pm 0,5$  последней значащей цифры);

$\Delta N$  — абсолютная погрешность при отсчете значений  $N_i$  ( $\Delta N = 0,005$ );

б) вычислить абсолютную погрешность измерения глубины царапины  $d$  по формуле

$$\Delta d = \varepsilon_d d;$$

в) окончательный результат записать в виде

$$d \pm \Delta d.$$

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем заключается явление интерференции света?
2. Какие источники называются когерентными?
3. Сформулируйте условия минимума и максимума интерференции.
4. Начертите оптическую схему интерферометра МИИ-4 и объясните принцип его действия.
5. Какова роль пластинки К (см. рис. 1)?
6. На сколько изменится разность хода лучей при переходе от одной светлой (или темной) полосы к другой светлой (или темной) полосе?
7. На исследуемой поверхности имеется царапина глубиной  $\lambda/2$ . На сколько сместится интерференционная полоса в этом месте?
8. При каком светофильтре — красном или зеленом — расстояние между интерференционными полосами будет больше?
9. По какой формуле определяется глубина царапины?

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ландсберг Г. С. Оптика — М.: Наука, 1976, гл. IV и VII.
2. Савельев И. В. Курс общей физики. — М.: Наука, 1982, т. 2, гл. XVIII.

Составитель *Альбина Николаевна Пещенко*

**ИЗУЧЕНИЕ ЧИСТОТЫ ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ  
С ПОМОЩЬЮ МИКРОИНТЕРФЕРОМЕТРА**

Редактор **Т. К. Кретьнина**  
Техн. редактор **Н. М. Каленюк**  
Корректор **Н. С. Куприянова**

Сдано в набор 20.08.85 г. Подписано в печать 17.10.85 г.

Формат 60×84 1/16. Бумага оберточная.

Гарнитура литературная. Печать высокая.

Усл. п. л. 0,5. Уч.-изд. л. 0,4. Т. 2000 экз.

Заказ 613. Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени  
авиационный институт имени академика С. П. Королева,  
г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

---

Тип. УЭЗ КуАИ, г. Куйбышев, ул. Ульяновская, 18.

## ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА ПРЕЛОМЛЕНИЯ ВОЗДУХА ОТ ДАВЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ИНТЕРФЕРОМЕТРА РЕЛЕЯ

Приборы и принадлежности: лабораторный интерферометр ИТР-1, насосная система.

### ОПИСАНИЕ ПРИБОРА

Интерферометр ИТР-1 является универсальным лабораторным прибором, предназначенным для определения коэффициентов преломления прозрачных сред (жидкостей, газов) и для изучения зависимости этих коэффициентов от концентрации, давления и других характеристик исследуемой среды.

Оптическая схема прибора приведена на рис. 1.

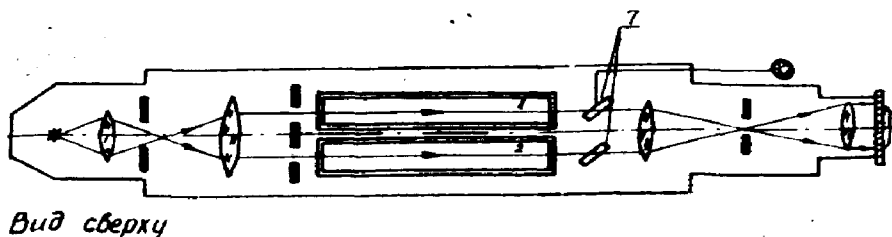
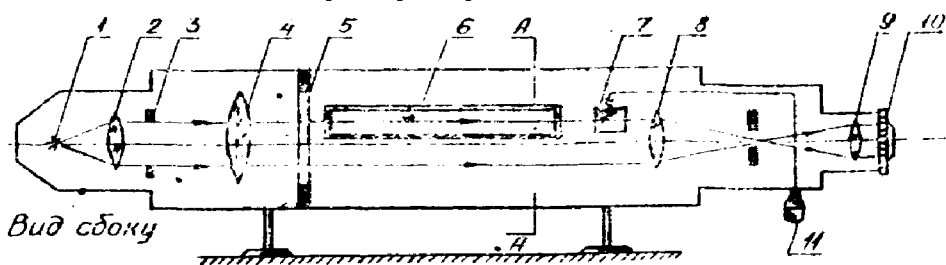


Рис. 1

Выходящий из источника света 1 пучок лучей проходит через конденсатор 2 и освещает входную щель 3. После прохождения через коллиматорный объектив 4 свет представляет собой параллельный пучок, который диафрагмой с двумя щелями 5 разде-

ляется на два когерентных пучка. На пути этих пучков стоят две кюветы 6 одинаковой длины. Сечение кювет по А-А и вид на двойную диафрагму с указанием световых пучков прибора показаны на рис. 2.

Верхние половины 1 и 2 световых пучков проходят через соответствующие отделения двойной кюветы и образуют видимую в окуляр верхнюю систему интерференционных полос (рис. 3, а). Нижние половины 3 и 4 световых пучков, проходящие через пространство под кюветой, образуют видимую в окуляр нижнюю систему

По А А

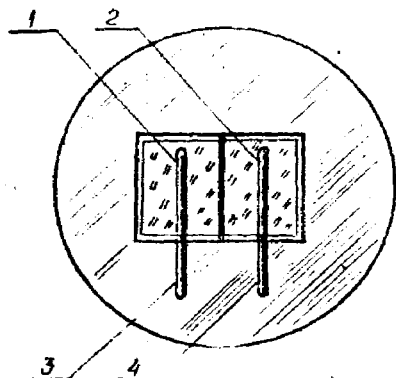


Рис. 2

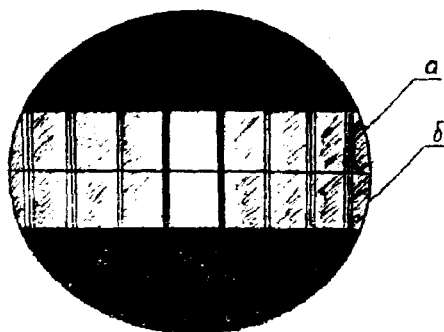


Рис. 3

стему интерференционных полос (рис. 3, б). Обе системы полос разделены тонкой горизонтальной линией и имеют одинаковый внешний вид: в центре интерференционной картины наблюдаются две черные узкие полосы, между которыми находится светлая полоса нулевого порядка. Влево и вправо от центра размещаются полосы высших порядков. Для создания интерференционной картины в приборе используется белый свет, поэтому полосы высших порядков будут иметь радужную окраску.

Если бы для освещения щелей применялся монохроматический свет, то все интерференционные полосы имели одинаковый вид и было бы невозможно выделить центр интерференционной картины.

На пути лучей 1 и 2 установлены две прозрачные пластинки 7 (рис. 1), одна из которых неподвижна, а другая может поворачиваться с помощью барабана 8 (рис. 1) микрометрического винта. При таком повороте одной из пластинок между лучами 1 и 2 появляется дополнительная оптическая разность хода, которая вызывает смещение верхней системы полос. Нижняя система полос всегда остается неподвижной и представляет собой как бы опорный индекс, относительно которого можно устанавливать верхнюю систему полос. Обе системы считаются совпадающими, если



совпадают полосы нулевого порядка, окаймленные узкими черными полосами.

### ОПИСАНИЕ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ

В данной работе предлагается изучить зависимость коэффициента преломления воздуха от давления.

Если показатели преломления сред, находящихся в обеих отделениях кюветы, различны, то будут различны и скорости распространения световых пучков, проходящих через эти среды, в соответствии с формулой  $V = c/n$ .

Здесь  $c$  — скорость света в вакууме,  $V$  — скорость света в данной среде. Пусть  $n_1 > n_2$  (рис. 4, б, в), тогда  $V_2 > V_1$ . Следовательно,

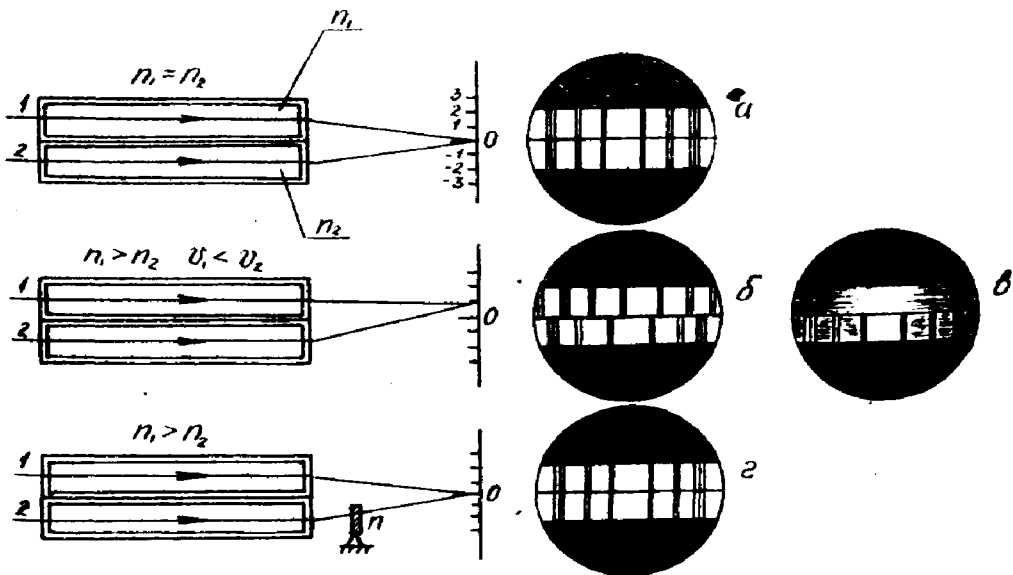


Рис. 4

второму световому пучку требуется пройти больший оптический путь для получения главного максимума нулевого порядка. Появление дополнительной оптической разности хода между лучами 1 и 2 приводит к смещению наблюдаемой в окуляре верхней системы интерференционных полос или к полному исчезновению их из поля зрения.

Вращая измерительный барабан (рис. 1) микрометрического винта, связанного с компенсационной пластинкой 7, можно ввести верхнюю систему полос в поле зрения окуляра и установить ее в исходное положение относительно нижней системы полос (рис. 4, г).

В этом случае оптическая разность хода, образованная за счет разности показателей преломления газа в двух соседних отсеках кюветы, оказалась скомпенсированной оптической разностью хода полученной в результате введения на пути одного из лучей компенсационной пластинки. Таким образом, в интерферометре ИТР применен компенсационный метод измерения.

Прибор устроен таким образом, что отсчет  $N$  по измерительному барабану пропорционален вносимой компенсационной пластинкой разности хода лучей 1 и 2:

$$\delta = \frac{N - N_0}{30} \lambda, \quad (1)$$

где  $\lambda$  — средняя длина волны видимого спектра ( $\lambda = 550$  мкм),  $N_0$  — начальный отсчет по барабану, т. е. отсчет при  $n_1 = n_2$ . Знаменатель 30 в формуле (1) определяется конструкцией прибора. Из этой формулы, в частности, следует, что при повороте барабана на 30 делений оптическая разность хода лучей 1 и 2 меняется на  $\delta = \lambda$ . Такая разность хода при визуальном наблюдении через окуляр проявляется как смещение интерференционной картины на одну полосу.

С другой стороны, оптическая разность хода  $\delta$  лучей 1 и 2 определяется формулой

$$\delta = n_1 l - n_2 l = l (n_1 - n_2) = l \Delta n. \quad (2)$$

Если эта разность хода скомпенсирована, т. е. путем вращения измерительного барабана верхняя интерференционная картина возвращена в исходное положение, то оказывается справедливым равенство

$$\frac{N - N_0}{30} \lambda = l \Delta n. \quad (3)$$

Здесь

$$\Delta n = \frac{N - N_0}{30 l} \lambda. \quad (4)$$

### ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Установка состоит из интерферометра ИТР-1, в котором установлена двойная кювета длиной  $l = 1$  м. Внутренние объемы кюветы соединены с насосной системой, состоящей из трубопроводов, двух кранов, насоса и манометра. Порядок работы с насосной системой приведен на лабораторном столе.

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Подключить интерферометр к внешней сети, убедиться, что в поле зрения окуляра 9 (рис. 1) появились верхняя и нижняя системы интерференционных полос.

2. С помощью накачанного кольца 10 (рис. 1) получить четкое изображение системы интерференционных полос.

3. Вращением барабана 11 (рис. 1) добиться совмещения обеих интерференционных картин по двум центральным темным полосам. Совмещение произвести три раза и вычислить среднее значение нулевого положения шкалы  $N_0$ . При этом все краны насосной системы должны быть открыты, а резиновый шланг от насоса отключен, т. е. давления в обеих отсеках кюветы равны атмосферному.

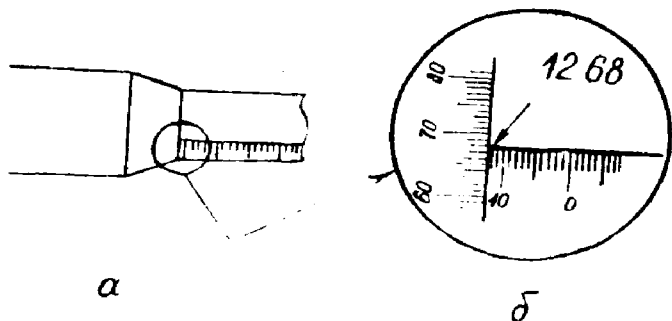


Рис. 5

Примечание: микрометрический винт (рис. 5) интерферометра имеет две шкалы, из которых одна неподвижная имеет 30 делений, а вторая — вращающаяся — 100 делений. Пример правильного отсчета по микрометру (рис. 5, а, б).

4. Определить начальный отсчет по манометру  $p_0$ . Установить избыточное давление  $\Delta p$  ( $p > p_0$ ) в кювете 1 до значения примерно  $10^4$  Па (см. рис. 1). Привести верхнюю систему полос в поле зрения и установить ее в исходное положение по нижней системе полос.

Записать в таблицу отсчет по измерительному барабану и отсчет по манометру:  $p$  и  $p_0$ .

5. Провести измерения  $N$  и  $p$  при 6—8 значениях избыточного давления. Установку этих значений производить путем кратковременного выпуска воздуха из накачанной кюветы 1 через соответствующий кран (рис. на столе). Необходимо иметь в виду, что в момент измерения этот кран должен быть закрыт, и давление в кювете 1 не должно меняться.

Записать результаты в таблицу.

6. Определить значения величин, необходимых для расчета  $\Delta l$  при понижении ( $p < p_0$ ) давления воздуха в кювете 2. Компенсационный механизм в интерферометре устроен так, что позволяет компенсировать разность хода лучей, когда в одной из кювет будет постоянно повышенное давление относительно другой кюветы.

Поэтому теперь в кювете 1 нужно поддерживать атмосферное давление, а откачку воздуха (понижение давления) производить из кюветы 2. Измерения для пониженного давления производятся таким же образом, как и для повышенного давления, т. е. согласно пп. 4 и 5.

Результаты занести в таблицу.

№ п/п	$\Delta p > 0$						$\Delta p < 0$					
	$p_0$ , Па	$p$ , Па	$\Delta p$ , Па	$N_0$	$N_i$	$\Delta n$	$p_0$ , Па	$p$ , Па	$\Delta p$ , Па	$N_0$	$N_i$	$\Delta n$
1												
2												
3												

### ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

1. Определить  $\Delta p$  по формуле

$$\Delta p = p - p_0.$$

2. Рассчитать изменение показателей преломления  $\Delta n$  по формуле (4), где  $\lambda = 0,55$  мкм,  $l = 1000$  мм. Следует учесть, что при  $\Delta p < 0$  величина  $\Delta n < 0$ .

3. Вычислить приборную погрешность по формуле

$$\frac{\Delta(\Delta n)}{\Delta n} = \frac{\Delta \lambda}{\lambda} + \frac{\Delta(\Delta N)}{\Delta N} + \frac{\Delta l}{l} = \frac{\Delta \lambda}{\lambda} + \frac{2 \Delta N}{N_i - N_0} + \frac{\Delta l}{l},$$

где  $\Delta \lambda = 0,005$  мкм;  $\Delta N = 2$  дел;  $\Delta l = 0,5$  мм.

4. Построить график зависимости  $\Delta n$  от  $\Delta p$ .

Примечание. При построении графика надо учитывать то, что при понижении давления в формуле (2) теперь  $n_2 > n_1$  и, следовательно,  $\Delta n < 0$ .

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Начертить оптическую схему интерферометра Релея и объяснить принцип его действия.
2. Для каких измерений предназначен интерферометр ИТР-1?
3. Описать метод измерения, используемый в данной работе.
4. Почему темные полосы, наблюдаемые в интерферометре, имеют цветные каемки?
5. При наложении каких лучей получается подвижная система интерференционных полос в интерферометре?
6. На пути одного из лучей интерферометра поместили откачанную трубку длиной 10 см. При заполнении трубки хлором ин-

терференционная картина сместилась на 131 полосу. Длина волны монохроматического света в этом опыте была равна  $5,9 \times 10^{-5}$  см. Найти показатель преломления хлора.

7. В опыте Юнга стеклянная пластинка толщиной 2 см помещается на пути одного из интерферирующих лучей перпендикулярно лучу. На сколько могут отличаться друг от друга значения показателя преломления в различных местах пластинки, чтобы изменение разности хода от этой неоднородности не превышало 1 мкм?

8. Точность совмещения полос в данном приборе равна около  $1/30$  ширины полосы. Какова при этом погрешность в определении разности показателей преломления газа в кюветах?

### ЛИТЕРАТУРА

1. Савельев И. В. Курс общей физики. — М.: Наука, 1982, т. 2, § 119.
2. Яворский Б. М., Детлаф А. А. Курс физики. — М.: Высшая школа, 1971, т. 3, § 5—1, 5—4.

Составитель *Зинаида Ахатовна Куликова*

**ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА ПРЕЛОМЛЕНИЯ ВОЗДУХА  
ОТ ДАВЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ИНТЕРФЕРОМЕТРА РЕЛЕЯ**

Редактор Т. К. Кр е т и н и н а  
Техн. редактор Н. М. К а л е н ю к  
Корректор Н. С. К у п р и я н о в а

Сдано в набор 20.08.85 г. Подписано в печать 18.10.85 г.  
Формат 60×84 1/16. Бумага оберточная.  
Гарнитура литературная. Печать высокая.  
Усл. п. л. 0,5. Уч.-изд. л. 0,4. Т. 2000 экз.  
Заказ 614. Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени  
авиационный институт им. академика С. П. Королева,  
г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

---

Тип. УЭЗ КуАИ, г. Куйбышев, ул. Ульяновская, 18.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРА ПРИ ПОМОЩИ ИНТЕРФЕРОМЕТРА РЕЛЕЯ

Приборы и принадлежности: лабораторный интерферометр ИТР-2, кюветы с исследуемыми растворами спирта в воде различной концентрации.

### ОПИСАНИЕ ПРИБОРА И МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ

Интерферометр ИТР-2 является универсальным лабораторным прибором, предназначенным для точного определения коэффициентов преломления прозрачных сред (жидкостей и газов) и изучения зависимости этих коэффициентов от концентрации, давления и других характеристик исследуемой среды.

Оптическая схема прибора приведена на рис. 1 (вид сверху) и на рис. 2 (вид сбоку).

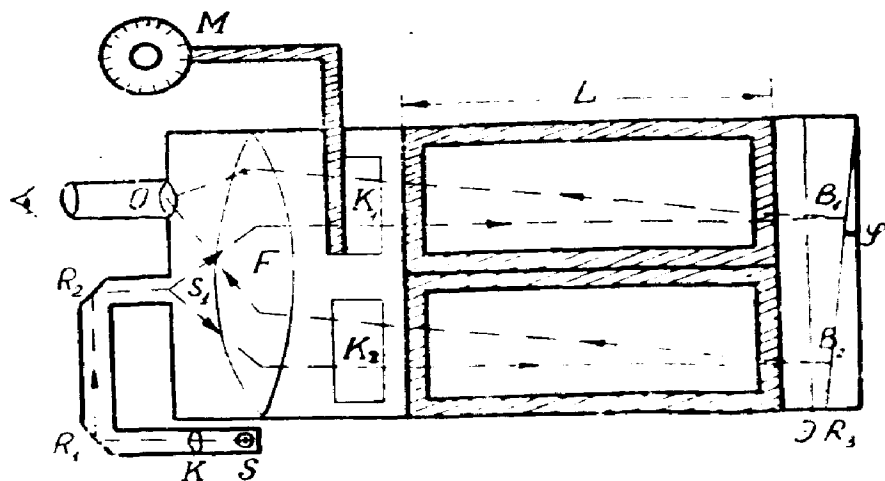
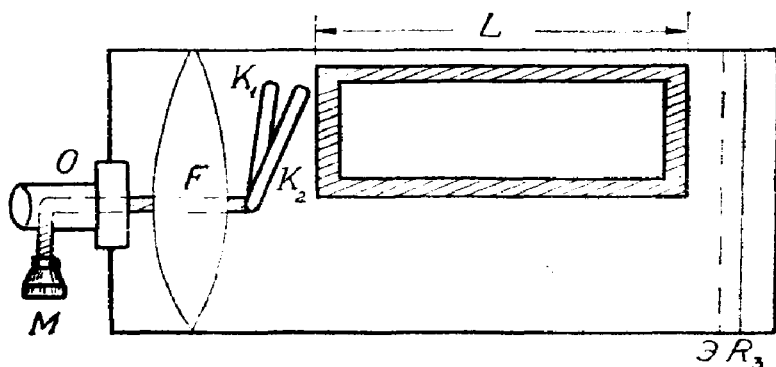


Рис. 1

Свет от источника  $S$  проходит через конденсор  $K$  и с помощью двух зеркал  $R_1$  и  $R_2$  направляется на узкую входную щель прибора  $S_1$ , расположенную в фокусе объектива  $F$ . Из объектива свет выходит в виде широкого параллельного пучка. В верхней части прибора лучи света проходят через плоскопараллельные стеклянные пластинки



Р и с. 2

тинки  $K_1$  и  $K_2$  (компенсаторы), обе камеры двухкамерной кюветы с исследуемыми растворами и попадают на плоский экран  $\mathcal{E}$  с двумя параллельными щелями  $B_1$  и  $B_2$ . За щелями расположено плоское зеркало  $R_3$ , отражающее лучи под очень малым углом  $\varphi$ . В обратном направлении лучи вновь проходят через щели в экране  $\mathcal{E}$ , кювету, компенсаторы и собираются в фокальной плоскости объектива в точке  $O$ . Плоскопараллельные щели  $B_1$  и  $B_2$  выделяют два когерентных пучка, которые затем совмещаются в точке  $O$ , образуя верхнюю систему интерференционных полос. Поскольку интерференционные полосы располагаются очень близко друг от друга, для их различения необходимо сильное увеличение в направлении, перпендикулярном щелям. Это осуществляется короткофокусной цилиндрической линзой, находящейся в точке  $O$ .

В нижней части прибора лучи проходят ниже компенсаторов и кюветы, попадают на экран  $\mathcal{E}$  со щелями, которые выделяют два когерентных пучка, и после отражения от зеркала совмещаются в той же точке  $O$ , образуя нижнюю, опорную систему интерференционных полос.

Таким образом, в окуляре  $O$  будут наблюдаться две системы интерференционных полос, разделенные тонкой горизонтальной линией. В центре той и другой системы будет находиться яркая белая полоса, соответствующая центральному максимуму нулевого порядка. Положение максимумов интерференционной картины зависит от длины волны  $\lambda$ , следовательно, при освещении белым светом все остальные максимумы высших порядков будут иметь радужные вставки. Это обстоятельство и позволяет выделить центр интерференционной картины, что было бы невозможно, если бы в интерферометре использовался монохроматический источник света.



Одна из камер кюветы заполняется эталонной жидкостью с коэффициентом преломления  $n_1$ , а другая — исследуемым раствором с коэффициентом преломления  $n_2$ . Вследствие различия коэффициентов  $n_1$  и  $n_2$  появляется дополнительная разность хода между лучами

$$\delta = 2L(n_2 - n_1),$$

где  $L$  — длина кюветы, а множитель 2 учитывает прохождение света через жидкость дважды.

Добавочная разность хода приводит к смещению верхней системы интерференционных полос относительно нижней, неподвижной, на определенную величину, зависящую от разности коэффициентов преломления жидкостей и длины кюветы (рис. 3, б). Ниж-

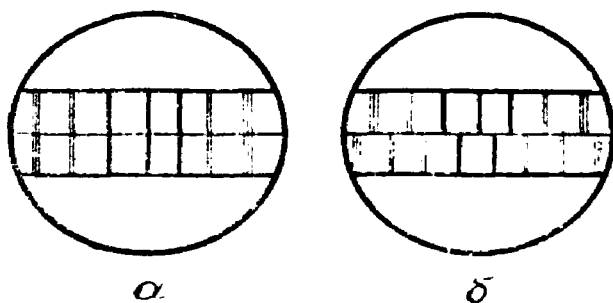


Рис. 3

няя система полос при этом является базисом, относительно которого отсчитывается смещение верхней.

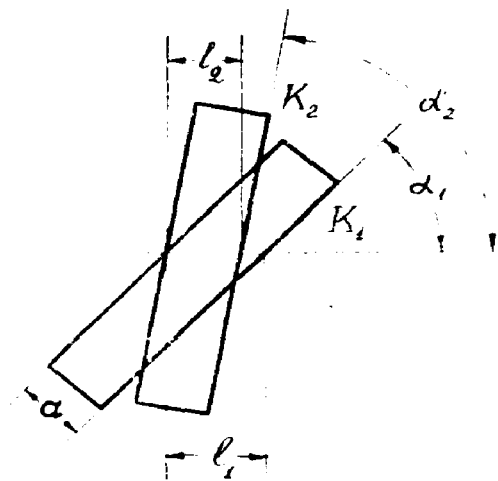


Рис. 4

Измерение смещения полос производится с помощью компенсаторов  $K_1$  и  $K_2$  следующим образом. Одна из пластинок  $K_1$  свободно вращается вокруг своей оси, перпендикулярной направлению светового пучка. При этом изменяется длина пути света в стекле, т. е. вносится дополнительная разность хода (рис. 4):

$$\begin{aligned} \delta_1 &= 2n_{ст} (l_1 - l_2) = \\ &= 2n_{ст} a \left( \frac{1}{\sin \alpha} - \frac{1}{\sin \alpha_2} \right), \end{aligned} \quad (2)$$

где  $a$  — толщина пластинки,  $n_{ст}$  — ее коэффициент преломления.

Меняя угол  $\alpha_1$ , можно в широких пределах изменять величину  $\delta_1$  и таким образом компенсировать разность хода  $\delta$ . Наклон пластины осуществляется микрометрическим винтом М (см. рис. 1). Каждому показанию микрометра соответствует определенное значение угла поворота  $\alpha_1$ , а, следовательно, и определенная величина разности хода  $\delta_1$ . В случае компенсации, т. е. при  $\delta_1 = \delta$ , показания микрометра будут определяться только значениями коэффициентов преломления  $n_2$  при постоянном  $n_1$ .

Микрометрический винт М имеет две шкалы, из которых одна неподвижная, имеет 30 делений, а вторая — вращающаяся — 100 делений.

Поскольку коэффициенты преломлений спирта и воды различны, то коэффициент преломления раствора будет зависеть от концентрации спирта в воде. При небольших концентрациях (для ненасыщенных растворов) эта зависимость с хорошей точностью является линейной. Следовательно, концентрацию раствора можно определить отсчетом по микрометру М.

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Включить интерферометр в сеть и убедиться, что в поле зрения окуляра О (рис. 1) появились верхняя и нижняя системы полос. Если полосы в нижней части плохо видны, то, вращая окуляр, добиться хорошей видимости. Если в верхней части поля зрения полосы отсутствуют или сдвинуты относительно нижней картины, то вращением микрометрического винта М совместить нулевые полосы, которые отличаются тем, что не имеют радужных каемок. Все остальные полосы имеют такие каемки, которые усиливаются по мере увеличения номера полосы, отсчитываемого от нулевой. Совмещение произвести три раза и по среднему значению отсчета по микрометру  $N_0$  определить так называемый «нуль кюветы».

2. Вставить кювету с раствором известной концентрации, соблюдая ориентацию камер. Камера с дистиллированной водой помечена буквой П и должна всегда находиться справа. Камера с раствором, помеченная Л, находится слева. Кюветы не перевозить!

3. Наблюдая интерференционную картину в окуляре, добиться совмещения полос (рис. 3, а) по нулевой полосе и сделать отсчет по микрометру М. Измерения повторить три раза и занести результаты в таблицу.

4. Повторить операции (пп. 2 и 3) для всех кювет с известными растворами, а также для кюветы с неизвестным раствором, помеченной С<sub>x</sub>.

$C, \%$	$L, \text{см}$	$N$	$N - \bar{N}_0$	$(N - \bar{N}_0)/L$
$C_1 =$		1 2 3		
$C_2 =$		1 2 3		
$C_x =$		1 2 3		

### ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ

1. По серии из трех опытов вычислить среднее значение отсчета для каждого раствора.

2. Вычислить разность  $N - \bar{N}_0$ , где  $\bar{N}_0$  — среднее значение «нуля кюветы».

3. Растворы разной концентрации залиты в кюветы различной длины, поэтому необходимо привести результаты к единице длины, т. е. вычислить величину  $(N - \bar{N}_0)/L$ , где  $L$  — длина кюветы с данным раствором.

4. Построить градуировочный график, откладывая по оси абсцисс концентрацию известных растворов, а по оси ординат — величину  $N - \bar{N}_0/L$ .

5. Используя градуировочный график, определить неизвестную концентрацию спирта в воде  $C_x$ .

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем заключается явление интерференции света?
2. Какие волны называются когерентными?
3. Каково условие максимума и минимума при интерференции?
4. Объясните принцип действия интерферометра ИТР-2.
5. Объясните возникновение интерференционной картины от двух щелей.

6. Как образуются верхняя и нижняя системы полос в интерферометре?

7. С какой целью используются в интерферометре компенсаторы?

8. Как по смещению интерференционных полос можно измерить концентрацию раствора?

9. Почему нулевая полоса не имеет окраски?

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Савельев И. В. Курс общей физики.—М.: Наука, 1978, т. 2, § 119—121.

Составители: *Зинаида Ахатовна Куликова, Дмитрий Федорович Китаев*

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРА  
ПРИ ПОМОЩИ ИНТЕРФЕРОМЕТРА РЕЛЕЯ**

Редактор Т. К. Кретьнина  
Техн. редактор Н. М. Каленюк  
Корректор Н. С. Куприянова

Сдано в набор 20.08.85 г. Подписано в печать 18.10.85 г.  
Формат 60×84 1/16. Бумага оберточная. Гарнитура литературная.  
Печать высокая. Усл. п. л. 0,5. Уч.-изд. л. 0,4. Т. 2000 экз.  
Заказ 615. Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени  
авиационный институт им. академика С. П. Королева,  
г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.