

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №15.

ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО ВРАЩЕНИЯ ПЛОСКОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИИ СВЕТА.

Оборудование: поляриметр П-161 или П-161М, вода, сахар или глюкоза.

ОПИСАНИЕ ЦЕЛЕЙ РАБОТЫ.

№	Конкретная цель.	Критерий достижения цели.
Изучение теории.		
1	Явление вращения плоскости поляризации.	Студент правильно отвечает на вопросы 1-9.
2	Полутеневого метод.	Студент правильно отвечает на вопросы 10-14.
3	Чувствительность полутеневого метода.	Студент правильно отвечает на вопросы 15-18.
Практические умения.		
1	Определение нулевого отсчета.	Контролируется преподавателем.
2	Определение угла поворота анализатора.	Контролируется преподавателем.
3	Заполнение кюветы.	Контролируется по чистоте поля зрения.

1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ.

Прежде чем приступать к работе, повторите по учебнику (или по описанию работы №13) основные понятия поляризации света: световой вектор, плоскость колебаний, плоскость поляризации, естественный свет, поляризованный свет, поляризатор, анализатор, главное направление поляризатора (анализатора), плоскость пропускания поляризатора, интенсивность волны.

1.1. Явление вращения плоскости поляризации.

В некоторых кристаллах (например, кварце) распространение света вдоль оптической оси сопровождается поворотом плоскости поляризации. Такие вещества называются оптически активными, а явление - естественным вращением плоскости поляризации. Кроме кварца, оптически активными веществами являются некоторые кристаллы (киноварь и др.), чистые жидкости (скипидар, никотин и др.) и растворы некоторых веществ (водные растворы сахара, глюкозы, винной кислоты, спиртовой раствор камфары).

В зависимости от направления вращения плоскости поляризации оптически активные вещества подразделяются на право- и левоповорачивающие: первые поворачивают световой вектор по часовой стрелке, если смотреть навстречу лучу, а вторые -

против часовой стрелки.

Для оптически активных растворов угол поворота плоскости поляризации определяется соотношением:

$$\varphi = [\alpha_0] \cdot C \cdot l, \quad (1)$$

где l – толщина слоя раствора;

C - концентрация раствора (масса активного вещества в единице объема раствора);

$[\alpha_0]$ - коэффициент, называемый удельным вращением вещества.

Удельное вращение зависит от природы вещества, его температуры, длины волны света.

Определив значение $[\alpha_0]$ для данных условий можно использовать соотношение (1) для определения концентрации растворенного активного вещества. Этот метод широко применяется для количественного определения концентраций таких веществ, как камфара, кокаин, никотин, сахар. Приборы для таких измерений называются поляриметрами или сахариметрами.

Естественное вращение плоскости поляризации можно наблюдать, поместив оптически активное вещество между поляризатором и анализатором. Если их главные плоскости взаимно перпендикулярны, то плоскополяризованный свет, вышедший из поляризатора, в отсутствие оптически активного вещества будет целиком задержан анализатором и поле зрения будет темным. Введение оптически активного вещества приводит к повороту плоскости поляризации, благодаря чему поле зрения просветлеет. Повернув анализатор вокруг светового луча так, чтобы поле зрения стало опять темным, можно тем самым найти и угол поворота плоскости поляризации в исследуемом веществе. Однако определение угла поворота таким способом сопряжено со значительными погрешностями, ибо из-за адаптации глаза трудно найти с достаточной точностью положение анализатора, соответствующее максимальному затемнению поля зрения. В то же время глаз способен с большой точностью фиксировать равенство освещенностей двух соседних полей. Поэтому при измерениях обычно применяют полутеневого метод, в котором установка производится не на темноту поля зрения, а на равную яркость полей сравнения.

ВОПРОСЫ.

1. Сформулируйте определение явления вращения плоскости поляризации.
2. Назовите 5-6 оптически активных веществ и 5-6 оптически неактивных веществ.
3. Можно ли наблюдать изучаемое явление, пользуясь естественным светом?
4. От чего зависит угол поворота плоскости поляризации?
5. Может ли угол поворота быть равным 0 ? $\frac{\pi}{2}$? 2π ? 5π ? 10π ?
6. Что показывает постоянная вращения $[\alpha_0]$?
7. $[\alpha_0] = -19 \frac{\tilde{a} \cdot \tilde{n}^3}{\tilde{a} \cdot \tilde{n}}$. Что это значит? На какой угол повернется плоскость поля-

ризации света, прошедшего 10 см в растворе с концентрацией $0.1 \frac{\tilde{a}d}{\tilde{m}^3}$ данного вещества?

8. Плоскополяризованный свет проходит: а) поляроид; б) пластинку из одноосного кристалла; в) слой оптически активного вещества. Во всех случаях происходит изменение положения плоскости поляризации света. Укажите различия между этими случаями.
9. Белый свет проходит через поляризатор, оптически активное вещество и отражается от зеркала в обратном направлении. Будет ли поляризатор задерживать отраженный свет?

1.2. Полутеневого метод.

Рассмотрим схему, состоящую из поляризатора и анализатора. Пусть поляризатор Р будет составлен из двух поляроидов (1 и 2 на рис.1,а) так, что направления пропускания обеих частей \vec{P}_1 и \vec{P}_2 расходятся на некоторый угол β (рис.1б). Та часть светового потока, которая прошла через первую половину поляризатора, будет поляризована в направлении \vec{P}_1 , а другая половина - в направлении \vec{P}_2 . Интенсивности обеих частей одинаковы.

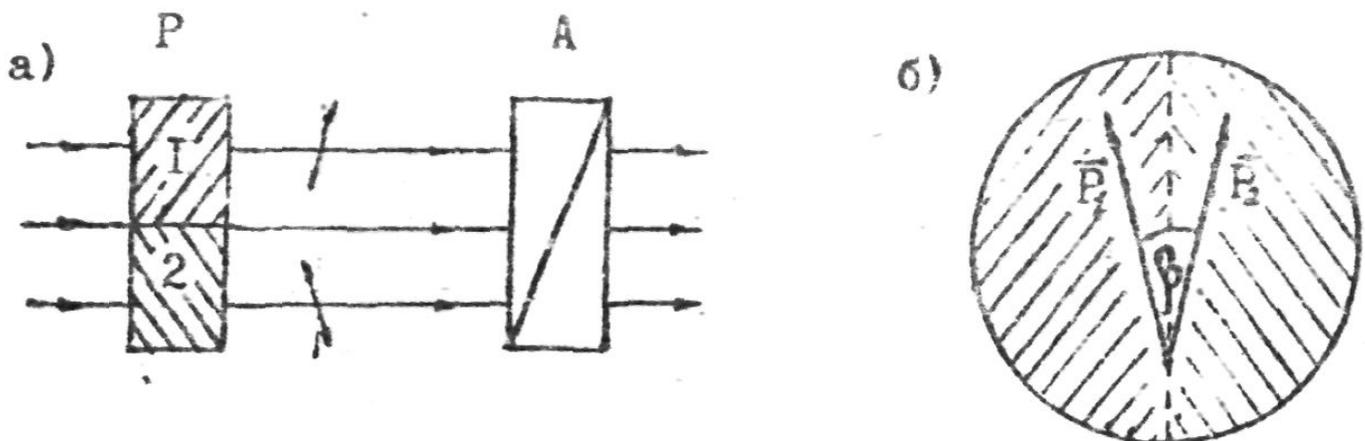


Рис.1.

Будем рассматривать полученный световой поток через анализатор. Наблюдаемая картина будет зависеть от того, как ориентирована плоскость пропускания анализатора AA' (см. рис.2) относительно направлений \vec{P}_1 и \vec{P}_2 . От каждой волны через анализатор проходит колебание с амплитудой, равной проекции ее светового вектора на направление AA' . В общем случае, эти проекции не равны и обе части поля зрения будут освещены неодинаково (см. рис.2 а, в). Если же главное направление анализатора совпадает с биссектрисой угла между векторами \vec{P}_1 и \vec{P}_2 (рис. 2б), то обе половинки поля зрения будут освещены одинаково: исчезнет граница раздела полей. Это положение исключительно, т.к. незначительное отклонение от него приводит к нарушению светового равновесия. Т.о., в описанной схеме нулевым положением будет такое положение анализатора, при котором поле зрения однородно.

Если между поляризатором и анализатором ввести оптически активное вещество, то плоскости поляризации обоих пучков повернутся на один и тот же угол φ и

яркость полей сравнения изменится. Угол φ легко определить: он равен углу, на который следует повернуть анализатор, чтобы опять уравнять яркость обоих полей.

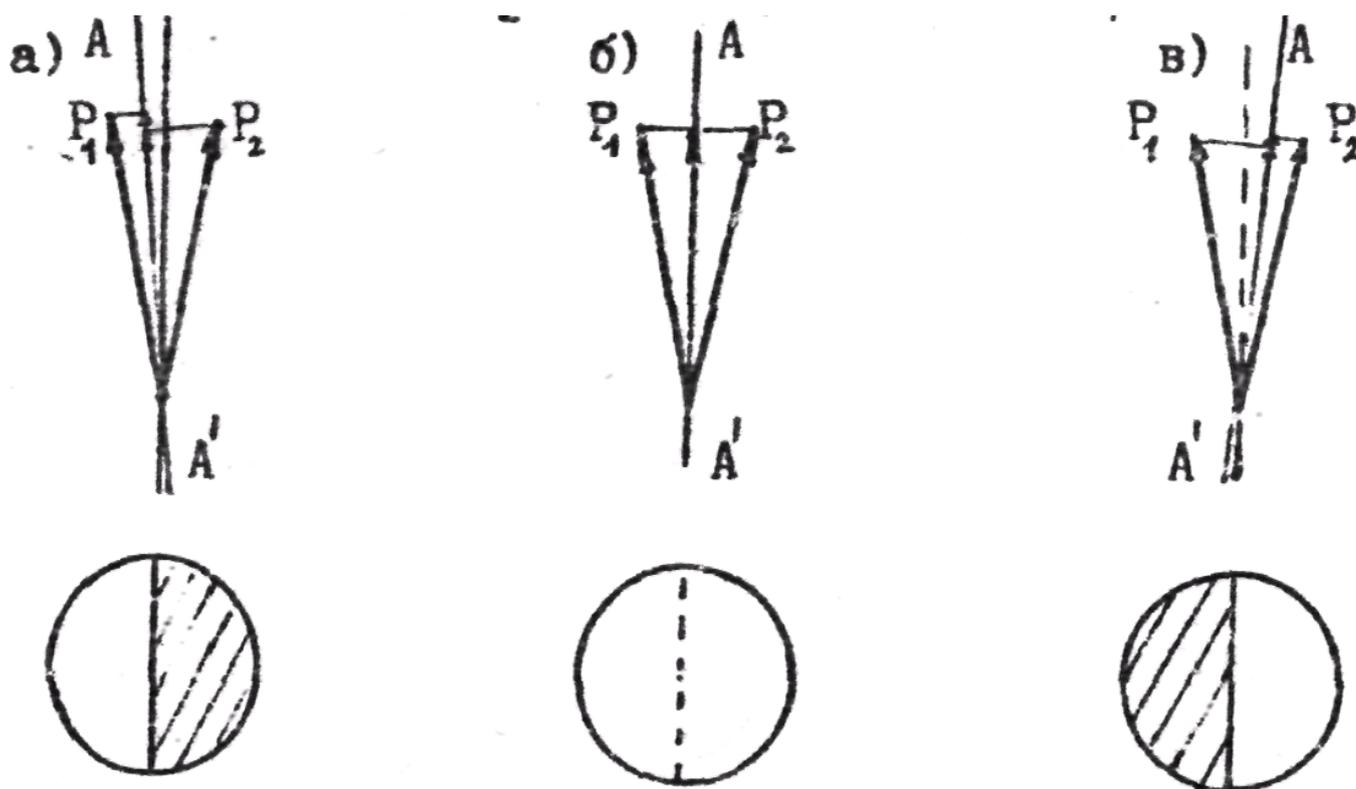


Рис.2.

ВОПРОСЫ.

10. Какие элементы необходимы для создания полутеневого анализатора? Укажите их назначение.
11. Можно ли применить для объяснения полутеневого метода закон Малюса? Докажите.
12. Какое положение анализатора будет нулевым? Почему?
13. Как можно измерить угол поворота плоскости поляризации?
14. Каковы преимущества полутеневого метода?

1.3. О чувствительности полутеневого метода.

Из рис.3 видно, что уравнивание интенсивностей пучков (яркости полей) можно осуществить при двух взаимно перпендикулярных положениях анализатора:

- 1) $A_{//}$ - когда плоскость пропускания анализатора совпадает с биссектрисой угла β (рис. 3а);
- 2) A_{\perp} - когда плоскость пропускания анализатора перпендикулярна биссектрисе угла β (рис. 3б). Причем, если угол β достаточно мал, то чувствительность установки обоих полей на одинаковую яркость в положении $A_{//}$ (светлое поле) будет значительно меньше, чем в положении A_{\perp} (полутемное поле). Действительно, поворот анализатора из положений $A_{//}$ и A_{\perp} на одинаковый малый угол δ в случае полутемного поля приводит к значительно большему отно-

сительному изменению амплитуд колебаний обоих пучков, чем в случае светлого поля.

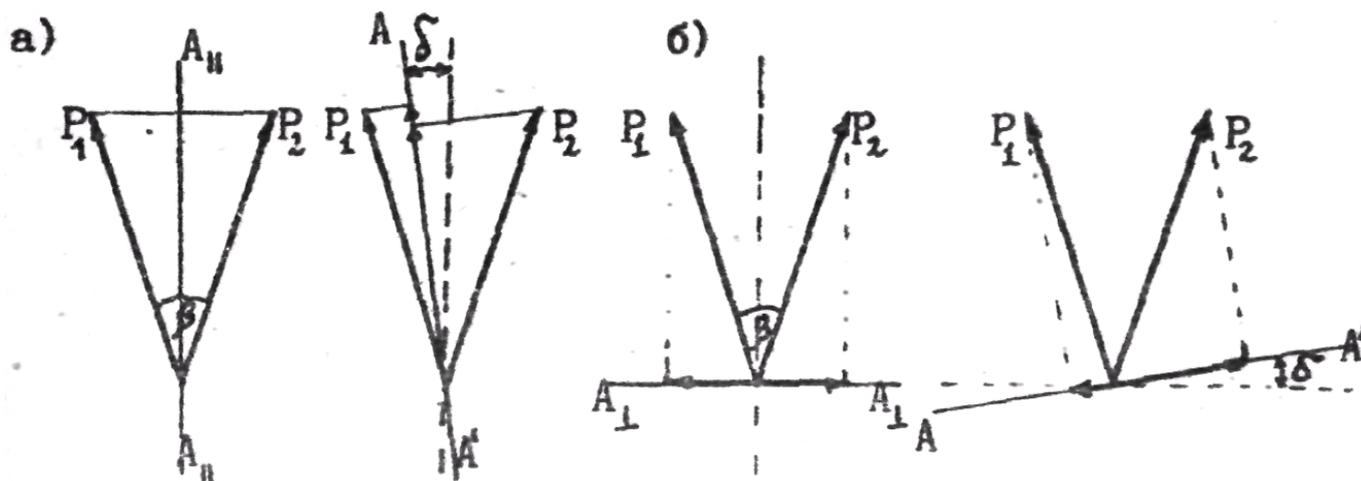


Рис.3.

Было показано, что относительное изменение интенсивностей обоих пучков при повороте анализатора на малый угол δ вблизи положения A_{\perp} равно:

$$\frac{\Delta I}{I} = 4 \operatorname{ctg} \frac{\beta \delta}{2}.$$

Отсюда видно, что при заданной ошибке в оценке равенства интенсивностей $\frac{\Delta I}{I}$ ошибка в установке δ тем меньше, чем меньше угол β . Именно поэтому угол β делают небольшим (порядка нескольких градусов), и измерения проводят в полутемном поле (отсюда и название метода – «полутеневой»).

ВОПРОСЫ.

15. Объясните, почему уравнивание освещенности возможно при двух положениях анализатора? Постройте графическое изображение векторов для каждого случая.
16. Почему полутемное поле чувствительней светлого?
17. От чего зависит чувствительность метода?
18. Почему метод называется полутеневым?

2. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ.

2.1. Описание прибора.

В работе используются поляриметры П-161 или П-161М. Они предназначены для измерения угла вращения плоскости поляризации оптически-активными однородными растворами и жидкостями и широко применяются в научно-исследовательских лабораториях, в пищевой и химической промышленности, в медицине, а также в других отраслях науки и производства.

На рис.4 изображена оптическая схема поляриметра П-161. Поляриметр П-161М отличается от П-161 только положением кварцевой пластинки Кп.

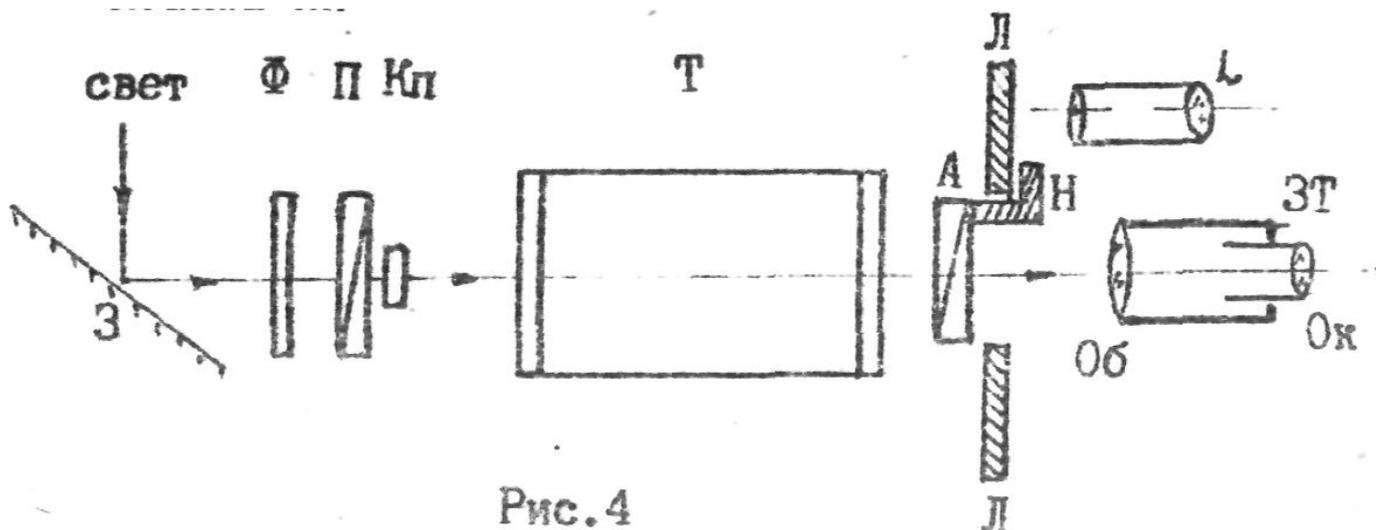


Рис. 4

З - зеркало; Ф - светофильтр; П - поляризатор; Кп – кварцевая пластинка; Т - трубка для исследуемой жидкости; А – анализатор с нониусом Н; Л - неподвижный лимб с градусной шкалой; L - отсчетная лупа; Об и Ок - объектив и окуляр зрительной трубы ЗТ. Анализатор и поляризатор изготовлены из поляроидной пленки.

Конструктивно различают следующие узлы поляриметра:

2.1.1. Поляризационное устройство, которое состоит из оранжевого светофильтра, поляризатора и тонкой кварцевой пластинки. Кварцевая пластинка занимает половину поля зрения в поляриметре П-161М и среднюю часть поля зрения в поляриметре П-161. Т.к. кварц является оптически активным веществом, то он поворачивает на небольшой угол ($5-7^\circ$) плоскость поляризации у той части поляризованного света, которая проходит через пластинку. Т.о., создаются поля сравнения, необходимые для реализации полутеневого метода. На рис.5 изображены возможные виды поля зрения для приборов П-161 и П-161М.

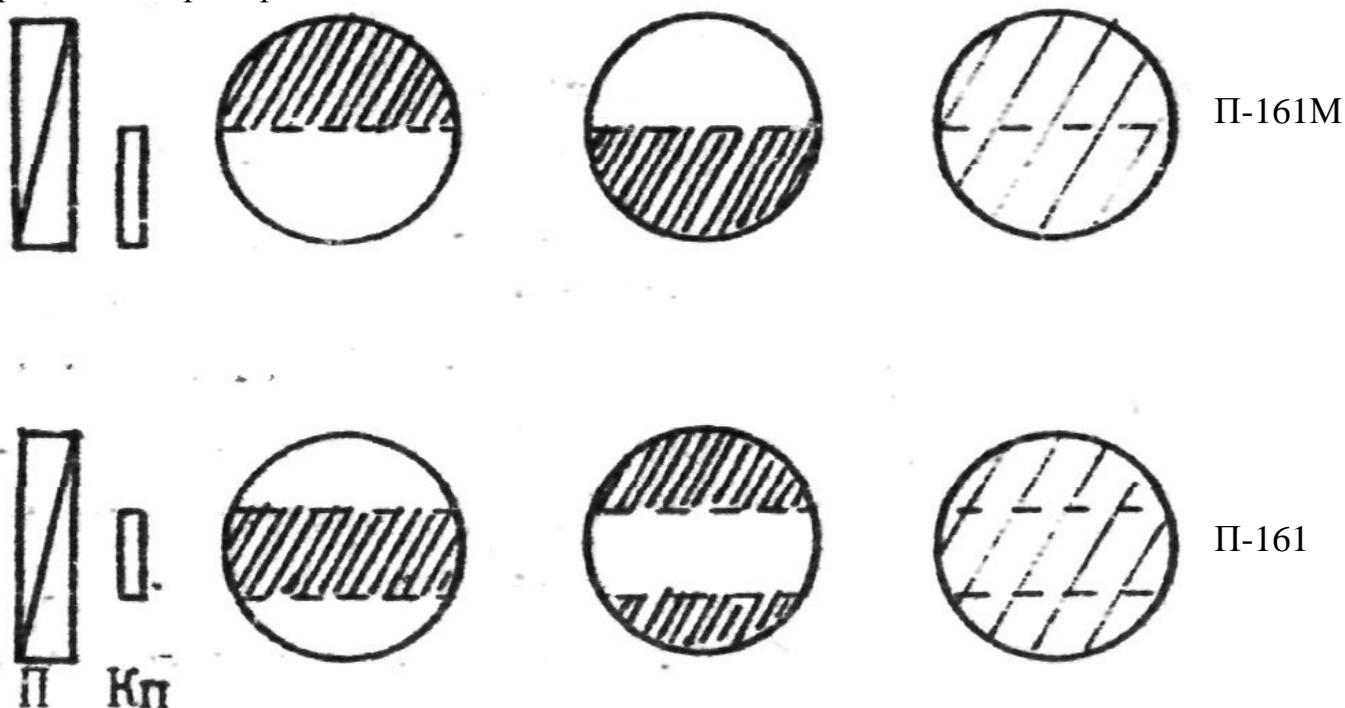


Рис.5

Т.к. у многих веществ коэффициент $[\alpha_0]$ зависит от длины волны света, перед поляризатором ставится оранжевый светофильтр.

2.1.2. Головка анализатора состоит из зрительной трубки, неподвижного лимба с градусной шкалой и совместно вращающихся частей: анализатора, нониуса и отсчетной лупы.

Зрительная трубка состоит из объектива и окуляра и служит для наблюдения поля зрения. Вращением оправы окуляра производится установка окуляра на резкость изображения линий раздела поля зрения.

На неподвижном лимбе (рис.6) вправо и влево от нуля нанесено 20 делений. Цена деления лимба - 1° . В плоскости лимба на подвижной, вращающейся вместе с анализатором, втулке, имеются два нониуса - левый и правый. Каждый нониус разделен на 10 делений.

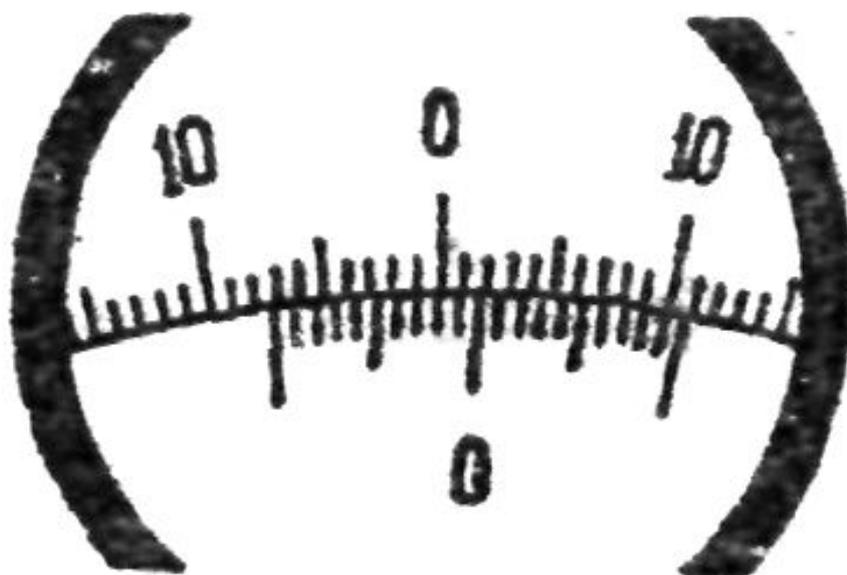


Рис.6

Минимальное значение величины отсчета по нониусу равно 0.1° .

2.1.3. Поляризационное устройство и головка анализатора укреплены на концах соединительной трубки, в вырез которой вставляется трубка для растворов. Трубка для растворов имеет длину 96,04 мм. На концах трубки закреплены металлические наконечники, на которые навинчивается раковины, принимающие торцевые покровные стекла. Между раковинами и покровными стеклами помечены резиновые прокладки, предохраняющие покровные стекла от образования натяжений при его закреплении.

ВОПРОСЫ.

19. Можно ли кварцевую пластинку в поляриметре поместить перед поляризатором? после анализатора? перед анализатором?
20. На какую часть прибора фокусируется зрительная труба?
21. Каково назначение светофильтра?

2.2. Подготовка прибора к работе.

1. Установите прибор на штативе без трубки с раствором.
2. Дневной свет или свет от матовой электрической лампочки направьте в прибор с помощью зеркала, наблюдая через окуляр фотометрическое поле. Вращая зеркало или перемещая прибор, добейтесь максимальной и равномерной освещенности поля зрения.
3. Перемещением окуляра добейтесь резкого изображения линий раздела поля.

2.3. Определение нулевого положения прибора.

Определение нулевого отсчета производят без трубки или с трубкой, наполненной водой.

1. Подготовьте прибор к работе (см. п.2.2).
2. Вращая оправу анализатора, установите фотометрическое равновесие в его чувствительном положении, которое характеризуется тем, что:
 - части поля уравнены при минимальных яркостях (затемнены);
 - незначительное вращение анализатора вызывает резкое изменение освещенности наблюдаемых частей поля.

При этом, в поле зрения не должно наблюдаться окрашивания одной части поля относительно другой и не должно быть заметно резкого выделения сторон кварцевой пластинки. Если в поле зрения наблюдается окрашивание, то необходимо немного отжать покровные стекла трубки (если установка нуля происходит с трубкой), т.к. окрашивание поля зрения в данном случае получается за счет возникших натяжений в покровных стеклах трубки. Резкое выделение краев кварцевой пластинки может происходить от неправильной установки зеркала.

3. Снимите по нониусу нулевой отсчет. Если нулевой штрих нониуса при установке на равенство оказался смещенным относительно нулевого штриха лимба по часовой стрелке, то поправке на "0" приписывается знак (+), если против часовой стрелки - знак (-).
4. Определение нулевого положения следует произвести не менее 5-7 раз и записать соответствующие отсчеты i_n по нониусу. Найти среднее значение $\langle i_n \rangle$?
5. Вычислить среднеквадратичный разброс отсчетов около среднего значения:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (\Delta i_n)^2},$$

где n - номер измерений, $\Delta i_n = i_n - \langle i_n \rangle$.

В полутеневом методе при правильной настройке прибора разброс должен быть небольшим.

2.4. Чистка трубки и наполнение ее исследуемым раствором.

Перед началом измерений трубки для растворов необходимо тщательно прочистить от всяких загрязнений. С этой целью через трубку проталкивают пробку из фильтровальной бумаги, пропитанную спиртом или бензином, а покровные стекла протирают салфеткой, смоченной в спирте или бензине. После прочистки на один конец трубки накладывают покровное стекло, резиновую прокладку, навинчивают раковину, а затем трубку наполняют исследуемой жидкостью или раствором.

Заполнение трубки раствором ведется до тех пор, пока на верхнем конце трубки не появится выпуклый мениск. Этот выпуклый мениск сдвигается в сторону при надвигании на него покровного стекла. Затем на покровное стекло накладывается резиновая прокладка и наворачивается раковина. После заполнения трубки исследуемой жидкостью покровные стекла с наружной стороны должны быть тщательно прочищены.

В трубке не должно быть воздушных пузырей. Во избежание появления натяжений в покровных стеклах, влияющих на правильность отсчета, раковины нельзя заворачивать туго.

2.5. Определение угла вращения плоскости поляризации оптически-активной жидкостью.

Оптически-активные жидкости должны быть прозрачными и не иметь взвешенных частиц.

1. Подготовьте прибор к работе и снимите нулевой отсчет с трубкой, наполненной дистиллированной водой. Запишите в тетрадь все измерения, среднее значение и найденную погрешность.
2. Заполните трубку исследуемым раствором и установите ее в приборе.
3. Поворотом анализатора вновь установите фотометрическое равенство.
4. Определение угла вращения плоскости поляризации рекомендуется вести в следующем порядке:
 - а) определить знак угла поворота;
 - б) определить число полных градусов - от нуля лимба до нуля нониуса;
 - в) определить доли градуса. Для этого подсчитайте число делений нониуса от нуля нониуса до того штриха нониуса, которое совпадает с каким-либо градусным штрихом лимба, и умножьте полученное число делений (нониуса!!!) на 0.1° .

ВНИМАНИЕ!!! У нониуса две шкалы по 10 делений. Нужно брать ту шкалу, которая соответствует отсчету по градусной шкале: если градусы считаете справа от «0», то и нониус берете правый, и наоборот.

г) к числу градусов прибавьте отсчет по нониусу. Запишите значение угла.

Пример: отсчет по шкале, изображенной на рис.6 равен $+1.8^\circ$.

5. Повторите измерения (п.п. 3,4) не менее пяти раз и возьмите среднее значение.
6. Из полученного среднего значения угла поворота вычтите нулевой отсчет, не забывая учитывать знаки углов.

Например: нулевой отсчет равен -0.1° , измеренное значение угла поворота $+1.8^\circ$; реальное значение угла поворота плоскости поляризации равно $+1.8^\circ - (-0.1^\circ) = +1.9^\circ$.

2.6. Определение неизвестной концентрации вещества.

2.6.1. Если удельное вращение $[\alpha_0]$ вещества (см. табл.1) при данной температуре для оранжевого света известно, то, измерив, угол поворота плоскости поляризации раствором, можно найти его концентрацию из (1):

$$C = \frac{\varphi}{[\alpha_0] \cdot l}, \quad (2)$$

где φ измеряется в градусах, l - в дециметрах. C - в г/см³?

Ниже приведены значения $[\alpha_0]$ для некоторых веществ при 20°C для длины волны 589 нм:

Таблица 1.

Вещество.	Растворитель.	$[\alpha_0], \frac{\text{град} \cdot \text{дм}^3}{\text{г} \cdot \text{дм}}$
1. Сахар тростниковый.	вода	+66,4
2. Глюкоза	вода	+52,5
3. Фруктоза	вода	-93 (-9.2)
4. Скипидар	вода	-37
5. Никотин	вода	-164
6. Миндальная кислота	вода	+156
7. Камфара	спирт	+40,9

2.6.2. Если удельное вращение для данного вещества неизвестно, то поступают следующим образом:

1. Готовят ряд растворов данного вещества, предварительно рассчитав концентрации.
2. Для каждого раствора измеряют угол вращения.
3. Строят график зависимости угла вращения от концентрации раствора.
4. Измеряют угол вращения для раствора с неизвестной концентрацией.
5. По графику определяют концентрацию неизвестного раствора.

Этим же методом пользуются в том случае, когда удельное вращение плоскости поляризации зависит от концентрации.

ЗАДАНИЯ.

1. Изучите устройство поляриметра и научитесь правильно определять:
 - а) нулевой отсчет прибора;
 - б) угол поворота анализатора.
2. Поверните анализатор на указанный преподавателем угол.
3. Определите удельное вращение вещества по углу поворота плоскости поляризации раствором (сахара или глюкозы, или скипидара в воде, или камфары в спирте) известной концентрации.
4. Определите концентрацию раствора, если известно удельное вращение вещества в данном растворе.
5. Определите концентрацию раствора, если удельное вращение вещества неизвестно.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Ландсберг Г.С.: Оптика. М., 1976, §§ 163-168, с. 607-618.
2. Сивухин Д.В.: Общий курс физики. Оптика. М., 1980, § 94, с. 572-578.
3. Годжаев Н.М.: Оптика. М., 1977, гл. XII, §§ 5-6, с. 294-300.
4. Лабораторные занятия по физике (под ред. Л.Л.Гольдина). М., 1983, с. 501-508.
5. Физический практикум. Электричество и оптика (под ред. В.И. Ивероной). М., 1968, с. 600-605.