

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЕ ВЕЩЕГО И
СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ БССР

БРЕСНОВСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
СТРОИТЕЛЬНЫЙ
ИНСТИТУТ

КАТЕДРА ФУЗИКИ

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

ПО КУРСУ ФУЗИКИ

ЧАСТЬ VIII

ВОЛНОВАЯ ОПТИКА

(УЧЗ, 4)

БРЕСНЬ

1984

БРЕСТСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

Кафедра физики

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

по курсу физики

Часть УШ. Волновая оптика.

/ № 3, 4/

Брест, 1984

УДК 53 (076.5)

Лабораторные работы № 3,4 по разделу курса общей физики
"Волновая оптика".

В описаниях работ приведены теоретические сведения, устройства и принцип работы используемых приборов и аппаратуры, методика проведения опытов и измерений, задания для самостоятельной работы, а также контрольные вопросы и литература.

Методические пособия составлены в соответствии с новой программой курса физики для инженерно-технических специальностей вузов от 26 июня 1982 года (индекс УМУ-9/1) и отвечают требованиям Инструктивного письма № 32 Минвуза СССР от 23 октября 1982 года. Предназначены для студентов дневного, вечернего и заочного отделений БИСИ.

Работы поставлены: 3 - Гладышук А.А., Новикова Т.А.

4 - Гладышук А.А.

В постановке работ и обсуждении методических указаний принял участие Чопчиц Н.И.

Под общей редакцией старшего преподавателя кафедры физики
Гладышука А.А.

Рецензенты: кафедра общей и теоретической физики
Брестского пединститута; доцент БПИ
к.физ.-мат.наук Косарев В.М.

С Брестский инженерно-строительный институт 1984

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

1. К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, предварительно ознакомившиеся по руководству с её содержанием и порядком выполнения, изучившие и кратко законспектировавшие теоретический материал в рабочую тетрадь и успешно сдавшие предварительный зачет на допуск к работе.
2. С целью устранения возможности искажения показаний приборов во время выполнения работы не допускается произвольное хождение студентов по лаборатории. В лаборатории следует соблюдать порядок и поддерживать чистоту и тишину.
3. Все черновые записи, показания приборов, замеры и предварительные вычисления вести во второй половине рабочей тетради /дневник наблюдений/, которую после завершения работы, в конце занятий, предъявить преподавателю на подпись. Отчеты по выполненным работам оформлять в первой половине рабочей тетради разборчиво и аккуратно. Графики выполнять на миллиметровой бумаге.
4. Студенты должны соблюдать правила электрической и противопожарной безопасности, с которыми следует ознакомиться перед первым лабораторным занятием, после чего нужно расписаться в журнале по технике безопасности.
5. Включать лабораторную установку без разрешения преподавателя запрещено.
6. Каждая работа выполняется одновременно двумя студентами. Сдача лабораторных работ проводится во время занятий и в часы еженедельных консультаций по расписанию.
7. Находиться в лаборатории студентам без преподавателя или дежурного лаборанта запрещено. Студенты несут материальную ответственность за порчу и поломку лабораторного оборудования и приборов.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЙ ВРАЩЕНИЯ ПЛОСКОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИИ.

I. Цель работы: изучение поляризованного света, явление вращения плоскости поляризации в оптически активных растворах и магнитных полях, определение постоянной вращения, постоянной Верде и концентрации оптически активных растворов.

II. Приборы и принадлежности: круговые поляриметры (модель СМ), трубки с оптически активными растворами, соленоид, выпрямитель, миллиметровая бумага.

III. Введение:

a) естественный и поляризованный свет.

Свет является одной из основных форм движущейся материи и одновременно обладает как корпускулярными, так и волновыми свойствами.

С точки зрения электромагнитной теории свет представляет собой поперечные электромагнитные волны, в которых векторы напряженностей электрического \vec{E} и магнитного \vec{H} полей колеблются во взаимно перпендикулярных плоскостях и каждый из этих векторов перпендикулярен к направлению распространения света (рис. I).

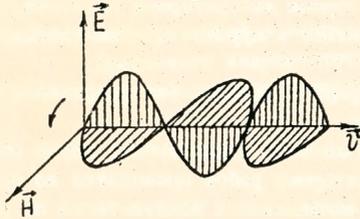


Рис. I

В действительности, действие света на вещество сводится к силам, с которыми на электроны действуют электрические и магнитные поля. Для большинства веществ магнитная сила

(сила Лоренца) во много раз меньше электрической, так как из электромагнитной теории Максвелла вытекает, что скорость света в веществе $v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}}$, где c - скорость света в пустоте, ϵ - диэлектрическая, а μ - магнитная проницаемости среды, но для большинства веществ $\mu \approx 1$. Таким образом, во всех действиях электрический вектор световой волны является более важным чем магнитный. Поэтому его нередко называют световым вектором.

Пучок видимого света от естественных источников представляет собой совокупность независимых световых волн или, как принято говорить, лучов волн, испускаемых отдельными группами атомов или молекул светящегося тела и имеющих различные фазы, которые хаотически изменяются в течение $10^{-7} + 10^{-8}$ с. Поэтому в пучке естественного света колебание вектора \vec{E} неупорядочено, т.е. вектор \vec{E} луча волн имеет свою произвольную ориентацию в пространстве. Такой свет называют естественным или неполяризованным.

Если колебания вектора \vec{E} отдельных лучов волн совершаются по одинаковому закону, т.е. упорядочены, то такой свет называют поляризованным.

Плоскость, в которой колеблется световой вектор, мы будем называть плоскостью поляризации, хотя по историческим причинам иногда плоскостью поляризации называют плоскость, в которой колеблется вектор \vec{H} .

Если колебания светового вектора упорядочены в одной плоскости, то такой свет называют линейно или плоскополяризованным. Существуют и более сложные виды упорядоченных колебаний, которым соответствуют иные типы поляризации, например, круговая (циркулярная) или эллиптическая поляризации, при которых конец электрического вектора описывает круг, или эллипс. Частично поляризованный свет характеризуется тем, что одно из направлений колебаний светового вектора оказывается преимущественным, но не исключительным.

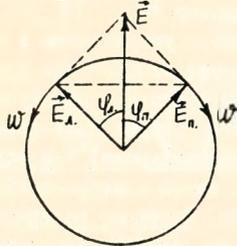
Поляризованный свет можно получить при отражении и

преломлении в диэлектриках (например, в стекле), при прохождении света через анизотропные среды (исландский шпат, кристаллы кварца и др.), при пропускании света через поляроидные пленки.

Следует заметить, что без специальных приспособлений поляризованный свет нельзя отличить от естественного, поэтому для исследований поляризованного света применяют поляризационные устройства, которые ничем не отличаются от тех, с помощью которых поляризованный свет получают. Устройства, с помощью которых получают поляризованный свет, называют поляризаторами, а те, с помощью которых исследуют или наблюдают поляризованный свет, называют анализаторами.

б) вращение плоскости поляризации оптически активным веществом.

Интерпретация явления вращения плоскости поляризации была впервые дана Френелем, показавшим, что вращение в известном смысле аналогично двойному лучепреломлению. Для изложения основной идеи Френеля заметим, прежде всего, что плоскополяризованный свет можно представить как суперпозицию двух циркулярно поляризованных волн с правым и левым вращением вектора напряжённости электрического поля и одинаковыми модулями вектора \vec{E} в обеих волнах. Направление вращения определяется по отношению к наблюдателю, к кото-



рому идёт световая волна. Действительно, модуль суммы двух векторов \vec{E}_n и \vec{E}_p ("левого" и "правого") равен удвоенной проекции любого из них на диагональ ромба, построенного на этих векторах (см. рис. 2).

Рис. 2. Углы ψ_n и ψ_p меняются по закону $\psi_n = \psi_p = \omega t + \alpha$, где α — значение ψ_n и ψ_p при $t = 0$

Результирующий вектор $\vec{E} = \vec{E}_\lambda + \vec{E}_\sigma$ направлен по диагонали этого ромба. При вращении векторов \vec{E}_λ и \vec{E}_σ с одинаковой угловой скоростью ω модуль вектора E изменяется по гармоническому закону с частотой ν , а направление его остается постоянным, что соответствует плоскополяризованной волне. Заметим, что разложение вектора E плоскополяризованной волны на две составляющие может быть произведено в математическом отношении бесконечным числом способов подобно разложению силы в механике. Однако, это еще не означает реальности этих составляющих. Основная гипотеза Френеля, впоследствии им подтвержденная экспериментально, состояла в том, что при падении света на среду в действительности происходит его разделение на лево- и право-поляризованные световые волны. Для оптически неактивных веществ скорости распространения этих волн одинаковы, так что вектор \vec{E} результирующей волны остается все время в одной плоскости, как это показано выше. Для оптически активной среды, согласно Френелю, скорость распространения волны с правым вращением отлична от скорости распространения волны с левым вращением. В силу этого, все оптически активные вещества можно подразделить на "правые" ($v_\sigma > v_\lambda$) и "левые" ($v_\sigma < v_\lambda$). Рассмотрим, что произойдет с плоскополяризованной волной, распространяющейся в оптически активной среде.

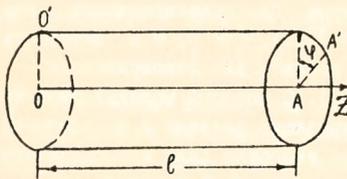


Рис. 3.

Пусть свет распространяется вдоль оси OZ в образце оптически активного вещества длиной l (рис. 3). И пусть на входе в образец в сечении OO' вектор \vec{E}_{00} плоскополяризованной падающей вол-

ны направлен так, как показано на рис. 4, а векторы \vec{E}_n и \vec{E}_d соответствующих циркулярнополяризованных волн составляет с ним углы $\psi_n = \psi_d$, изменяющиеся по закону $\psi_n = \psi_d = \omega t + \lambda$. Тогда на выходе из образца в сечении AA' углы поворота φ_n и φ_d векторов \vec{E}_n и \vec{E}_d , отсчитываемые от плоскости, в которой лежит вектор $\vec{E}_{00'}$ падающей волны, будут меняться с за-

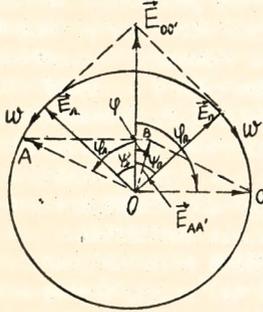


Рис. 4.

Результирующий вектор напряженности электрического поля в сечении AA' ($\vec{E}_{AA'}$) будет повернут относительно вектора в сечении OO' ($\vec{E}_{00'}$) на угол φ . Учитывая, что фигура OABC - ромб, имеем $\varphi_n + \varphi = \varphi_d - \varphi$, откуда

$$\varphi = \frac{1}{2}(\varphi_n - \varphi_d) = \frac{1}{2}([\omega(t - \frac{\ell}{v_n}) + \lambda] - [\omega(t - \frac{\ell}{v_d}) + \lambda]) = \frac{\omega \ell}{2c}(n_n - n_d) = \frac{\omega \ell}{\lambda}(n_n - n_d),$$

где λ - длина волны в вакууме. Для правовращающих веществ ($v_n > v_d$) и ($n_n < n_d$), $\varphi > 0$, т.е. плоскость поляризации поворачивается вправо, для левовращающих - влево ($v_n < v_d$, $n_n > n_d$, $\varphi < 0$). С позиций молекулярной теории вращения плоскости поляризации связано с асимметрией строения оптически активного вещества (для кристаллических веществ - с асимметрией кристаллической решетки, для аморфных растворов - с асимметрией молекул). Эта асимметрия и приводит к различной скорости распространения лево- и правополярно-поляризованных волн в среде.

паздыванием на промежуток времени, необходимый волне для прохождения пути ℓ , т.е. $\tau = \ell/v$. Здесь для "правой" волны имеем $\varphi_n = \omega(t - \tau_n) + \lambda = \omega(t - \frac{\ell}{v_n}) + \lambda$, для "левой" - $\varphi_d = \omega(t - \tau_d) + \lambda = \omega(t - \frac{\ell}{v_d}) + \lambda$, где $v_n = c/n_n$, $v_d = c/n_d$ - скорости распространения волн, n_n , n_d - их показатели преломления.

Угол поворота плоскости поляризации при прохождении светом оптически активных растворов пропорционален толщине слоя раствора и концентрации оптически активного вещества

$$\varphi = \alpha c l \quad (1)$$

Величина α (постоянная вращения или удельное вращение) численно равна углу поворота плоскости поляризации при прохождении поляризованным светом раствора единичной толщины, концентрация которого равна единице. В системе СИ единица измерения $[\alpha] = 1$ град./%.

в) вращение плоскости поляризации в магнитном поле (эффект Фарадея)

Еще в середине XIX века Фарадей открыл явление, названное его именем – вращение плоскости поляризации в оптически неактивных веществах, помещенных в магнитное поле. Это явление наблюдается при совпадении направления распространения света с направлением магнитного поля. Угол поворота пропорционален напряженности магнитного поля и длине пути света в веществе. Направление вращения в отличие от естественной активности не зависит от направления распространения света. Величина вращения различна в разных средах: очень велика в ферромагнитных и очень мала в газах.

Количественные соотношения в этом явлении установлены Фарадеем, а более полно на ряде объектов исследованы Верде, который установил, что угол поворота плоскости поляризации в магнитном поле φ_m пропорционален длине пути света в веществе и величине напряженности магнитного поля H :

$$\varphi_m = V l H, \quad (2)$$

где V – постоянная Верде. Она дает угол поворота плоскости поляризации на единицу длины вращающегося слоя, при напряженности поля равной единице $[V] = 1$ (град. $\times A^{-1}$).

При внесении в магнитное поле оптически активных веществ, их естественная активность складывается с вращением плоскости поляризации, возникающей под действием магнитного

поля.

IV. Описание установки.

Данная работа выполняется на круговых поляриметрах типа СМ, которые предназначены для измерения углов поворота плоскости поляризации оптически активными растворами и однородными жидкостями.

Круговой поляриметр состоит из следующих основных узлов (рис. 5): головки анализатора I, поляризационного устройства 2, осветителя 3, штатива 4, трубки для растворов 5.

Головка анализатора является основной рабочей частью прибора и состоит из неподвижного лимба, вращающихся одновременно фрикциона и двух нониусов анализатора и зрительной трубки. Головка анализатора соединяется с поляризационным устройством при помощи ^{помощи} трубки, в которую вкладывают при измерении трубку с раствором. Во избежание проникновения постороннего света вырез в трубке закрывается вращающейся шторкой.

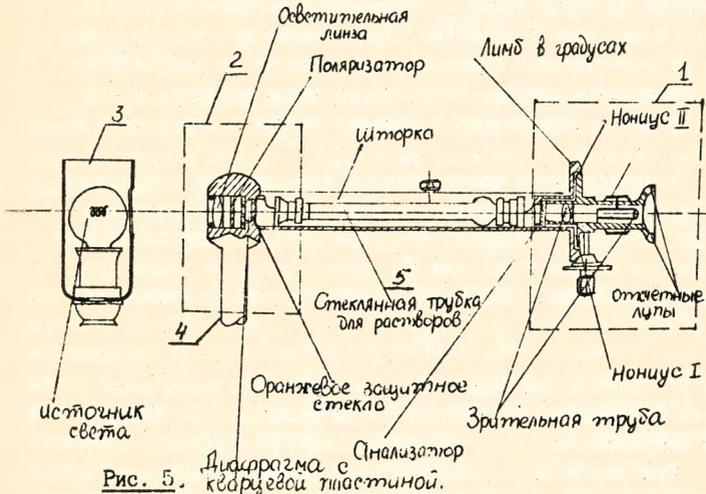


Рис. 5. Диффрагма с крестообразной пластиной.

На лимбе по часовой стрелке нанесена градусная шкала от 0° до 360° . Внутри лимба на подвижной втулке, связанной с анализатором, нанесены два нониуса, расположенные диаметрально. Нониусы имеют по 20 делений. Цена одного деления составляет 0.05° . Для учёта эксцентриситета круга при больших углах вращения необходимо пользоваться двумя нониусами, и результатом измерения считать среднее значение из полученных отсчётов по первому и второму нониусам.

Зрительная труба служит для наблюдения тройного поля и состоит из объектива и окуляра. Перемещением муфты производится установка окуляра на резкость изображения тройного поля зрения. В раковине окуляра находится две дупы, которые позволяют, не меняя положения головы отсчитывать угол вращения нониуса относительно градусной шкалы лимба.

Фрикцион служит для плавного вращения анализатора и состоит из маховичка, на цилиндр которого напрессована резина. При вращении за накатку маховичка одновременно вращаются анализатор, нониус и зрительная труба.

Анализатор изготовлен из поляроидной плёнки, заклеенной между двумя защитными стеклами и жёстко крепится в определенном положении в переходной трубке.

Поляризационное устройство состоит из поляриметра, осветительной линзы и кварцевой пластинки. Кварцевая пластинка расположена симметрично относительно поляризатора. Поляризатор и кварцевая пластинка находятся в определенном положении и крепятся жёстко в оправе.

У. Измерение угла поворота плоскости поляризации

В круговом поляриметре СМ применен принцип уравнивания яркостей разделенного на три части поля зрения. Разделение поля зрения на три части осуществляется введением в оптическую систему прибора кварцевой пластинки, которая занимает только среднюю часть поля зрения. Уравнивание полей происходит вблизи полного затемнения поля, что соответствует почти полному скрещиванию поляризатора

и анализатора ($83^\circ - 85^\circ$). Угол между направлением плоскости поляризации и осью кварцевой пластинки составляет несколько градусов ($5^\circ - 7^\circ$).

Свет от матовой электрической лампы, пройдя через конденсор и поляризатор, средней частью пучка проходит через кварцевую пластинку, оранжевое стекло и анализатор, а двумя крайними частями пучка — только через оранжевое стекло и анализатор.

Рассмотрим случай, когда трубки с оптически активным веществом нет в приборе (рис. 6а). Свет от источника, пройдя светофильтр и поляризатор, выходит монохроматическим и поляризованным. Пусть \vec{OP} обозначает плоскость колебаний электрического вектора поляризованного света. Вследствие прохождения света сквозь стекло-кварц-стекло поле зрения поляриметра разделяется на три части — среднюю и две боковые. В средней части светового потока, которая проходит через оптически активный кварц, плоскость колебаний электрического вектора поворачивается на некоторый угол и занимает новое положение $\vec{OP}_{\text{кв}}$. В той части светового потока, которая проходит через стекло сохраняется прежнее направление плоскости колебаний электрического вектора \vec{OP} .

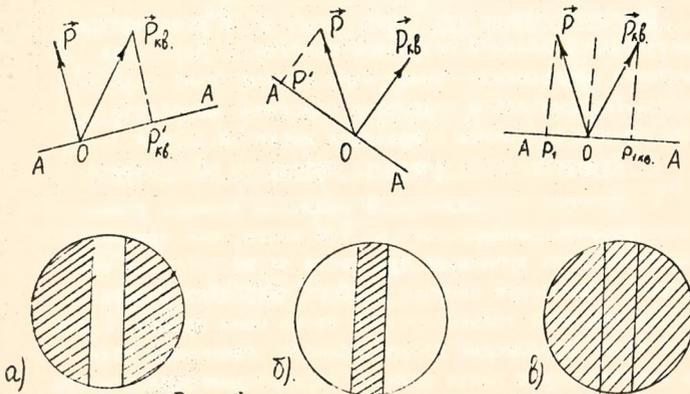


Рис. 6.

Если при этом главная плоскость анализатора $AOA \perp \vec{OP}$ (рис. 6а), то середина поля зрения будет освещена, а края затемнены. Проекция вектора \vec{OP} на направление AOA равна нулю, а проекция \vec{OP}_{KB} на AOA --- вектор \vec{OP}'_{KB} - выражает амплитуду колебаний этого вектора после прохождения им анализатора.

Если же главная плоскость анализатора $AOA \perp \vec{OP}_{KB}$ (рис. 6б), то середина поля зрения будет затемнена, а края освещены.

В случае, когда главная плоскость анализатора AOA перпендикулярна биссектрисе угла POB_{KB} (рис. 6в), то все три части светового поля будут ослаблены анализатором в равной мере и всё поле зрения будет одинаково неярко освещено. Такое положение анализатора называется установкой на "полутень".

Заметим, что одинаковую яркость поля зрения можно получить, если повернуть анализатор на 90° по отношению к установке на "полутень", но при этом яркость поля зрения будет гораздо большей, чем в первом случае и угловое расстояние поворота анализатора, соответствующие разделяющим полям зрения (рис. 6а и б) намного увеличатся. Когда трубка заполнена оптически активным раствором, то плоскости колебаний электрического вектора \vec{OP} и \vec{OP}_{KB} окажутся повернутыми на угол ψ (рис. 7).

При новом положении этих векторов \vec{OP}_1 и \vec{OP}_{1KB} в поле зрения уже не будет "полутени", т.к. биссектриса угла POB_{KB} не перпендикулярна главной плоскости анализатора AOA . Чтобы опять получить "полутень" следует повернуть анализатор, установив его так, чтобы главное сечение было перпендикулярно биссектрисе угла P_1OP_{1KB} . Новое положение главной плоскости анализатора обозначено A_1OA_1 (рис. 7). Угол, на который нужно повернуть анализатор, по сравнению с его положением без раствора ψ , т.е. угол, на который оптически активный раствор сахара поворачивает вектора \vec{OP} и \vec{OP}_{KB} . Таким образом, по углу поворота анализатора при установке его на "по-

лутень" в случае, когда в трубке нет раствора и в случае, когда трубка заполнена раствором, можно определить угол поворота плоскости поляризации оптически активным раствором. Угол

$$\varphi = \varphi_1 - \varphi_0, \quad (3)$$

где φ_0 - отсчёт по лимбу без трубки с раствором, φ_1 - отсчёт по лимбу, когда трубка заполнена раствором.

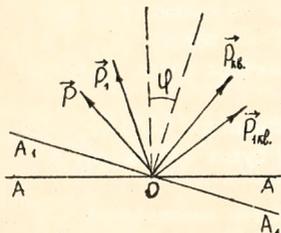


Рис. 7.

VI. Задания для самостоятельной работы.

I. Определение постоянной вращения сахарных растворов

а .

Для этого выключаем осветитель поляризатора и без трубки с раствором устанавливаем анализатор на "полутень" (см. измерение угла поворота плоскости поляризации). Повторяем измерения не менее трёх раз. Результаты отсчетов по лимбу угла φ_0 заносим в самостоятельно составленную таблицу. Среднее значение $\langle \varphi_0 \rangle$ используем для дальнейшего вычисления.

Помещаем в поляриметр поочерёдно трубки с сахарными растворами известной концентрации (не менее трёх трубок) и, повторяя для каждой трубки с раствором измерение не менее трёх раз, значения отсчетов угла поворота плоскости поляризации по лимбу φ_1 заносим в таблицу. По данным измерений вычисляем угол поворота плоскости поляризации каждым раствором $\varphi = \varphi_1 - \varphi_0$.

Строим на миллиметровой бумаге в самостоятельно выбранном масштабе график зависимости $\varphi = \varphi(c)$. Определяем тангенс угла наклона прямой (для этого берём приращение координат выбранного треугольника на графике). Разделив тангенс наклона на длину трубки, по-

лучим значение постоянной вращения сахарных растворов $[\alpha]$ в град/°·м.

2. Определение неизвестных концентраций сахарных растворов

Помещаем в поляриметр поочередно трубки с сахарным раствором неизвестной концентрации и, как в задании I, определяем угол поворота плоскости поляризации каждого раствора.

По графику $\varphi = \varphi(c)$ определяем неизвестные концентрации сахарных растворов в процентах. Для этих же растворов из формулы (I) $\varphi = \alpha c l$ вычисляем концентрации. Все результаты занести в таблицу и сравнить.

3. Определение постоянной Верде.

Включаем осветитель поляриметра с соленоидом. При выключенном соленоиде отсчитываем значение угла φ_0 , как в задании I.

Включаем выпрямитель, питающий соленоид, и устанавливаем значение тока по указанию преподавателя. Для данного тока измеряем значение отсчёта угла поворота плоскости поляризации по лимбу φ_1 .

Измерения повторяем для 5-6 значений тока. Рекомендуется выставлять вначале максимальное значение тока, а затем уменьшая ток, например, через I А, повторить измерения.

ВНИМАНИЕ! Соленоид при пропускании по нему тока греется, измерения необходимо проводить быстро и, по окончании их, выпрямитель сразу выключать.

Все результаты измерений занести в самостоятельно составленную таблицу и по формуле $\varphi_m = \varphi_1 - \varphi_0$ вычислить угол вращения плоскости поляризации магнитным полем.

По полученным данным построить график зависимости $\varphi_m = \varphi_m(i)$. Характер этой зависимости линейный. Так как $\varphi_m = V \ell H$, а напряженность магнитного поля внутри соленоида определяется как $H = k n i = k \frac{N}{\ell} i$,

где i - ток, питающий соленоид, N' - число витков соленоида. Тогда $\psi_m = kVN'i = AV'i$ (здесь A - постоянная установки), т.е. $\psi_m \sim i$.

По графику $\psi_m = \psi_m(i)$ определить тангенс наклона прямой, как в задании I и разделив его на постоянную установки A , вычислить постоянную Верде V для данного вещества.

Контрольные вопросы

1. Что такое естественный свет?
2. Что такое поляризованный свет?
3. Как получить поляризованный свет?
4. Объяснить вращение плоскости поляризации оптически активным раствором?
5. Эффект Фарадея.
6. Устройство кругового поляриметра.
7. Измерение угла поворота плоскости поляризации "полутеневым" методом.

Литература

1. Детлаф А.А., Яворский В.М. Курс физики, т.3, М., 1979, § 8.5.
2. Савельев И.В. Курс общей физики, т.2, М., 1978, § 141.
3. Лабораторный практикум по оптике, ЛИТМО, Л., 1979, стр. 74-83.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИСПЕРСИИ СТЕКЛЯННОЙ ПРИЗМЫ

I. Цель работы: Наблюдение линейчатых спектров испускания; определение показателей преломления оптического стекла для различных длин волн и построение кривой дисперсии этого стекла; определение дисперсионных характеристик призмы.

II. Приборы и принадлежности: гониометр – спектрометр ГС-5, ртутная лампа, призма с оптического стекла, вентильатор, миллиметровая бумага.

III. Введение.

Стеклоянная призма является диспергирующей системой: она разлагает исследуемый свет в спектр по длинам волн, что широко используют в различных спектральных приборах. Это свойство призмы обусловлено тем, что ее показатель преломления n зависит от длины волны λ света, и поэтому свет разных длин волн, проходя призмe, отклоняется на разные углы, т.е. пространственно разделяется.

Первые эксперименты по исследованию дисперсии света по способу преломления в призме были выполнены Ньютоном в 1672 году.

Классическая электронная теория объясняет дисперсию света следующим образом. Световая волна, как известно, представляет собой переменное электромагнитное поле высокой частоты, распространяющееся в вакууме с постоянной скоростью $c = 2,9979 \cdot 10^8 \frac{м}{с}$. При распространении света в веществе фазовая скорость / скорость распространения фаз колебаний / зависит от частоты световых колебаний, в то время как в вакууме фазовая скорость для всех частот одинакова. Дисперсия света является результатом взаимодействия электромагнитных волн с заряженными частицами, входящими в состав вещества. Обычно считают, что смешаются наиболее слабо связанные с ядром атома электроны, которые называют оптическими электронами. В процессе вынужденных колебаний электронов с частотой ν падающего на вещество

света периодически изменяются дипольные электрические моменты атомов и, следовательно, атомы и начинают излучать вторичные электромагнитные волны, частота которых также равна ν . Средние расстояния между частицами вещества во много раз меньше протяженности одного пуга волн. Поэтому вторичные волны, излучаемые весьма большим числом соседних атомов среды, когерентны как между собой, так и с первичной волной. При наложении, они интерферируют, причем результат интерференции зависит от соотношения их амплитуд и начальных фаз.

Расчеты показывают, что в однофазном изотропном веществе в результате интерференции образуется проходящая волна, фазовая скорость которой зависит от частоты, а направление распространения совпадает с направлением распространения первичной волны.

Следовательно, абсолютный показатель вещества $n = \frac{c}{v}$ зависит от частоты, а значит, и длины волны падающего света.

Для определения зависимости $n(\lambda)$ в случае призмы обычно используют метод, основанный на измерении угла наименьшего отклонения. Суть этого метода в следующем. Пусть луч света с длиной волны λ падает под некоторым углом i /рис. I/ на

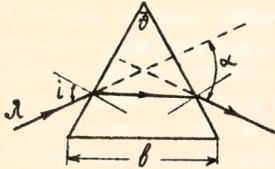


Рис. I

грань призмы с преломляющим углом ϑ . В результате двух преломлений вышедший из призмы луч отклоняется на угол α по отношению к падающему лучу. Угол α зависит от угла падения i , преломляющего угла ϑ призмы, а также от сорта стекла и длины волны света λ .

Можно показать, что при симметричном прохождении света через призму /как на рис. I/ угол отклонения минимален, α_{min} . В этом случае показатель преломления n определяется формулой

$$n = \frac{\sin \left[\frac{(\vartheta + \alpha_{min})}{2} \right]}{\sin \left(\frac{\vartheta}{2} \right)}, \quad /I/$$

где угол α_{min} зависит от λ . В данной работе используется призма с $\beta = 60^\circ$, и формула /1/ упрощается

$$n = 2 \sin \left(30 + \frac{\alpha_{min}}{2} \right). \quad /2/$$

Таким образом, определение показателя преломления для каждой длины волны сводится к измерению соответствующего угла наименьшего отклонения.

Призма, как и любой спектральный прибор, характеризуется двумя основными параметрами: угловой дисперсией и разрешающей способностью.

Угловая дисперсия - характеризует способность прибора пространственно разделять пучки лучей различных длин волн. Мемой угловой дисперсии является отношение $\frac{\Delta \alpha}{\Delta \lambda}$, где $\Delta \alpha$ - разность углов отклонения диспергированных световых пучков с длинами волн, отличающимися на $\Delta \lambda$. Для призмы с преломляющим углом $\beta = 60^\circ$ угловая дисперсия вблизи угла наименьшего отклонения определяется формулой:

$$\frac{\Delta \alpha}{\Delta \lambda} = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{n}{2}\right)^2}} \left| \frac{\Delta n}{\Delta \lambda} \right|, \quad /3/$$

где величина $\frac{\Delta n}{\Delta \lambda}$ называется дисперсией вещества /из которого сделана призма/.

Разрешающая способность характеризует способность прибора разделять /разрешать/ спектральные линии, мало отличающиеся по длинам волн. За меру разрешающей способности принимают отношение $\frac{\lambda}{\delta \lambda}$, где λ - длина волны спектральной линии, около которой производят измерения, а $\delta \lambda$ - наименьшая разность длин волн двух еще разрешаемых линий. Теоретически установлено, что разрешающая способность призмы ограничена /вследствие дифракции света/ величиной

$$\frac{\lambda}{\delta \lambda} = \delta \left| \frac{\Delta n}{\Delta \lambda} \right|, \quad /4/$$

где δ - основание призмы, вдоль которого распространяется свет /см. рис. I/.

IV. Описание установки. Работа выполняется на гониометре-спектрометре ГС-5 - приборе, предназначенном для точных измерений углов.

Оптическая схема установки показана на рис. 2. Здесь I - коллиматор, в передней фокальной плоскости которого располо-

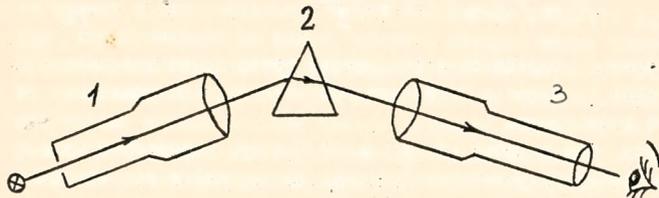


Рис. 2

жена узкая раздвижная щель; 2 - исследуемая призма; 3 - зрительная труба - в фокальной плоскости ее объектива образуется изображение входной щели коллиматора. Если свет содержит несколько длин волн, то образуется ряд изображений щели, соответствующих этим длинам волн /линейчатый спектр/. Наблюдают спектр через окуляр трубы.

Внешний вид гониометра показан на рис. 3. Здесь I - микрометрический винт, регулирующий ширину входной щели коллиматора; 2 - фокусировочный винт коллиматора; 3 - его фиксировочный винт; 4 - винт наклона столика; 5 - фиксировочный винт зрительной трубы; 6 - ее фокусировочный винт; 7 - окуляр трубы; 8 - лупа; через которую производят отсчеты по шкале лимба; находящегося внутри прибора; 9 - маховичок отсчетного микрометра; 10 - рукоятка для самостоятельного вращения лимба.

Зрительная труба укреплена на подвижном кронштейне - алидаде, которую можно поворачивать вокруг вертикальной оси, проходящей через центр предметного столика. Поворот трубы осуществляется от руки после освобождения стопорного винта II. При закрепленном винте II можно производить тонкое перемещение трубы - винтом I2. Рычажок I3 позволяет осуществлять совместное или раздельное перемещение трубы и лимба. Для совместного перемещения этот рычажок надо опустить.

Стопорный винт I4 служит для закрепления лимба на оси прибора. При этом винтом I5 можно осуществлять тонкое перемещение лимба. Стопорный винт I6 скрепляет столик с лимбом.

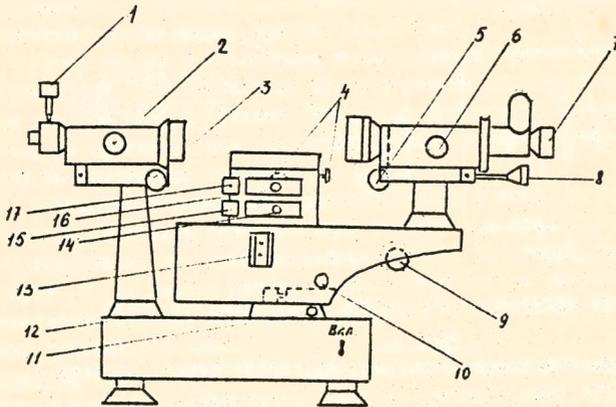
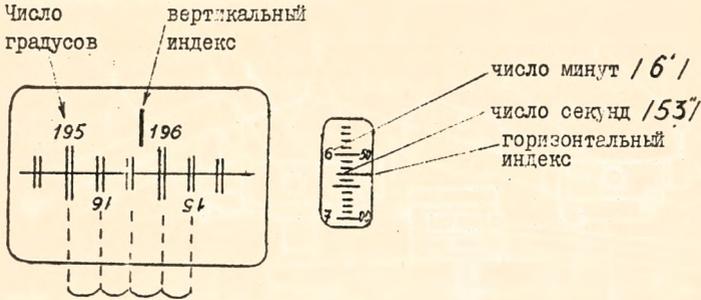


Рис. 3

Таким образом, столик может вращаться самостоятельно, совместно с лимбом при неподвижной зрительной трубе и, наконец, совместно с лимбом и трубой.

Лимб гониометра снабжен шкалой с делениями /двойными штрихами/. Цена деления $10'$. Оцифровка делений произведена через каждый градус.

Отсчет производится через лупу 8. Для этого надо повернуть маховичок 9 настолько, чтобы верхние и нижние двойные штрихи лимба в левом окне поля зрения лупы точно совместились, как показано на рис. 4. Тогда число градусов будет равно видимой ближайшей левой от вертикального индекса цифре верхней шкалы. Число десятков минут - число интервалов, заключенных между верхним двойным штрихом, соответствующим отсчитанному числу градусов, и нижним оцифрованным двойным штрихом, отличающимся на 180° . Число единиц минут отсчитывается по шкале в правом окне поля зрения по левому ряду чисел. Число секунд - в том же окне по правому ряду чисел с помощью неподвижного горизонтального индекса.



Число интервалов /4/ равно числу десятков минут

Рис. 4.

Положение, показанное на рис. 4., соответствует отсчету $195^{\circ}46'53''$.

Источник света - ртутная лампа. Ее наиболее характерные спектральные линии указаны на рис. 5.

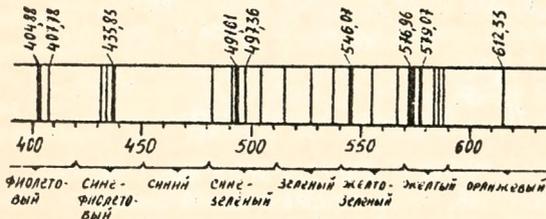


Рис. 5. Линейчатый спектр ртути /длины волн в нм/.

Для выполнения данной работы следует брать наиболее интенсивные линии, отмеченные на рисунке.

У. Подготовка гониометра к работе и пример измерения

Прежде, чем приступать к работе с гониометром, внимательно ознакомьтесь с назначением всех регулировок, используя рис. 3.

Внимание! Гониометр - прибор высокой точности. Малейшая неос-

торожность в обращении с прибором приводит к его разъюстировке или поломке. Все регулировки, обозначенные \otimes трогать запрещается. Запрещено прикасаться руками ко всем оптическим поверхностям /окуляры, призма, объективы/.

Снять крышки с объективов коллиматора и зрительной трубы и убедиться, что зрительная труба и столик вращаются вокруг оси прибора самостоятельно /для этого достаточно легким усилием, не применяя силы, поворачивать руками столик, а затем алипаду со зрительной трубой/.

С помощью выключателя, расположенного с левой стороны гониометра, включить осветительную систему прибора.

Убедиться, что лимб закреплен с осью. Для этого, наблюдая в лупу 8 за шкалой лимба, одновременно легким усилием поворачивать столик, если шкала остается неподвижной, значит лимб закреплен с осью.

Внимание! Если шкала лимба видна нечетко, нужно чистой тряпочкой протереть поверхность лупы и, вращая оправу лупы, сфокусировать изображение шкалы.

Если условия, изложенные выше не выполняются, следует обратиться к преподавателю /нужно проверить, чтобы винты II и I6 были освобождены, рычажок I3 был отпущен вверх и винт I4 закреплен/.

Вращением накатанного кольца окуляра трубы 7 добиться четкого изображения визирного креста в поле зрения окуляра.

Установить зрительную трубу навстречу коллиматору и убедиться, что в этом положении отсчет по шкале лимба не выходит за пределы интервала углов от 90° до 270° . В противном случае нужно нажать на рукоятку I0 и, вращая ее, ввести требуемый участок лимба /это нужно для того, чтобы при дальнейшем измерении не переходить через нуль шкалы лимба, что вызвало бы усложнение при определении разности отсчетов/.

Включить вентилятор обдува ртутной лампы.

Включить ртутную лампу, если лампа сразу не загорелась, необходимо нажать несколько раз пусковую кнопку.

Внимание! Ртутную лампу включать без вентилятора запрещается.

Установленную на столике призму с помощью пластинки, к которой она приклеена, ввести из поля зрения зрительной

трубы /прикасаться пальцами к поверхностям призмы нельзя/.

Убедиться, что по шкале коллиматора /она находится с противоположной стороны винта 2 / нуль установлен против ∞ /.

Этим самым мы устанавливаем цель коллиматора в фокальной плоскости его объектива.

Убедиться, что входная щель достаточно освещена. Затем поворотом зрительной трубы ввести изображение щели коллиматора в середину поля зрения и тщательно сфокусировать изображение щели винтом 6 . Оно должно быть достаточно узким и ярким.

Провести более тщательно совмещение вертикального штриха визирного креста с серединой изображения. После этого сделать отсчет по шкале лимба № /см.рис.4/. Операцию повторить не менее трех раз, каждый раз сбивая совмещение вертикального штриха с серединой изображения. Все данные занести в таблицу, оставленную самостоятельно.

Ввести исследуемую призму в пучок света, идущий от щели коллиматора.

Поворачивая от руки столик с призмой, глазом отыскать цветной спектр и в это направление ввести зрительную трубу.

С помощью фокусировочного винта 6 добиться, чтобы линии спектра в поле зрения были достаточно резкими.

Просмотреть в трубу весь спектр - от желтого дублета до яркой фиолетовой линии.

Проследить, чтобы середины линий расположились по горизонтали - горизонтальный штрих визирного креста при повороте трубы должен пересекать их по центрам. Если это не так /спектр перекошен/, отрегулировать наклон столика винтами 4 . После этого можно приступить к измерениям.

Наблюдая в неподвижную трубу, например, за желтым дублетом, поворачивать от руки в одном направлении столик с призмой. При этом линии будут перемещаться по полю зрения и в некоторый момент начнут двигаться в обратном направлении, не смотря на то, что вращение столика продолжается в прежнем направлении.

Если такой случай не наблюдается, хотя просмотрен в зри-

тельную трубу весь спектр, нужно глазом, вращая рукой столик, отыскать интересующий случай и в данное направление ввести зрительную трубу.

Момент изменения направления движения линии как раз и соответствует углу наименьшего отклонения α_{min} для этой линии.

Не меняя положения столика, совместить вертикальный штрих визирного креста с серединой линии. Тщательно сфокусировав линией винтом 6 и проведя более точное совмещение вертикального штриха с серединой линии, сделать отсчет по шкале лимба положения линии N .

Измерения повторить не менее трех раз, каждый раз сбывая настройку, все данные занести в таблицу.

VI. Задания для самостоятельной работы.

1. Определять зависимость $n(\lambda)$. Для этого, используя пример определения α_{min} , произвести отсчеты положения шели N_0 и наиболее ярких линий - N по шкале лимба гониометра /измерение провести не менее, чем для семи линий спектра/. Каждое измерение проводить не менее трех раз. Из разности отсчетов вычислить $\alpha_{min} = N - N_0$ для каждой линии спектра.

По формуле $n = 2 \sin(30^\circ + \frac{1}{2} \alpha_{min})$ вычислить соответствующие каждой длине волны показатели преломления n .

Все данные занести в таблицу, составленную самостоятельно.

2. По полученным данным на миллиметровке построить график зависимости показателя преломления n от длины волны λ . Обратит внимание при построении графика на выбор масштабов по осям координат.

3. Вычислить угловую дисперсию призмы по формуле /3/

$$\frac{\Delta \alpha}{\Delta \lambda} = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{n}{2}\right)^2}} \left| \frac{\Delta n}{\Delta \lambda} \right|$$

в угл. $\frac{мин}{мм}$ возле зеленой линии $\lambda_{г} = 546 \text{ нм}$. $\frac{\Delta n}{\Delta \lambda}$ - есть дисперсия вещества, из которого сделана призма; величину $\frac{\Delta n}{\Delta \lambda}$ необходимую для расчетов, найти из графика $n = n(\lambda)$, выделив на графике прямолинейный отрезок кривой возле зеленой линии.

4. Вычислить разрешающую способность призмы возле зеленой линии $\lambda_{г} = 546 \text{ нм}$ по формуле /4/ $\frac{\Delta \lambda}{\delta \lambda} = \beta \left| \frac{\Delta n}{\Delta \lambda} \right|$, где основание призмы $\beta = 25 \text{ мм}$. При вычислениях $\Delta \lambda$ и β выразить в метрах.

5. Продумайте возможные варианты расчета погрешностей.

Контрольные вопросы.

1. Физические причины дисперсии света.
2. Что характеризуют угловая дисперсия спектрального прибора и его разрешающая способность?
3. От чего зависят угловая дисперсия и разрешающая способность призмы?
4. Как установить призму на минимум отклонения для данной длины волны?
5. Как производится отсчет по лимбу гониометра?

Литература.

1. Деллаф А.А., Яворский Б.М., Курс физики, т.3, М., 1979, §§7.1, 7.2.
2. Ландсберг Г.С., Оптика, М., 1976, §§155, 156.
3. Иродов И.Е., Физический практикум, часть IV, Оптика, издание 3-е, М., 1975, стр. 20-28.
4. Методические указания к лабораторным работам по механике и молекулярной физике, выпуск II, Брест, 1981.

СОДЕРЖАНИЕ

Общие указания к выполнению лабораторных работ	3
Лабораторная работа № 3	
Изучение явлений вращения плоскости поляризации	4
Лабораторная работа № 4	
Исследование стеклянной призмы	17

Лабораторные работы по курсу физики. Частю УШ.
Волновая оптика.
Под общей редакцией Гладышова А.А.

Анатолий Антонович Гладышук

Таясия Антоновна Новикова

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

по курсу физики

Часть VII. Волновая оптика.

/ №№ 3,4. /

Подписано к печати 2.02.84 г. Формат 60x84 /16.
Печать офсетная. Объем 1,5 уч. изд. л. Тир. 500 экз.
Заказ № 40.э Бесплатно. Отпечатано на ротапинтере
Брестского инженерно-строительного института.
224017, г. Брест, ул. Московская, 267.