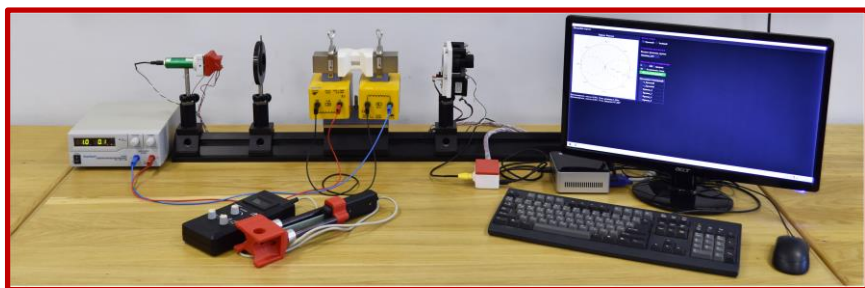


**Н.И. Пышков, С.Е. Свяховский, И.В. Митин,
А.М. Салецкий**

ОПТИКА
Лабораторный практикум

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА ФАРАДЕЯ



Москва
Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова
2025

УДК 537
ББК 22.33

Н.И. Пышков, С.Е. Сваховский, И.В. Митин, А.М. Салецкий

Оптика. Лабораторный практикум. Исследование эффекта Фарадея. Уч.-метод. Пособие. – М.: Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 2025. – 23 с.

Данное пособие содержит описание лабораторной работы «Исследование эффекта Фарадея» по дисциплине «Физика» и предназначено в помощь студентам, выполняющим лабораторные работы по разделу «Оптика».

Кратко изложена теория эффекта Фарадея, дано описание экспериментальной установки и методики проведения экспериментов, указан порядок обработки результатов. Для студентов физических специальностей университетов.

Рецензент: канд. физ.- мат наук, доцент *А.В. Быков*

© Коллектив авторов, 2025 г.

Цель работы

Исследование поворота плоскости поляризации света при его распространении в веществе вдоль направления намагниченности (эффект Фарадея). Определение постоянной Верде.

Идея эксперимента

С помощью вращающегося поляризатора измеряется поворот плоскости поляризации света в зависимости от индукции B приложенного к веществу продольного магнитного поля. Так как эффект зависит от частоты света, используются источники света с разными длинами волн.

Теория

Поляризация света. По волновой теории свет – это электромагнитная волна. Составляющие световой волны – векторы напряженности электрического поля \mathbf{E} и магнитного поля \mathbf{H} , синфазны и перпендикулярны друг к другу и к направлению скорости распространения волны \mathbf{v} : $\mathbf{E} \perp \mathbf{H} \perp \mathbf{v}$.

Пусть в веществе в направлении z распространяется плоская электромагнитная монохроматическая волна

$$\mathbf{E}(z, t) = (z, t) = \mathbf{E}_0 \cos(kz - \omega t + \phi). \quad (1)$$

Здесь E_0 – амплитуда поля, $k = \omega/v$ – проекция волнового вектора на ось z , ω – частота волны. Вектор \mathbf{E}_0 определяет поляризацию волны. Разложим $\mathbf{E}(z, t)$ по проекциям на координатные оси

$$\mathbf{E} = \begin{pmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_x = E_1 \cos(kz - \omega t + \phi_1) \\ E_y = E_1 \cos(kz - \omega t + \phi_2) \\ E_z = 0 \end{pmatrix}, \quad (2)$$

Разность фаз между E_x и E_y равна

$$(kz - \omega t + \phi_1) - (kz - \omega t + \phi_2) = \phi_1 - \phi_2 = \delta. \quad (3)$$

Исключая из первых двух уравнений системы (2) переменную составляющую фазы $\phi = kz - \omega t$, получаем:

$$\left(\frac{E_x}{E_2}\right)^2 + \left(\frac{E_y}{E_2}\right)^2 - 2\frac{E_x}{E_1}\frac{E_y}{E_2}\cos\delta = \sin^2\delta.$$

Это – *уравнение эллипса*, по которому движется конец светового вектора. Если $0 < \delta < \pi$, вращение происходит по часовой стрелке, а поляризация называется *правой* или положительной. Если $-\pi < \delta < 0$, то световой вектор вращается против часовой стрелки и такая поляризация называется *левой* или отрицательной. Если $\delta = 0$ или $\pm\pi$ эллипс вырождается в отрезок прямой линии и такая поляризация называется *линейной*. В случае $E_1 = E_2$ и $\delta = \pm\pi/2$, эллипс превращается в окружность, и такая волна называется *циркулярно поляризованной*, или поляризованной по кругу. На рис. 1а и 1б представлены волны с линейной и круговой поляризациями.

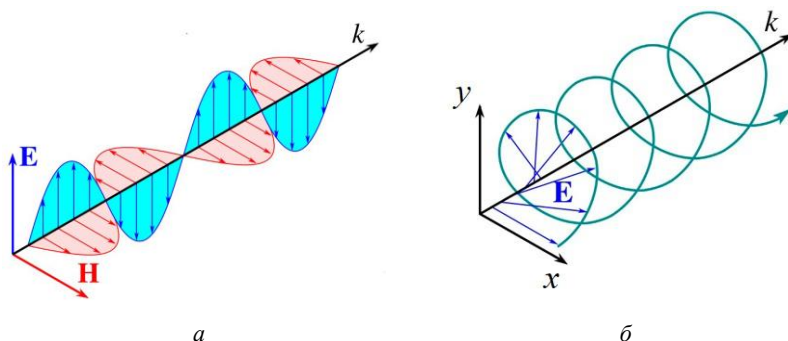


Рис. 1. Линейная (а) и круговая (б) поляризации света

Электрические поля в случае правой и левой циркулярной поляризации будут иметь вид:

$$\mathbf{E}_n = \begin{pmatrix} E\cos\phi \\ E\cos\left(\phi + \frac{\pi}{2}\right) \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E\cos\phi \\ E\sin\phi \\ 0 \end{pmatrix};$$

$$\mathbf{E}_л = \begin{pmatrix} E \cos \phi \\ E \cos \left(\phi - \frac{\pi}{2} \right) \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E \cos \phi \\ -E \sin \phi \\ 0 \end{pmatrix}. \quad (5)$$

Вращение плоскости поляризации света (оптическая активность) — явление, при котором распространение линейно поляризованного света в некоторых веществах сопровождается поворотом плоскости поляризации.

Различают естественную оптическую активность, когда поворот плоскости поляризации происходит при прохождении в среде в отсутствие внешних полей, и искусственную оптическую активность, когда поворот плоскости поляризации происходит во внешнем электромагнитном полях.

Естественная оптическая активность присуща оптически активным веществам, которые при прохождении через них плоскополяризованного света способны вращать его плоскость поляризации.

Помимо кристаллов двойное лучепреломление наблюдается в средах с наведенной анизотропией (в стеклах, жидкостях и др.), помещенных в электрическое поле (эффект Керра), в магнитном поле (эффект Фарадея, эффект Коттона — Мутона), под действием механических напряжений (фотоупругость) и т. п. Во всех этих случаях среда становится оптически анизотропной, причём оптическая ось параллельна направлению электрического поля, магнитного поля и т. п.

Эффект Фарадея — магнитооптический эффект, который заключается в том, что при распространении линейно поляризованного света через оптически неактивное вещество, находящееся в магнитном поле, наблюдается вращение плоскости поляризации света. Этот эффект был обнаружен М. Фарадеем в 1845 году. Это сложное явление впервые объяснил Френель, рассматривая линейно поляризованный свет как суперпозицию волн с круговой поляризацией противоположных знаков. Эффект Фарадея тесно связан с эффектом Зеемана, заключающимся в

расщеплении уровней энергии атомов в магнитном поле. При этом переходы между расщеплёнными уровнями происходят с испусканием фотонов правой и левой поляризации, что приводит к различным показателям преломления и коэффициентам поглощения для волн различной поляризации. Строгое описание эффекта Фарадея проводится в рамках квантовой механики.

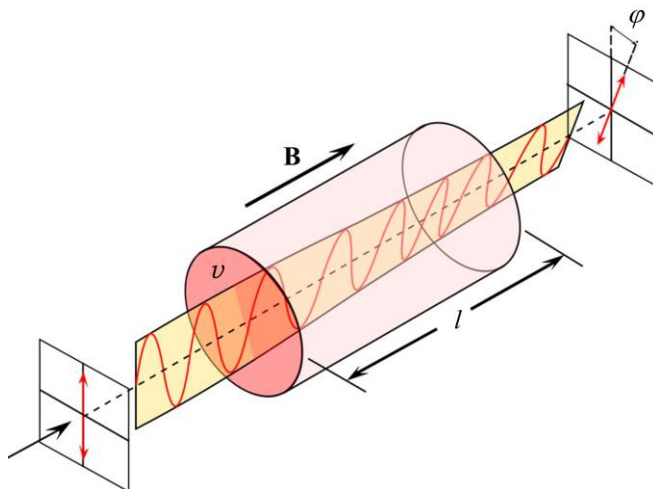


Рис. 2. Вращение плоскости поляризации света при его распространении в веществе вдоль направления намагниченности – эффект Фарадея

Оптически изотропные, прозрачные, немагнитные материалы становятся оптически активными в магнитном поле. Они поворачивают плоскость поляризации линейно поляризованного света, проходящего сквозь них в направлении магнитного поля, потому что вращающимся по часовой стрелке и против часовой стрелки составляющим света, имеющего круговую поляризацию, требуется разное время, чтобы пройти через материал. Этот эффект известен как эффект Фарадея (рис. 2).

Феноменологическое объяснение эффекта Фарадея аналогично тому, какое дал Френель явлению естественной оптической активности и заключается в следующем.

Линейно поляризованная световая волна в веществе может быть представлена как две волны с равными амплитудами \mathbf{E}_n и \mathbf{E}_l и частотой ω , поляризованных соответственно по правому и левому кругу, а скорости распространения волн $v_n = \frac{c}{n_n}$ и $v_l = \frac{c}{n_l}$ – различны (здесь c – скорость света в вакууме, n_n и n_l – показатели преломления для право- и левополяризованной волны). Поскольку амплитуды и частоты круговых составляющих одинаковы, вектор \mathbf{E} , равный сумме векторов \mathbf{E}_n и \mathbf{E}_l , в каждый момент будет лежать в одной и той же плоскости P (см. рис. 3).

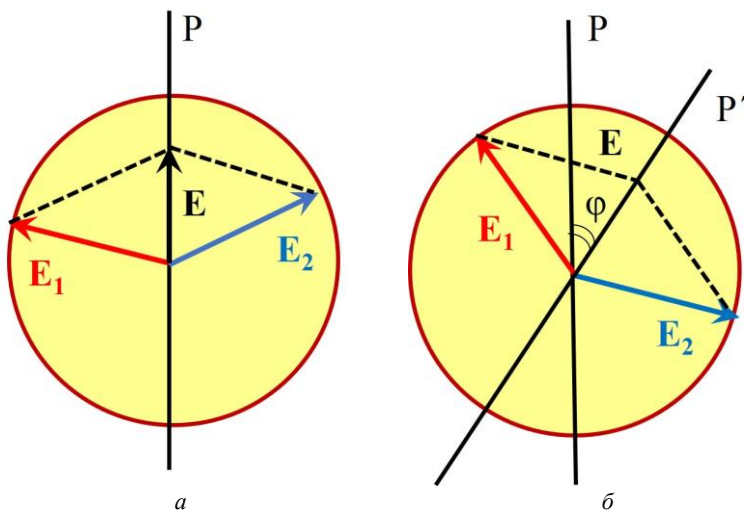


Рис. 3. Поворот плоскости поляризации линейно поляризованного света

Если скорости распространения круговых волн различны, то при прохождении пути l в веществе один из векторов (\mathbf{E}_n и \mathbf{E}_l) отстанет по фазе при своем вращении от другого вектора (см. рис. 4). В результате плоскость P' , в которой лежит результирующий вектор \mathbf{E}' , повернется относительно первоначальной ориентации на угол φ :

$$\varphi = \frac{\varphi_n - \varphi_l}{2}, \quad (6)$$

где φ_n и φ_l – фазы волн с правой и левой круговой поляризацией:

$$\varphi_{\pi} = \omega \left(e - \frac{l}{c/n_{\pi}} \right)$$

и

$$\varphi_{\pi} = \omega \left(e - \frac{l}{c/n_{\pi}} \right).$$

Учитывая, что $\frac{\omega}{c} = \frac{2\pi}{\lambda}$, формулу (6) можно переписать в следующем виде:

$$\varphi = \frac{\pi l}{\lambda} (n_{\pi} - n_{\pi}), \quad (7)$$

где λ – длины волны в вакууме.

Формула (7) показывает, что оптическая активность вещества объясняется их анизотропной структурой.

На этом аналогия между двумя явлениями заканчивается. Для объяснения механизма эффекта Фарадея необходимо учесть действие электромагнитной волны на излучающий электрон. Рассмотрим атом, в котором электрон вращается вокруг ядра с угловой скоростью ω . Если такой атом поместить в магнитное поле, то на электрон будет действовать сила $\mathbf{F} = e\mathbf{E} + [\mathbf{v}\mathbf{B}]$, где e – заряд электрона, \mathbf{v} – вектор его линейной орбитальной скорости. Второе слагаемое является силой Лоренца. Она вызывает прецессию электрона вокруг направления магнитного поля с частотой $\omega_L = \frac{eB}{2m}$. Вследствие этого при наблюдении вдоль

магнитного поля в спектре излучения появляются две частоты $\omega + \omega_L$ и $\omega - \omega_L$ вместо одной ω , проявляющейся в отсутствие поля.

Эти отличающиеся частоты можно связать с отличающимися показателями преломления материалов

$$n_{\pi} - n_{\pi} = n(\omega + \omega_L) - n(\omega - \omega_L) = -2\omega_L \frac{dn}{d\omega} = -\frac{e}{m} \frac{dn}{d\omega} B. \quad (8)$$

Из (8) для угла поворота находим:

$$\varphi = \frac{\pi l}{\lambda} (n_{\pi} - n_{\pi}) = -\frac{\pi e}{\lambda m} \frac{dn}{d\omega} B l$$

Угол поворота φ также пропорционален магнитному полю B и длине образца материала l , через который проходит свет:

$$\varphi = VBl. \quad (9)$$

Коэффициент пропорциональности V носит название *постоянной Верде*:

$$V = \frac{e\lambda}{2mc} \frac{dn}{d\lambda} \quad (10)$$

В видимой области спектра значение $\frac{dn}{d\lambda} < 0$. С учетом знака заряда электрона, из формулы (10) следует, что постоянная Верде V положительна, а вращение плоскости поляризации должно происходить вправо, если вести наблюдение в направлении поля. Этот вывод в основном подтверждается на опыте. Но бывают исключения, когда вращение происходит в противоположную сторону.

Направление вращения связано только с направлением магнитного поля \mathbf{B} . Знак угла поворота плоскости поляризации при эффекте Фарадея в отличие от естественной оптической активности не зависит от направления распространения света. Это свойство позволяет увеличить угол поворота плоскости поляризации за счет многократного прохождения света в образце.

Эта особенность эффекта Фарадея и его малая инерционность (10^{-9} с) является основой его широкого применения в лазерной технике и научных исследованиях.

Эксперимент

Экспериментальная установка

Блок - схема и элементы экспериментальной установки.

Блок - схема экспериментальной установке представлена на рис. 4, а ее внешний вид показан на рис. 5. Исследуемый образец 1 (стекло марки флинт) помещен в зазор электромагнита 2, подключенного к источнику питания 3. Для создания магнитного поля используется мощный электромагнит, в наконечниках которого имеются продольного отверстия для света. Наконечники сердечника имеют коническую форму для концентрации магнитного поля. Наконечники крепятся болтами (см. рис. 4). Для создания магнитного поля применяются две катушки индуктивности, рассчитанные на ток 5А каждая. Катушки подключаются к источнику тока параллельно.

Катушки имеют встроенное реле тепловой защиты. При длительной работе на высоком токе катушка может выключаться

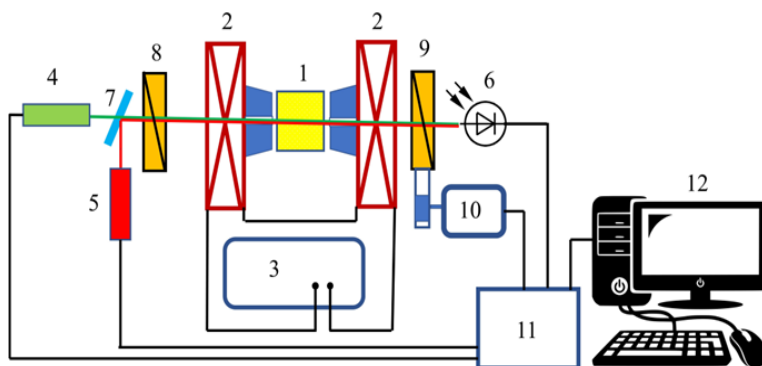


Рис. 4. Блок-схема экспериментальной установки

из-за перегрева, что будет заметно по падению величины проходящего тока до нуля. При отключении катушек следует подождать 10-15 минут до их остывания, после чего катушки восстановят свой функционал.

В качестве источников света используются два полупроводниковых лазера: «зеленый» 4 ($\lambda = 532 \pm 0,1$ нм) и «красный» 5 ($\lambda = 650 \pm 5$ нм). Излучение лазеров, прошедшее через образец, регистрируется фотодиодом 6. Излучение «зеленого» лазера попадает напрямую на фотодиод, а излучение «красного» лазера через поворотное зеркало 7. Включение того или другого лазера осуществляется компьютером 12 через модуль сопряжения 11.

Излучение лазеров неполяризовано. Поэтому для получения поляризованного излучения луч лазера проходит через поляризатор 8, который выделяет линейно поляризованную компоненту. Линейно - поляризованное излучение проходит через ячейку Фарадея. После неё луч света проходит через анализатор 9 и попадает на фотодиод 6. Анализатор вращается с помощью шагового двигателя 10, который управляется компьютером 12 через модуль сопряжения 11. Все элементы установлены на

оптической скамье (рис. 5). Измерение индукции магнитного поля осуществляется тесламетром 13.

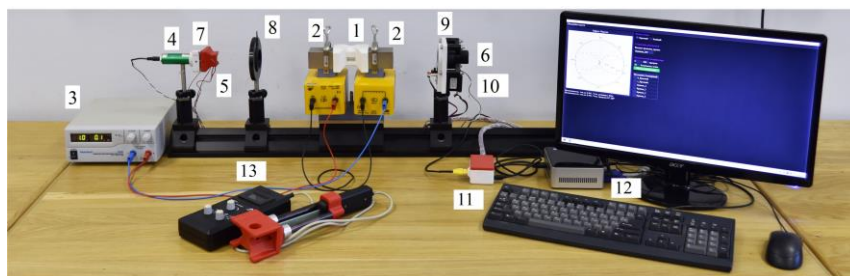


Рис. 5. Внешний вид установки

Управление экспериментом с помощью компьютера. Интерфейс управляющей программы показан на рис. 6. Имеется основное поле, на котором в полярных координатах изображается зависимость интенсивности сигнала фотодиода от угла поворота анализатора. Справа от поля с графиком находятся управляющие элементы интерфейса.

Интерфейс позволяет выбрать лазер для проведения эксперимента: красный (с длиной волны 633 нм) или зеленый (с длиной волны 532 нм). Выбранный лазер в начале эксперимента будет включён автоматически. Далее в программе следует ввести вашу фамилию и номер группы. Диапазон углов поворота анализатора по умолчанию составляет 0-360 градусов, количество экспериментальных точек 40. При необходимости можно увеличить число точек для повышения точности.

После выставления необходимых параметров имеется возможность нажать на кнопку «Начать эксперимент». Полученные экспериментальные данные сохраняются в виде текстовых файлов в папке с фамилией и группой студента на рабочем столе компьютера.

Последние 6 измеренных зависимостей могут быть выведены на экран одновременно в целях сравнения, что выполняется при помощи нажатия галочек в таблице «Индикатриса_0», «Индикатриса_1» и т.д.

ОБЯЗАТЕЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ПРИ РАБОТЕ С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКОЙ

- Лазер генерирует мощное оптическое излучение, способное повредить сетчатку глаза при освещении прямым пучком. Запрещено включать лазер, не закреплённый в держателе. Запрещено опускать глаза на уровень горизонтальной плоскости, в которой распространяется луч. Запрещено

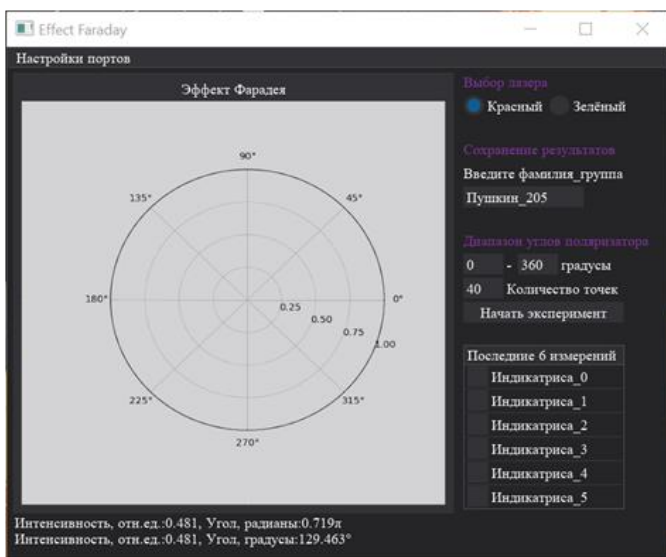


Рис. 6. Интерфейс управляющей программы

- настраивать лазерный луч, заглядывая глазом сквозь отверстие в полюсах электромагнита.
- Поле электромагнита достаточно сильное. Запрещено включать электромагнит при незакреплённых элементах. Полюса магнита должны быть зафиксированы крепёжными винтами.
- Катушки индуктивности рассчитаны на максимальный ток не более 5А в течение 7 минут. Катушки имеют встроенный предохранитель и защиту от перегрева. В случае нагрева

катушки выше температуры 85°C цепь катушки автоматически размыкается и не восстанавливается до её остывания. Остывание может занять длительное время, в течение которого выполнение задачи приостанавливается.

- Образец стекла имеет оптически гладкие полированные грани. Запрещено прикасаться к ним руками. Образец хрупкий, более хрупкий по сравнению с обычным оконным стеклом и существенно более хрупкий по сравнению со стеклянной посудой, в которой стекло обычно закалено. Образец нельзя ронять даже на стол. Образец закреплён в пластиковой оправе, обеспечивающей его защиту.

Проведение эксперимента

Упражнение 1. Калибровка электромагнита

В данном упражнении выполняется измерение зависимости индукции \mathbf{B} магнитного поля в зазоре электромагнита от силы тока в катушках электромагнита.

Измерения

1. Из зазора между электромагнитами извлеките оправу с образцом. Проверьте надёжность закрепления полюсов электромагнита. Поместите в зазор электромагнита датчик



Рис. 7. Тесламетр

тесламетра (рис. 7). Включите тесламетр поворотом ручки выбора измеряемой величины в крайнее правое положение $B(mT) DC$ (измеряется постоянное магнитное поле, создаваемое постоянным током). Рекомендуемый диапазон измерений 2000 мТл. Измеряемое при включении поле должно быть близко к нулю.

2. Подключите катушки электромагнита последовательно к выключенному источнику питания ((3) на рис.5). Для этого клемму «+» источника (рис. 8) соединить красным проводом с гнездом «0» на первой катушке, а клемму «-» источника – синим проводом с гнездом «900» на второй катушке (900 – это число витков катушки). Дополнительным черным проводом соедините гнездо «900» на первой катушке с гнездом «0» на второй катушке. Таким образом, постоянный ток от источника будет проходить последовательно через обе катушки.



Рис.8. Блок питания электромагнита

3. Используемый в задаче источник питания (рис. 8) имеет многооборотные ручки регулировки напряжения («voltage») и силы тока («current»). Источник должен работать в режиме стабилизации силы тока, для этого перед его включением надо ручку «current» повернуть на один-два полных оборота в сторону уменьшения.

4. Включите блок питания. После прогрева в течение 30 секунд значения напряжения и силы тока должны быть близки к нулю. Ручкой «current» установите нулевое значение силы тока.

Проверьте правильность положения ручки регулировки напряжения. При малом повороте ручки «voltage» на короткое время на лицевой панели должно появиться номинальное значение напряжения питания – примерно 32 В. При необходимости проведите регулировку напряжения до этого значения.

Так как сопротивление подключаемых катушек невелико (единицы Ом), то блок будет работать в режиме стабилизации силы тока (в правой части цифровой панели горят лампочки «с.с»). В дальнейшем следует вращать только ручку «current», значение подаваемого на катушки напряжения на лицевой панели будет показываться автоматически, оно будет меньше 32 В.

4. При нулевом значении силы тока в катушках поле, измеряемое тесламетром, должно быть близко к нулю.

5. Поворотом ручки «current» установите силу тока, равную 0,5 А. Запишите в рабочую тетрадь значения силы тока, напряжения на катушке и индукции магнитного поля. Проведите измерения с шагом 0,5 А до максимально возможного значения - чуть более 3 А. Измерения проводите максимально быстро, не допуская перегрева катушек. По окончании сразу же установите нулевое значение силы тока в катушках.

Таблица 1

Зависимость магнитного поля в зазоре электромагнита от силы тока

Сила тока (А)	Напряжение (В)	Индукция магнитного поля (мТ)	Сопротивление катушек (Ом)
0			
0,5			
1,0			
1,5			
2,0			
2,5			
3,0			

Обработка результатов

1. По результатам измерений постройте график зависимости индукции магнитного поля B от силы тока I в катушках. График используется при обработке последующих измерений.
2. Рассчитайте сопротивление катушек. Объясните зависимость сопротивления катушек от силы тока.

Упражнение 2. Исследование зависимости поворота плоскости поляризации от значения магнитной индукции.

Измерение

В данном упражнении выполняется измерение угла поворота плоскости поляризации излучения в зависимости от приложенного к образцу магнитного поля. Измерения выполняются для двух длин источников: зелёный лазер ($\lambda=532$ нм) и красный лазер ($\lambda=650$ нм). Длина образца составляет 20 мм.

1. Установите в зазор между полюсами электромагнита исследуемый образец – стекло в оправе.
2. Запустите на компьютере программу управления работой установки. Введите свою фамилию и номер группы. После выполнения первого измерения на рабочем столе появится соответствующая папка для файлов с результатами измерений.
3. Проверьте работоспособность зеленого и красного лазеров. Во избежании перегрева лазеры изначально выключены и автоматически включаются только на короткое время измерений. Но при нажатии на кнопку выбора любого из лазеров тот загорается примерно на одну секунду. Установка отъюстирована так, что лазерный луч последовательно проходит через поляризатор, отверстия в электромагните, анализатор и попадает на фотоприемник. Дополнительной настройки этих элементов не требуется.
3. Установите количество точек, равным 60. В этом случае шаг измерения по углу будет составлять $360/60 = 6$ градусов.
4. Проверьте, что включен блок питания катушек электромагнита, а ток установлен на нулевое значение.
5. Нажмите на кнопку «Начать эксперимент». Анализатор, вращение которого осуществляется с помощью шагового

двигателя, автоматически устанавливается в одно и то же (во всех экспериментах) начальное положение. Лазер включается на короткое время, в течение которого фотоприемник измеряет интенсивность излучения. Затем анализатор поворачивается на заданный угол, и процедура измерения повторяется. На экране в полярных координатах строится зависимость интенсивности излучения от угла поворота анализатора.

6. По окончании измерений (поворот на 360 градусов) результаты автоматически сохраняются в файл, имя которого указывается на экране. Углы поворота записываются в градусах, интенсивность нормируется на максимальное значение, т.е. лежит в пределах от нуля до единицы. В рабочей тетради следует указать имя файла и силу тока, при которой проводилось измерение. Файл с соответствующим названием появляется в списке **«Последние 6 измерений»**.

7. Увеличивая силу тока через катушки электромагнита каждый раз на 0,5 А, проведите серию измерений в соответствии с п.п. 5-6. Максимально возможное значение силы тока – чуть более 3 А. По окончании измерений незамедлительно уменьшите силу тока до нуля.

Отметим, что для используемого в установке образца угол поворота невелик – несколько градусов. Для визуального сравнения с результатами текущего измерения можно выбрать какие-либо файлы в списке последних измерений.

8. Далее следует изменить направление тока в катушках. Для этого при **нулевом значении силы тока (строго при нулевом!!!)** аккуратно вытащить из клемм «+» и «-» источника штекеры проводов и поменять их местами. Затем провести измерения с шагом 1 А в соответствии с п.п. 5-7.

По окончании измерений **при нулевом значении силы тока (строго при нулевом!!!)** снова поменять местами провода в клеммах «+» и «-» источника.

9. Выберите другой лазер, и для него проведите аналогичную серию измерений в соответствии с п.п. 5-8. По окончании измерений незамедлительно уменьшите силу тока до нуля и только затем выключите блок питания катушек.

Обработка результатов

При выполнении измерений были получены зависимости интенсивности сигнала фотодиода от угла поворота анализатора следующего вида:

$$I(\theta) = A \cdot \cos^2(\theta - \phi) = A \cdot \frac{1 + \cos 2(\theta - \phi)}{2}, \quad (11)$$

где θ – угол поворота анализатора, ϕ – угол между плоскостью поляризации излучения, падающего на фотоприемник, и начальным углом анализатора. В ходе обработки последнюю величину как раз необходимо найти. Это выполняется при помощи аппроксимации зависимости (11) гармонической функцией.

Для выполнения аппроксимации необходимо воспользоваться сторонним программным пакетом для построения графиков. Для примера в Приложении рассмотрены пакеты **OriginPro** и **SciDAVis**. Последний пакет является свободным и установлен на компьютере, управляющим установкой.

1. Определите по результатам обработки с использованием предлагаемых пакетов угол ϕ плоскости поляризации и его погрешность для результата каждого измерения. Рассчитайте угол поворота ψ плоскости поляризации относительно начального положения угла $\phi(B=0)$ про нулевом значении магнитного поля:

$$\psi = \phi(B) - \phi(B=0).$$

2. Для каждого лазера результаты обработки представьте в виде таблицы с указанием ранее измеренной индукции магнитного поля.

Таблица 2

Результаты измерений угла поворота плоскости поляризации

Зеленый лазер

Сила тока (А)	Индукция (мТ)	Имя файла	$\phi \pm \Delta\phi$, град	$\psi \pm \Delta\psi$, град
0				
0,5				
1,0				
1,5				
2,0				

2,5				
3,0				
-1				
-2				
-3				

Красный лазер

Сила тока (А)	Индукция (мТ)	Имя файла	$\phi \pm \Delta\phi$, град	$\psi \pm \Delta\psi$, град
0				
0,5				
1,0				
1,5				
2,0				
2,5				
3,0				
-1				
-2				
-3				

3. Постройте графики зависимости угла поворота ψ плоскости поляризации от индукции B магнитного поля для каждого лазера.
4. Используя МНК, найдите коэффициенты наклона графиков для каждой из двух длин волн и согласно (9) получите оценку постоянной Верде. Оцените погрешность.
5. Вычислите величину дисперсии стекла по формуле (10).

Итоги работы

По результатам работы должен быть получен градуировочный график электромагнита (зависимость магнитного поля от величины тока в электромагните), графики зависимости угла поворота плоскости поляризации от величины магнитной индукции для двух длин волн, а также значения постоянной Верде и дисперсии стекла.

Контрольные вопросы

1. При каких условиях плоскость поляризации света может поворачиваться?
2. В чём состоит эффект Фарадея?
3. Почему эффект Фарадея линеен по магнитному полю?
4. Какая характеристика вещества наиболее важна для наблюдения эффекта Фарадея?
5. Докажите, что суперпозиция пучков правой и левой круговой поляризацией эквивалентна пучку с линейной поляризацией.
6. Докажите, что при сдвиге фаз между правой и левой круговой поляризации плоскость поляризации линейно поляризованной волны поворачивается.

Литература

1. Матвеев А.Н. Оптика: Учеб. пособие для физ. спец. вузов. — М.: Высш. шк., 1985, §44.
2. Алешкевич В.А. Курс общей физики. Оптика. — М.: Физматлит, 2011, Лекция 20.

+ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1. Аппроксимация графиков в OriginPro

OriginPro является наиболее распространенной программой для построения и анализа графиков. Для аппроксимации произвольной функции требуется выполнить следующую последовательность действий:

1. Импортируйте данные в программу при помощи функции **File -> ImportASCII**
2. Постройте в полярных координатах график зависимости интенсивности сигнала фотодиода от угла поворота анализатора (рис. 9а).

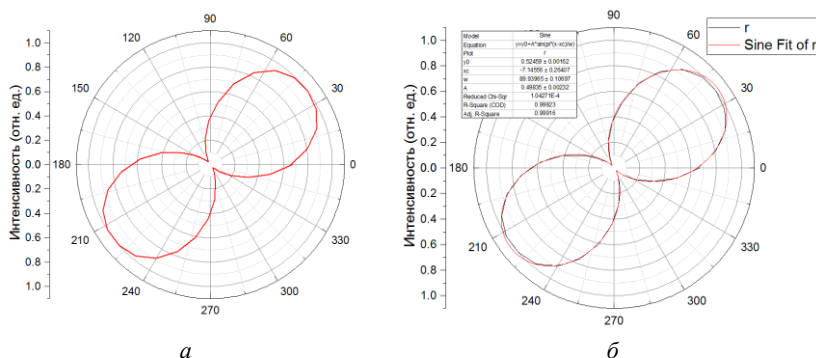


Рис. 9. а – измеренная зависимость интенсивности сигнала фотодиода от угла поворота анализатора, б – результат аппроксимации

3. Воспользуйтесь встроенной функцией аппроксимации (**Analysis -> Fitting -> Nonlinear Curve Fit -> Open dialog...**), выберите функцию **Sine** из набора **Basic Functions**. Эта функция соответствует формуле (12)

$$y = y_0 + A \sin\left(\pi \frac{x - x_c}{\omega}\right). \quad (12)$$

В другой программе формула может отличаться.

4. Результаты аппроксимации будут выведены на график в виде кривой и таблицы с параметрами (рис. 9б). Путем сопоставления полученной формулы с законом Малюса

$$I(\theta) = A \cdot \cos^2(\theta - \phi) = A \cdot \frac{1 + \cos 2(\theta - \phi)}{2} \quad (13)$$

найдите угол ϕ поворота плоскости поляризации. В рассматриваемом примере

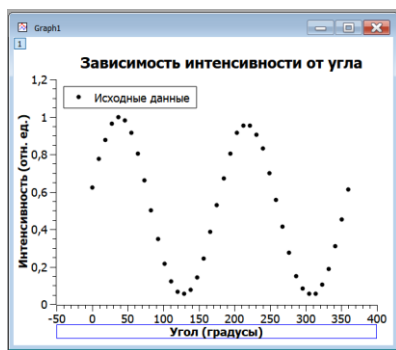
$$\phi = \frac{180}{\pi} \left(\frac{\chi c}{2\omega} + \frac{\pi}{4} \right) = 37^\circ. \quad (14)$$

- Погрешность для угла поворота плоскости поляризации вычисляется из погрешностей для величин χc и ω по формуле погрешности сложной функции.

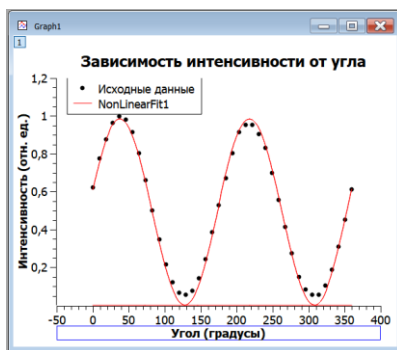
Приложение 2. Аппроксимация графиков в SciDAVis

SciDAVis – свободное программное обеспечение для построения и анализа графиков. Программа установлена на рабочем компьютере. Порядок работы следующий:

- При помощи функции **File -> ImportASCII** найдите на рабочем столе **Desktop** папку со своими файлами. Выберите первый файл для обработки. Нажав кнопку **OPEN**, импортируйте данный файл в программу.



а



б

Рис. 10. а – график исходных данных в программе SciDAVis. б – результат аппроксимации данных гармонической функцией

- Постройте график функции по точкам (рис. 10а). Для этого выделите два столбца с данными, нажав на их заголовки (**deg[X]** **r[Y]**). К сожалению, текущая версия программы не

умеет строить график в полярных координатах. Однако декартовы координаты также пригодны для наших целей.

3. Выберите инструмент для аппроксимации (**Analysis -> Fit Wizard**).
4. В появившемся окне составьте функцию вида $(1 + \cos((x - a) * 2 * 3.1416 / 180)) * b$, где a, b – параметры аппроксимации (a – нужный нам угол плоскости поляризации в градусах, b – множитель амплитуды). Множитель $3.1416/180$ введен для пересчета градусов в радианы. Нажмите **Fit>>**.
5. Введите начальные значения параметров. Параметр a примерно должен соответствовать ожидаемому углу поляризации, параметр $b = 0,5$. Нажмите **Fit**. В результате на графике должна появиться синусоида, аппроксимирующая экспериментальные данные (рис. 10б).
6. Введенные ранее значения параметров a и b должны измениться в результате аппроксимации. В основном окне программы появятся те же результаты с указанием погрешностей для каждого из коэффициентов, а также значения хи-квадрат и коэффициента корреляции.
7. Запишите значение коэффициента a и погрешность в табл. 2.