

Ярославский государственный педагогический
университет им. К. Д. Ушинского

Лабораторная работа № 17
Магнитное вращение
плоскости поляризации

Ярославль
2014

Оглавление

1.	Вопросы для подготовки к работе	3
2.	Краткая теория	3
3.	Описание установки	5
4.	Порядок выполнения работы	6
	Задание 1.	6
	Задание 2.	6
	Задание 3.	8
5.	Контрольные вопросы	9

Составители: В.К. Мухин, старший преподаватель кафедры общей физики
Г.В. Жусь, кандидат технических наук, доцент кафедры
общей физики

Лабораторная работа № 17

Магнитное вращение плоскости поляризации

Цель работы: наблюдение явления вращения плоскости поляризации света, проходящего через вещество, помещённое в магнитное поле; экспериментальное определение постоянной Верде.

Приборы и принадлежности: поляризационный сахариметр, соленоид с дистиллированной водой, выпрямитель, амперметр, реостат, переключатель, провода.

Литература:

1. Г.С. Ландсберг. Оптика. – М.: Наука, 1976.
2. М.И. Корсунский. Оптика, строение атома, атомное ядро. – М.: Наука, 1967.
3. Физический практикум. Электричество и оптика. Под редакцией В.И. Ивероновой. – М.: Наука, 1968.

1. Вопросы для подготовки к работе

1. Какой свет называется плоскополяризованным?
2. Как получить плоскополяризованный свет?
3. Какие вещества называются оптически активными? (Приведите примеры)
4. Принцип работы сахариметра (лабораторная работа № 15).
5. Является ли оптически активным веществом дистиллированная вода?

2. Краткая теория

В 1846 году М. Фарадею удалось обнаружить вращение плоскости поляризации в оптических неактивных телах, возникающее под действием магнитного поля. Значение этого открытия в истории физики велико. Это было первое явление, в котором обнаружилась связь между оптическими и электромагнитными явлениями. Сам Фарадей

считал, что ему удалось обнаружить непосредственное влияние магнитного поля на свет.

В действительности, однако, явление магнитного вращения плоскости поляризации имеет другой характер. Магнитное поле не действует непосредственно на свет, а действует на вещество, через которое свет проходит. В вакууме, в магнитном поле вращения плоскости поляризации не происходит. Однако вещества, не являющиеся оптически активными, под действием магнитного поля становятся таковыми. Они приобретают способность вращать плоскость поляризации.

Для наблюдения магнитного вращения плоскости поляризации служит установка, схематически изображённая на рис. 2.1.

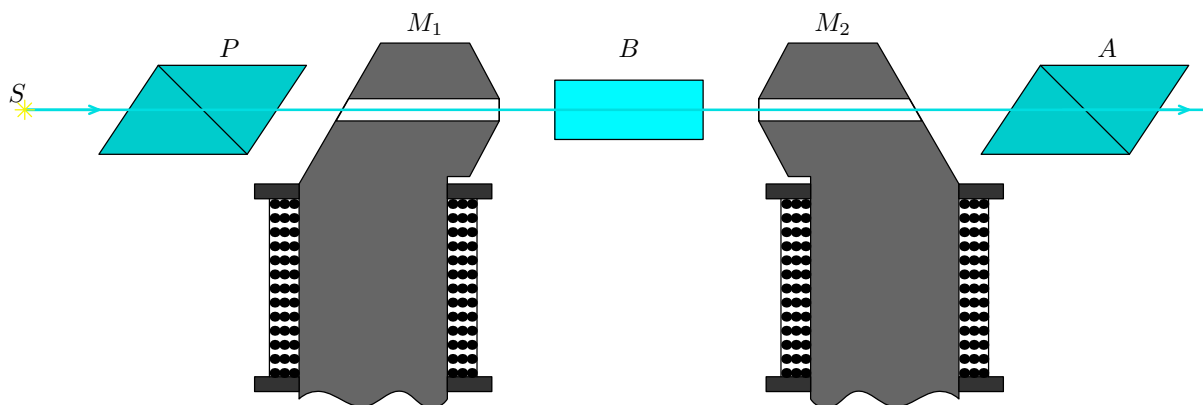


Рис. 2.1

Исследуемое вещество B , не являющееся оптически активным, помещается между полюсами M_1 и M_2 сильного электромагнита. Плоскополяризованный свет пропускается через вещество так, чтобы направление распространения света совпало с направлением магнитного поля. (Для этого полюса электромагнита просверлены.) Поляризующие призмы P и A выполняют обычные функции: P – поляризатор, A – анализатор. Они устанавливаются так, чтобы поле зрения было тёмным. При включении магнитного поля тёмное поле зрения светлеет. Поворотом анализатора A на угол φ вновь удаётся получить тёмное поле зрения, что означает, что при включённом магнитном поле исследуемое вещество B поворачивает плоскость поляризации на угол φ .

Было установлено, что угол φ поворота плоскости поляризации пропорционален длине пути ℓ , проходимой светом в веществе, и на-

3. Описание установки

пряжённости магнитного поля H .

$$\varphi = R\ell H. \quad (2.1)$$

Коэффициент R называется постоянной Верде или удельным магнитным вращением.

Для подавляющего большинства веществ вращение происходит в ту сторону, в какую навиты витки электромагнита (положительно-вращающие вещества). Встречаются, однако, и вещества, вращающие плоскость поляризации в противоположную сторону (отрицательно-вращающие вещества).

Вращение плоскости поляризации в магнитном поле обусловлено тем, что под влиянием магнитного поля электроны, входящие в состав атомов и молекул, испытывают прецессию, благодаря чему скорости распространения волн, поляризованных по часовой стрелке и против часовой стрелки, оказываются в этой среде различными. Последнее обстоятельство и приводит к повороту плоскости поляризации.

3. Описание установки

Принципиальная схема экспериментальной установки изображена на рис. 3.1.

В качестве исследуемого вещества используется дистиллированная вода, помещённая в поляриметрическую кювету. Магнитное поле создаётся соленоидом L , который размещен на этой же кювете. Угол поворота плоскости поляризации измеряется универсальным сахариметром СУ-3 (его описание см. в лабораторной работе № 15). Ток в соленоиде можно изменять как скачками (переключателем на выпрямителе), так и плавно (реостатом R).

Для изменения направления тока через соленоид предназначен переключатель Π , а для измерения его величины — амперметр.

Следует отметить, что сахариметр проградуирован в градусах сахарной шкалы.

$$1^\circ S = 0,3462 \text{ угловых градуса.}$$

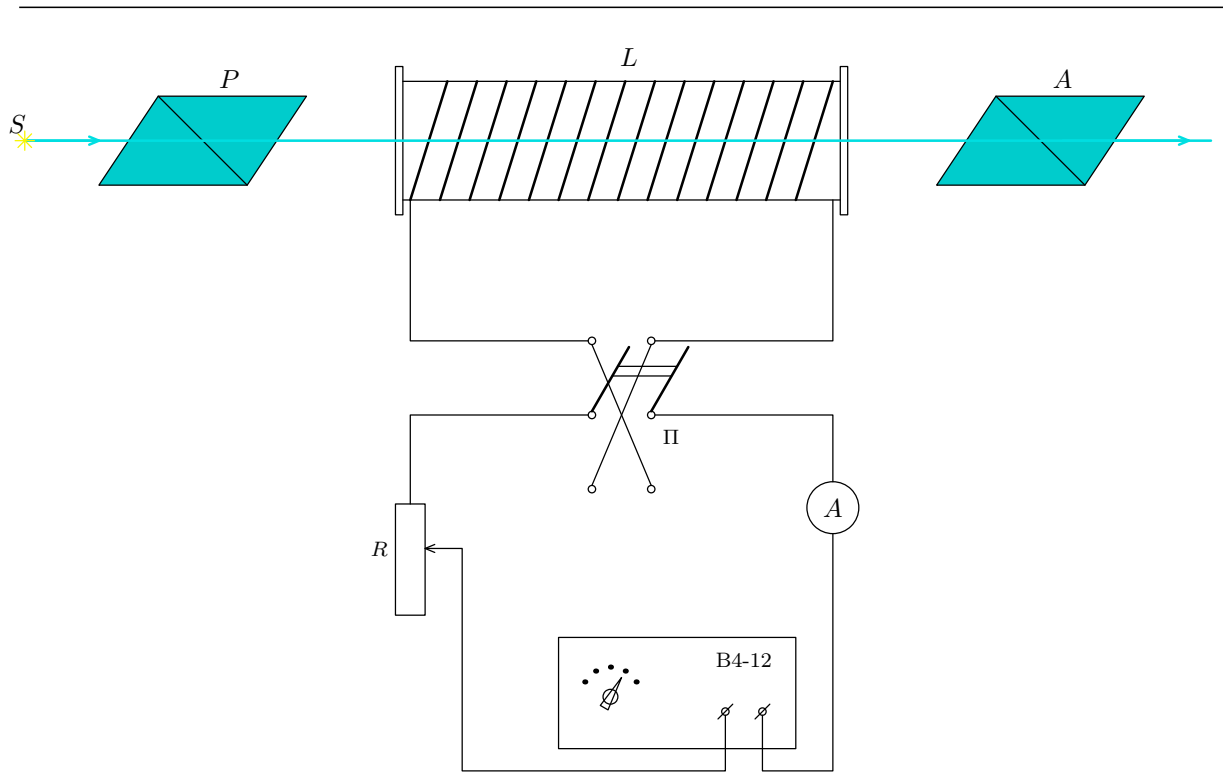


Рис. 3.1

4. Порядок выполнения работы

Задание 1. Ознакомьтесь с описанием и конструкцией экспериментальной установки. Соберите электрическую схему.

Задание 2. Экспериментальное определение постоянной Верде.

Соленоид с дистиллированной водой поместите в сахариметр и при разомкнутой цепи настройте анализатор. Отсчётное устройство при этом должно стоять в положении $0^\circ S'$ (возможны отклонения на $\pm 0,2^\circ S$).

Замкните цепь и установите силу тока $I = 0,5 \text{ A}$. Вращая анализатор, определите угол φ'_1 , на который повернулась плоскость поляризации. Переключателем П измените направление тока и определите угол φ''_1 . Окончательный угол поворота плоскости поляризации равен:

$$\varphi'_1 = \frac{|\varphi'_1| + |\varphi''_1|}{2}.$$

Измерения при заданном значении тока повторите не менее 3 раз.

4. Порядок выполнения работы

Напряжённость магнитного поля вычислите по формуле:

$$H = 0,95 \frac{NI}{a} \left(\frac{A}{м} \right),$$

- где $N = 3400$ — число витков провода в соленоиде,
 $a = 0,38 м$ — длина соленоида (в данной установке $a \neq \ell$),
 I — величина тока в соленоиде,
 $0,95$ — коэффициент, учитывающий непостоянство H на концах соленоида.

Измерения проведите не менее, чем при 5 значениях тока в пределах $0,5 А \leq I \leq 1,5 А$.

Результаты измерений и вычислений удобно занести в таблицу 1.

Таблица 1

$I(A)$	$H \left(\frac{A}{м} \right)$	$\varphi' \circ S$	$\varphi'' \circ S$	$\varphi_i \circ S$	φ_i	$\Delta\varphi_i$	$\Delta\varphi$
0,5							
		X	X	X	$\overline{\varphi_i}$	X	
0,8							
		X	X	X	$\overline{\varphi_i}$	X	
и т.д.							

$$\Delta\varphi = t_{\alpha n} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta\varphi_i)^2}{n(n-1)}}, \quad \text{при } \alpha = \dots$$

(Удобно брать $\alpha = \frac{2}{3}$, так как при этом $t_{\alpha n} \approx 1$.)

Постройте график зависимости $\varphi = f(H)$, откладывая на нём и средние квадратичные ошибки $\Delta\varphi$ (рис. 4.1).

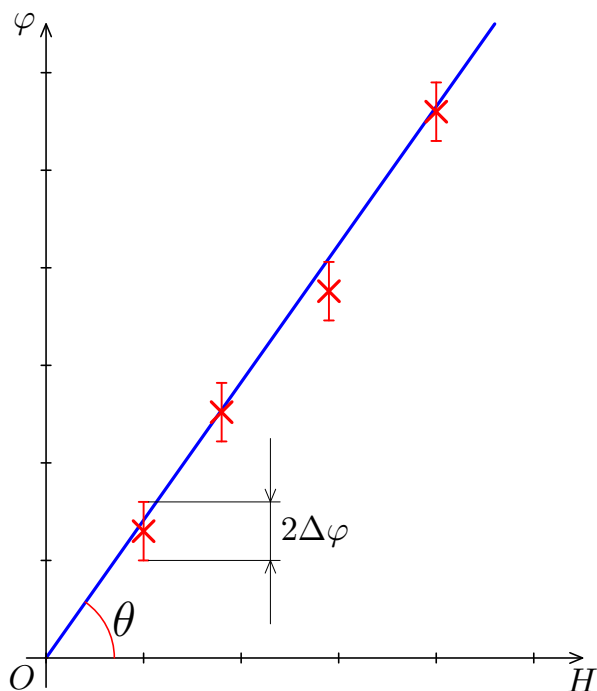


Рис. 4.1

По графику определите $\operatorname{tg} \theta$ и, окончательно, постоянную Верде

$$R = \frac{1}{\ell} \operatorname{tg} \theta,$$

где $\ell = 0,4 \text{ м}$ — длина пути света в веществе (воде).

При определении R мы учитываем только ошибки $\Delta\varphi$, так как ошибки в определении ℓ и H существенно меньше.

При достаточном количестве точек на экспериментальной прямой можно графически определить ошибку ΔR . Для этого график разбивают на три равные части и самую левую (ближе к началу координат) часть во внимание не принимают. Затем нужно провести через начало координат две прямые так, чтобы выше одной из них лежало $\frac{2}{3}$ точек, а выше другой — $\frac{1}{3}$. По этим прямым определяется R_1 и R_2 , а также $\Delta R' = |R_1 - R_2|$. Стандартная (средняя квадратичная) ошибка находится по формуле:

$$\Delta R = \frac{\Delta R'}{\sqrt{n}},$$

где n — полное число точек на графике.

Задание 3. Определение $\frac{e}{m}$ частиц, обуславливающих магнитное вращение плоскости поляризации.

Используя теоретическое выражение для постоянной Верде

Гауссова система единиц:
$$R = \frac{e}{m} \cdot \frac{\lambda}{2c^2} \cdot \frac{\partial n}{\partial \lambda}$$

СИ:
$$R = \frac{\mu_0 e}{2mc} \cdot \lambda \cdot \frac{\partial n}{\partial \lambda}$$

5. Контрольные вопросы

найдите отношение $\frac{e}{m}$ для частиц, определяющих оптическую дисперсию (а, следовательно, и магнитное вращение плоскости поляризации) вещества. В последней формуле m и e — соответственно масса и заряд частиц, c — скорость света в вакууме, λ — длина световой волны, $\frac{\partial n}{\partial \lambda}$ — производная показателя преломления вещества по длине волны. Значение $\frac{\partial n}{\partial \lambda}$ для воды вблизи длины волны $\lambda = 6000 \text{ \AA}$ равно $3 \cdot 10^{-6} \text{ \AA}^{-1}$. Надо иметь в виду, что приведённая формула точно справедлива для атомарных газов. Поэтому в нашем случае она может дать только правильный порядок величины $\frac{e}{m}$ для частиц, ответственных за дисперсию в оптической области спектра.

Однако полученное значение $\frac{e}{m}$ всё же позволяет однозначно установить, что явление вращения плоскости поляризации в магнитном поле обязано своим происхождением воздействию магнитного поля на электроны вещества.

5. Контрольные вопросы

1. В чём заключается эффект Фарадея?
2. От чего зависит угол поворота плоскости поляризации?
3. Какой физический смысл имеет постоянная Верде?
4. Какие частицы вызывают оптический эффект? (Ответ дать руководствуясь вычисленным значением $\frac{e}{m}$.)