

Ефект на Фарадей

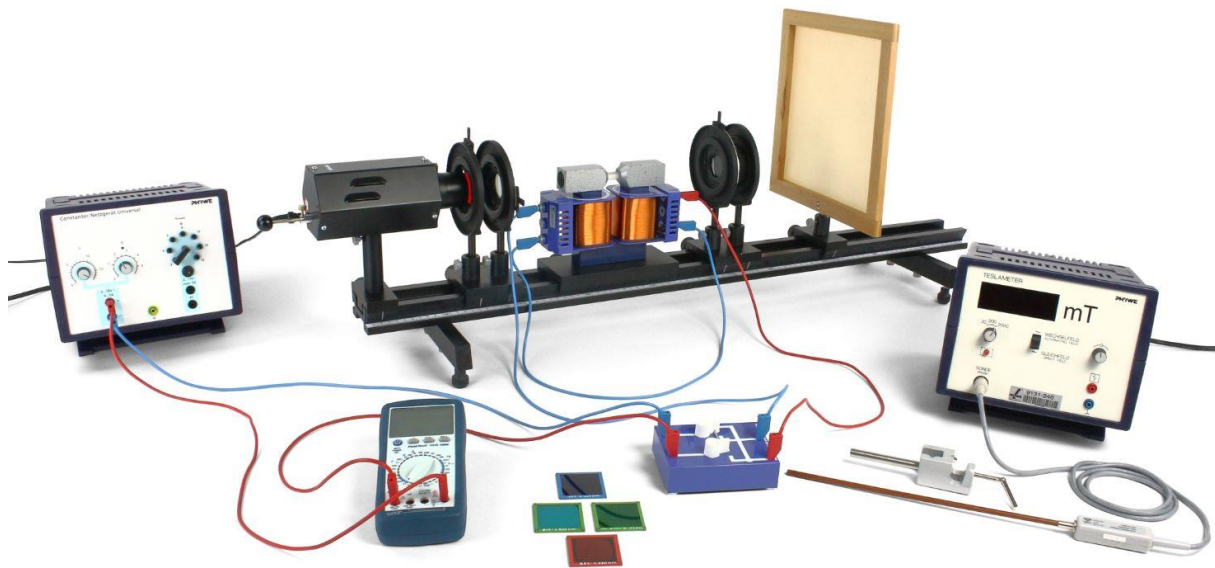
Цел: Да се изследва въртенето на поляризацията на линейно поляризирана светлина, разпространяваща се в стъкло в посока на силовите линии на магнитно поле.

Теоретична част:

Когато линейно поляризирана светлина (плоска електромагнитна вълна) се разпространява във вещество в посока, успоредна на силовите линии на еднородно магнитно поле с индукция B , се оказва, че направлението на поляризация се завърта на ъгъл φ , пропорционален на изминатия път L във веществото и на големината на индукцията B на магнитното поле, $\varphi = V \cdot B \cdot L$. Константата на пропорционалност V се нарича константа на Верде (Verdet). В нулево приближение тя може да се приеме за константа за това вещество. При опити с монохроматична светлина с различна дължина на вълната λ се оказва обаче, че тази константа има дисперсия, $V = V(\lambda)$.

Експериментална част:

Експерименталната установка е дадена на фигурата по-долу.



Източникът на светлина е LED лампа, даваща „бяла“ светлина. С лоста от задната ѝ страна може да се регулира разходимостта/сходимостта на светлинния сноп. Тази светлина може частично да се „монохроматизира“ с помощта на цветни филтри. Техните характеристики са дадени в таблицата по-долу:

Цвят	Прозорец на пропускане, nm	Коефициент на пропускане, %	„Ефективна“ дължина на вълната, nm
Лилав	360-460	16	440
Синьо-зелен	400-560	63	505
Зелен	480-570	45	525
Жълт	560-630	19	580
Червен	>630	93	595

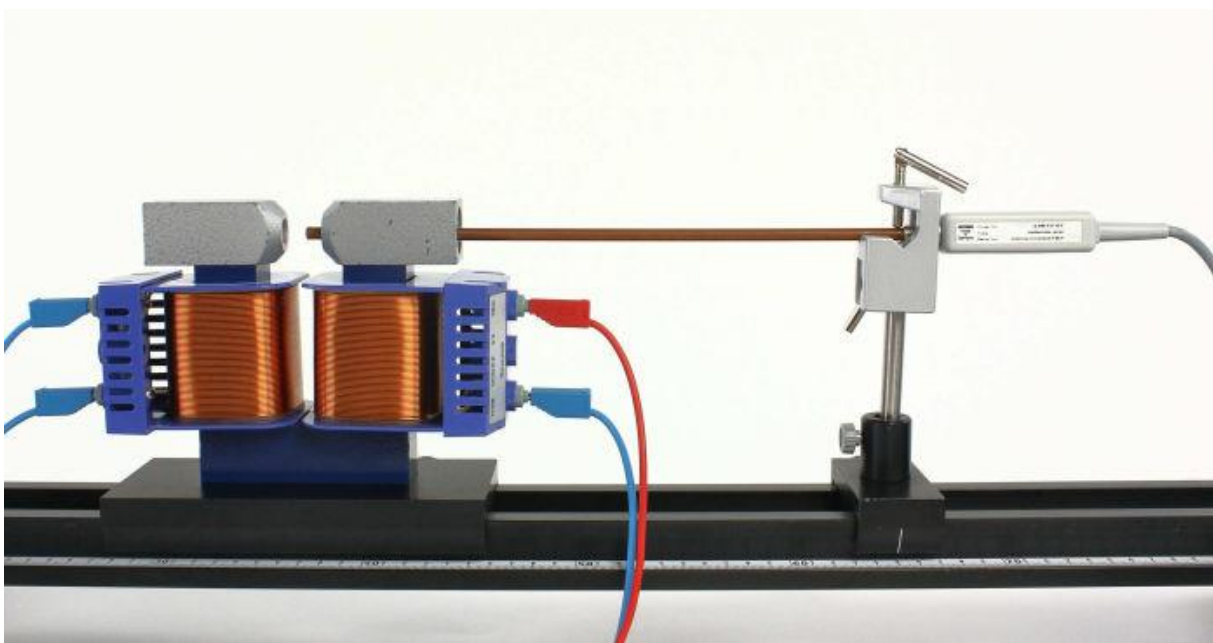
Неполяризираната светлина на лампата може да се поляризира линейно с помощта на поляризатор. Магнитното поле се създава от верига, съставена от токоизправител, амперметър, двоен ключ и два електромагнита с общ магнитопровод. Токоизправителят работи в режим „генератор на ток“, т.е. потенциометърът за напрежението трябва да е усилен докрай, а потенциометърът за ток първоначално намален докрай. В коничните крайници на магнитопровода има кухини, където се поставя изследвания образец – стъклен цилиндър с дължина $L = 30$ mm и диаметър $d = 11$ mm, направен от оловно стъкло. С втори поляризатор може да се изследва ориентацията на линейно поляризираната светлина. Със събирателна леща преминалата светлина се фокусира върху бял екран. Всички елементи са поставени на стойки, които могат да се местят по оптична релса. На релсата има скала в mm. Индукцията на магнитното поле се измерва с тесламетър. Сензорът (Холов сензор) му е с размер наколко mm и е на върха на тънка пръчка. Приборът се използва на обхват 200 mT. Предварително му се наглася „нулата“ от потенциометъра.

Експериментални задачи:

1. Измерване на профила на големината на индукцията на магнитното поле по оста на магнитопровода (на мястото на образца).

На мястото, където се поставя образца, магнитното поле не е еднородно заради коничната форма на феромагнитните крайници и кухините им и се променя много. Тъй като ефектът на Фарадей е линеен по магнитно поле, т.е. $d\varphi = V \cdot B(l)dl$, то $\varphi = V \int_0^L B(l)dl = V\bar{B}L$, където $\bar{B} = \frac{1}{L} \int_0^L B(l)dl$. Затова трябва да се определи профила на магнитното поле по оста на магнитопровода (на мястото на образца) и да се изчисли средната големина \bar{B} на индукцията. Първо се махат екрана, събирателната леща и втория поляризатор. На тяхно място се слага пръчката със сензора на тесламетъра (виж по-долу). Пръчката е чуплива и не се стяга силно! Стойката първо се поставя така, че сензорът да е точно в средата между коничните крайници. Ако положението на стойката е x_0 , измерва се зависимостта на индукцията от положението x в интервал $[x_0 - 2 \text{ cm}, x_0 + 2 \text{ cm}]$ със стъпка 2 mm. Правят се серия измервания за токове от 0 до 3.0 A със стъпка 0.5 A. Чертаят се графиките $B(x, I) = f(x)$. От тях се определя средната индукция $\bar{B}(I)$ за интервал от 3.0 cm около максимума (колкото е дължината на образца). След това се чертае зависимостта на средната индукция \bar{B} от тока I . Тя може и да не е пропорционалност, защото в

установката има феромагнитни части, които може при тези полета да са близо до насищане.



2. Измерване на константата на Верде за „бяла светлина“.

Нека първо предположим, че константата на Верде е постоянна в целия видим диапазон и да направим експеримент с бяла светлина (без цветен филтър). Поставаме втория поляризатор (анализатор), лещата и екрана отново на стойките им на оптичната релса. Поставаме и образеца в кухините между феромагнитните накрайници. Първо регулираме лоста на лампата, така че добре да осветява входа на близкия накрайник. След това регулираме положението на екрана, така че фокусираното петно от лещата върху него да има минимални размери и да е най-ярко. Токът през електромагнита ще има стойности между 0 А и 3 А. Не се допуска продължително да тече ток над 2 А през електромагнитите. От време на време ги пипайте и ако са горещи, веднага намалете тока. Трябва да се измери ъгъла на завъртане на поляризацията на светлината при различни токове (от 0 А до 3.0 А със стъпка 0.5 А) Поставете анализатора на ъгъл 0° . Пускате желания ток. Нагласявате положението на първия поляризатор такава, че петното на екрана да изчезне (или да е най-слабо). След това намлявате тока до нула, сменяте му посока с двойния ключ и отново го увеличавате до желаната стойност. Въртите анализатора, докато петното отново изчезне. Отчитате ъгъла от анализатора – това е 2 пъти ъгълът на въртене. От зависимостта $2\varphi = f(B)$ изчислявате константата на Верде V .

3. Измерване на константата на Верде за различни „монохроматични“ светлини (измерване на дисперсията на $V = V(\lambda)$.)

Повтарят се измерванията от зад. 2, но сега при пет вида „монохроматична“ светлина (с петте цветни филтъра). Поставете един от филтрите (препоръчва се да се използват в последователност жълт, синьозелен, червен, виолетов, зелен – от най-ярка към най-слаба картина). Изчислявате експериментално измерената константа на Верде за съответните дължини на вълните.

Сравнявайте я с емпиричната зависимост $V(\lambda)$, дадена от формулата по-долу. Чертаете графика с емпиричната зависимост и Вашите изчислени стойности за съответните дължини на вълните.

Допълнителна информация:

За образеца оловно стъкло (тип SF6) е дадена следната емпрична зависимост за $V(\lambda)$:

$$V(\lambda) = \frac{\pi}{\lambda} \cdot \left(\frac{n^2(\lambda)-1}{n(\lambda)} \right) \cdot \left(A + \frac{B}{\lambda^2 - \lambda_0^2} \right), \text{ където}$$

$$A = 15,71 \cdot 10^{-7} \text{ rad/T}, B = 6,34 \cdot 10^{-19} \text{ rad.m}^2/\text{T}, \lambda_0 = 156.6 \text{ nm}$$

$$n(440 \text{ nm}) = 1.84, n(660 \text{ nm}) = 1.80.$$

Въпроси:

1. Обяснете формата на зависимостта на средната индукция \bar{B} от тока I . Къде е закривена и защо по този начин?
2. Защо в кухините на феромагнитните крайници магнитната индукция намалява толкова много? Начертайте как си представяте силовите линии на магнитното поле в района около образеца.
3. В коя посока се завърта поляризацията – положителната или отрицателната?
4. Внася ли магнитното поле на Земята систематична грешка в измерванията?
5. Сензорът на тесламетъра насочен ли е (зависят ли показанията му от ориентацията му спрямо силовите линии на магнитното поле)?
6. Как получихте зависимостта $n(\lambda)$ от предоставените данни?

изготвил:

/проф. Мирослав Абрашев/