

Faraday 效應

【目的】

1. 觀察線偏振光在磁場中偏振面的旋轉，並決定玻璃的Verdet常數。
2. 決定偏振面的旋轉與磁場強度間的關係。

【原理】

如果一透明的均向性物質放在強磁場中，而一線偏振光沿磁場方向通過它，則偏振面的方向會旋轉角，此現象稱為 Faraday 效應。由實驗可得以下關係：

$$\Phi = B I V$$

Φ ：偏振面旋轉角度

I ：光線通過物質的路徑長

V ：Verdet 常數

B ：磁場強度

據 Fresnel 旋光性解釋：任一線偏振光可分解為兩個左、右旋圓偏振的光， σ_R 、 σ_L 。在原子物理中，磁場造成振動的電荷進動，而進動的頻率等於 Lamor 頻率：

$$\omega_L = \frac{e}{m} \cdot B$$

e 、 m ：振動電荷的電量與質量

B ：磁場強度

偏振光的 σ_R 及 σ_L 兩個部分對於進動的電荷有不同的頻率，一是 $\omega + \omega_L$ ，另一個則是 $\omega - \omega_L$ 而折射率分別為 n_R 、 n_L 相速則為 V_R 、 V_L

現一線偏振光，以 Jones' s 矩陣表示為

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -i & i \end{bmatrix} + \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 \\ i \end{bmatrix}$$

經過路徑 l 之後，兩個圓偏振光變成

$$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 \\ -i \end{bmatrix} e^{ik_R l} + \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 \\ i \end{bmatrix} e^{ik_L l} = \frac{1}{2} e^{i(k_R+k_L)l/2} \left\{ \begin{bmatrix} 1 \\ -i \end{bmatrix} e^{i(k_R-k_L)l/2} + \begin{bmatrix} 1 \\ i \end{bmatrix} e^{-i(k_R-k_L)l/2} \right\}$$

$$\text{令 } \theta = \frac{l}{2} (k_R + k_L)$$

$$\varphi = \frac{l}{2} (k_R - k_L)$$

上式變成

$$e^{i\theta} \left\{ \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 \\ -i \end{bmatrix} e^{i\varphi} + \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 \\ i \end{bmatrix} e^{-i\varphi} \right\}$$

$$= e^{i\theta} \begin{bmatrix} 1/2(e^{i\varphi} + e^{-i\varphi}) \\ -i/2(e^{i\varphi} - e^{-i\varphi}) \end{bmatrix} = e^{i\theta} \begin{bmatrix} \cos \varphi \\ \sin \varphi \end{bmatrix}$$

其合成為轉了 φ 角的偏振光線 $\varphi = \frac{l}{2} (k_R - k_L)$

$$\frac{\omega}{K_R} = \frac{C}{n_R} \quad \frac{\omega}{K_L} = \frac{C}{n_L} \quad \text{代入上式得}$$

$$\varphi = (n_R - n_L) \frac{\omega l}{2C}$$

如果折射率 $n(\lambda)$ 為波長的函數已知，則我們可以計算得

$$V = \frac{e\lambda}{2mC^2} \frac{dn}{d\lambda} \quad e = \text{Electron charge} \quad m = \text{Electron mass}$$

本實驗以玻璃為材料 $V = -\frac{e}{2mC^2} \frac{1.8 \times 10^{-14}}{\lambda^2}$ ，則 $\frac{dn}{d\lambda} = -\frac{1.8 \times 10^{-14}}{\lambda^3}$

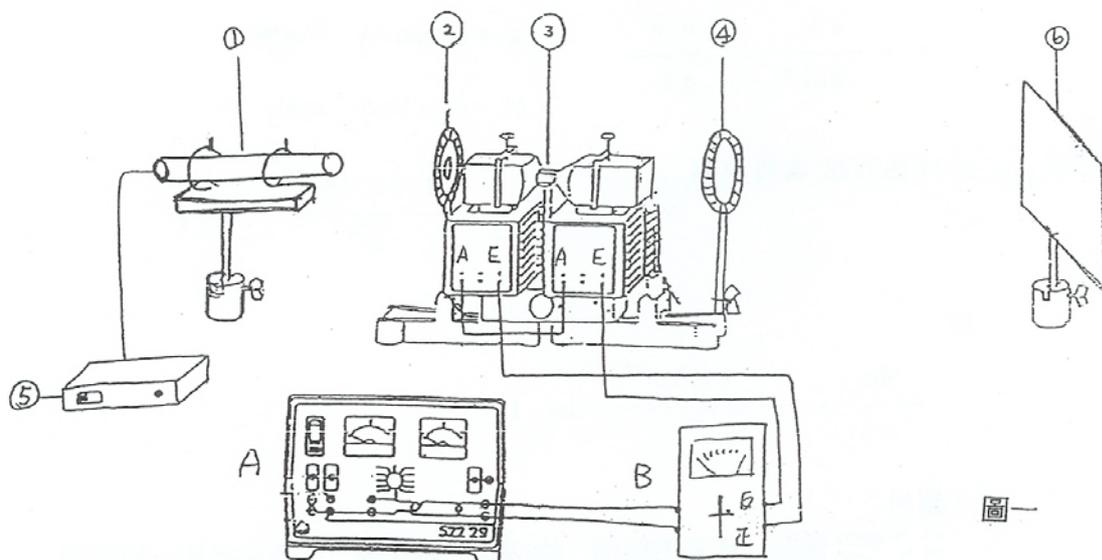
【註】標準值：在 $\lambda = 578 \text{ nm}$ 、 18°C 下， $V (\text{verdet}) = 0.0317 (\text{min of arc gauss}^{-1} \text{ cm}^{-1})$

【器材】

U 形鐵及線圈、電源供應器 (Agilent E3633A)、檢偏片、偏光鏡、一對尖鐵塊、玻璃塊、He-Ne Laser (632.8nm red)、三用電表、反向開關、He-Ne Laser 電源供應器、photometer

【步驟】

1. 如下圖一之裝置



Faraday 效應-2

(1) He-Ne Laser (2) 起偏片 (3) 玻璃塊 (4) 檢偏鏡

(5) He-Ne Laser 電源供應器 (6) 白板 (photometer)

(A) 電源供應器 (Agilent E3633A) (B) 反向開關 (三用電表+反向開關)

2. 此時電源供應器之電源暫不打開：

(1) 將 He-Ne Laser 放置於平行電磁鐵的支座上。

(2) 打開 He-Ne Laser 的電源供應器和 photometer 的電源開關，調整雷射座下方的螺絲，使其通過尖鐵塊的孔，並且進入 photometer 的探測器，觀察 photometer 的讀值，微調雷射底座直到最大值為止，即調整至最亮的光點。

註：photometer 易受周圍光線干擾而影響其準確度，可適時的覆蓋黑布來減少干擾，以提高其準確度；或將 photometer 移除，讓雷射光直接打在白板上，以肉眼觀察亮暗。

(3) 將玻璃塊放置於兩尖端鐵塊間，調整 (4) 之刻度在 0 處，再調整 (2) 使 photometer 的讀值為最小值，即最暗的光點。

3. 打開電源供應器 (A)

註：開啟 Agilent E3633A 電源，按選擇範圍 '20V 10A'，再按 'Display Limit'，將電壓調到最大 20V，電流調到最小 0A，再按一次 'Display Limit'，最後按 'Output on'，電源供應器將以 c. c. 電流控制輸出。

(1) 調整 (A) 之電流至所需的電流大小 (此時電流大小顯示在三用電表上)，同時將 B 扳向右邊，觀察 photometer 的讀值不為最小值，即非最暗的光點，調整 (4) 使 photometer 的讀值為最小值，即光至最暗時，記錄角度大小 α 於表中。

(2) 將 B 扳向左邊，觀察 photometer 的讀值不為最小值，即非最暗的光點，調整 (4) 使 photometer 的讀值為最小值，即光至最暗時，記錄角度大小 β 於表中。

4. 拿下玻璃塊，利用高斯計分別量取各電流的磁場 B。

5. $\alpha + \beta = 2\varphi$ ，利用 $\varphi = BIV$ ($I = 2\text{cm}$) 即可求出 V (Verdet constant)。

6. 作偏振旋轉角度 φ 與磁場強度間的關係圖。

【注意事項】

1. 電流值請勿超過 10 安培 (即 $< 10\text{A}$)

※2. 高斯計需向助教領取，並於使用完畢交還給助教。(請小心使用，切勿折斷探針)

3. 玻璃塊 (價格為 5400) 易摔破，請小心拿取。

4. 使用雷射光請小心，切勿直接照射到眼睛

【問題】

1. 何謂 "Verdet 常數" ?

2. 根據實驗過程的條件，試找出玻璃的 Verdet 常數之標準值。

3. He-Ne 雷射的工作原理? 如何會產生紅光 (632.8nm) 的波長?