

Zeeman Effect--外加磁場下原子能階之分裂

目的：觀察原子能階隨外加磁場（弱磁場）變化而分裂的情形，並計

算 Bohr magneton $\frac{e\hbar}{2m_e C}$ （即原子磁距大小之數量級），上述乃採用 C .

G . S 制，若採用 M . K . S 制，則 Bohr magneton 為 $\frac{e\hbar}{2m_e}$

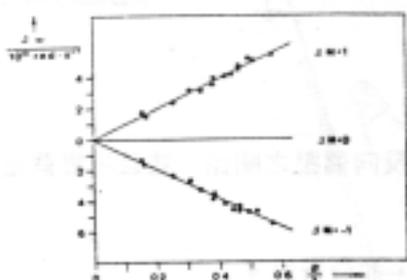


圖 1

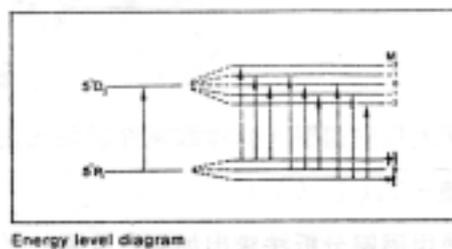


圖 2

儀器：

編號	數量	
PHYS 1001	1	穩壓電源供應器（1安培）
PHYS 1002	1	銅燈
PHYS 1003	1	金屬保護殼
PHYS 1004	1	電磁鐵（含矩形底座）
PHYS 1005	1	光學系統（含正方形底座）
PHYS 1006	1	高度計
PHYS 1007	1	12V直流電壓供應器
PHYS 1008	1	萬用電表
PHYS 1009	1	磁力計
PHYS 1010	1	磁力探棒
PHYS 1011	1	校正用磁鐵（規格化磁鐵）
PHYS 1012	4	長方形鋁片
PHYS 1013	3	偏光片（紅，藍，綠各一）

裝置：

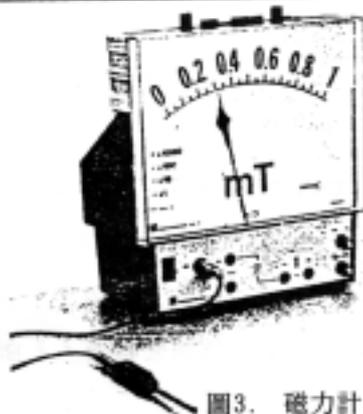


圖3. 磁力計

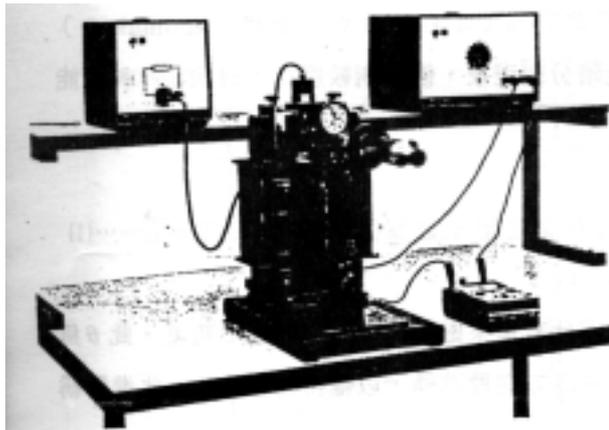


圖4. 裝置全圖

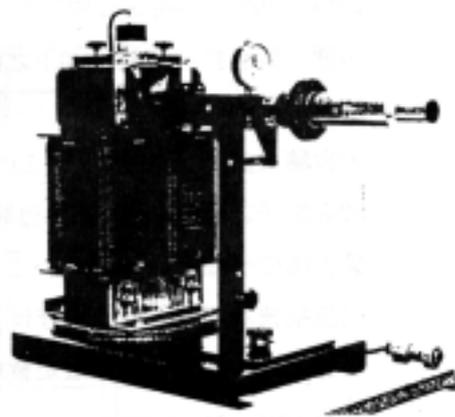


圖5. 電磁鐵+顯微鏡台座

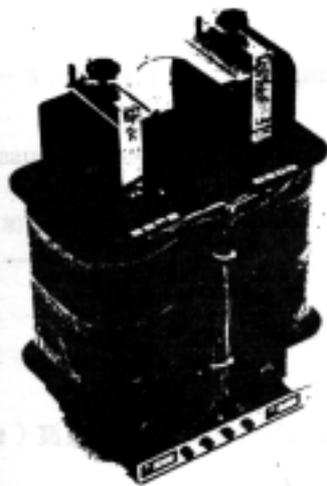


圖6. 電磁鐵



圖7. 顯微鏡台座

原理：在被激發之元素上加上一個均勻的磁場，則其光譜線發生變化，此即 Zeeman 於 1896 年為探測發光物質所做之實驗。實驗顯示，再沒有外加磁場時，本是單一光譜線的，外加磁場後，便可能分裂 (split) 成幾條，而且本來非偏極化的光譜線，分裂後，有偏極化的現象。（偏極化的原因請參考李怡嚴所著大學物理學 P . 1633）Zeeman Effect 可分為正常 (normal) 與

不正常 (anomalous) 兩種，前者探討自旋 $S=0$ 下之能階分裂現象；後者較廣泛，討論 $S \neq 0$ 時之能階分裂現象。

本實驗只討論正常 Zeeman Effect：

考慮電子之總軌道角動量 \vec{L} 與原子所帶磁距 $\vec{\mu}_L$ 之關係：

$$\vec{\mu}_L = -\frac{e}{2mc}\vec{L} \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{又由電磁學之：} E = -\vec{\mu}_L \cdot \vec{B} \dots\dots\dots(2)$$

假設系統為絕熱，則能量守恆，因此若本來磁距與磁場方向呈 θ 角度，此 θ 角度必須維持不變，因此磁距會對磁場方向做進動，以維持 E 不變，此進動稱為 Thomas precession。

$$\begin{aligned} \text{合併(1)及(2)式} \rightarrow E &= \frac{e}{2mc} \vec{L} \cdot \vec{B} = \frac{e}{2mc} L_Z B \quad (\text{設 } \vec{B} = B\hat{z}) \\ &= \frac{e\hbar}{2mc} B m_l \\ &= \mu_b B m_l \quad (m_l = -l, -l+1, \dots, l-1, l) \end{aligned}$$

$$\mu_b = \frac{e\hbar}{2mc} \text{ 稱為 Bohr magneton} = 9.27 \times 10^{-27} \text{ erg/Gauss}$$

此乃原子磁距之單位

B ：磁場強度

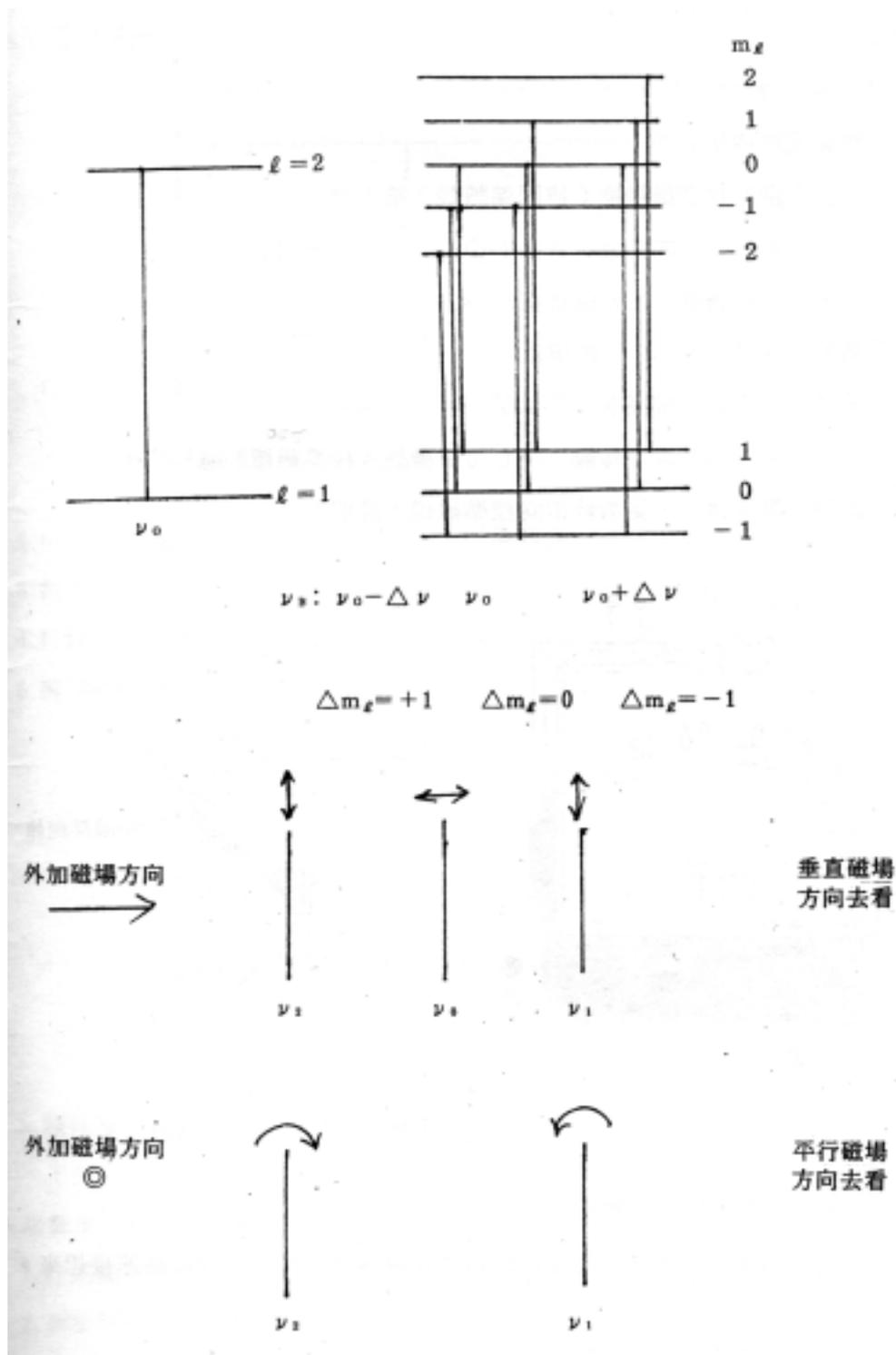
$m_l \hbar$ ：角動量在 Z 方向之分量

$$\text{由 } E = \mu_b B m_l$$

加上選擇定則 $m_l = \pm 1, 0$ (但當 $l=0$ 時, $m_l \neq 0$)

因此，分裂成三條線，這可以由一個 $l=2$ 至 $l=1$ 之能階跳渡

(transition) 得到



步驟：

一、找出磁流密度 B 和磁場電流 I 的關係

1. 將電磁鐵後面的接頭和穩壓電源供應器及電流表依下圖的線路連接起來。

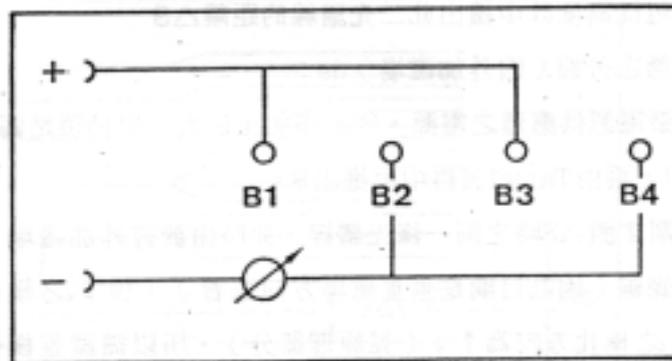


圖10 Connection of the electromagnet

2. 小心的將鎊燈自基座上取下，並裝上保護套筒。
3. 把霍爾探棒垂直插入原鎊燈的位置。
4. 打開穩壓電源供應器，逐步自零增加電壓紀錄，並相對的電流值 I 和磁場大小 B 。
5. 將 I 和 B 做成如下的表格。

Table1

I/A	B/T
2.5	0.1
5.0	0.195
7.5	0.3
10.0	0.395
12.5	0.505
15.0	0.605
17.5	0.7
20.0	0.77

6. 關掉穩壓電源供應器的電源，取出霍爾探測棒，將鎊燈小心的

裝回原來的架子上。

二、測量未加磁場的光譜線距 S

1. 打開鎢燈的電源，並等 3 分鐘之後再開始觀測。
2. 調整目鏡，使目鏡中的“+”字線，與欲測量的光譜線重疊，並與重疊後將高度計固定在原點 0 的位置。
3. 順時鐘方向調整高度計旁的旋鈕，使目鏡中的“+”字線與第二條光譜線重疊，此時可從高度計中讀出此兩光譜線的距離 S 。

三、測量簡併態之分裂（因外加磁場） ds ：

1. 打開穩壓電源供應器之電源，將磁場加至最大（但仍須是弱磁場）並記錄此時之電流 I ，再由 Table1 表格中反推出 B 。
2. 選擇與剛才測 S 時之**同一條光譜線**，此時由於有外加磁場，故能階已分裂，應有三條線（因為目前是垂直磁場方向去看），但 ν_0 之極化方向為 $\leftarrow \rightarrow$ ，而 ν_1 與 ν_2 之極化方向為 $\uparrow \downarrow$ （見原理部分），所以需調整極化片的角度，找到 $\nu_1 \nu_2$ 之清晰影像。此時 ν_0 因極化方向垂直，故看不到。
3. 測量 ν_1 與 ν_2 之距離即為 $2ds$ 。

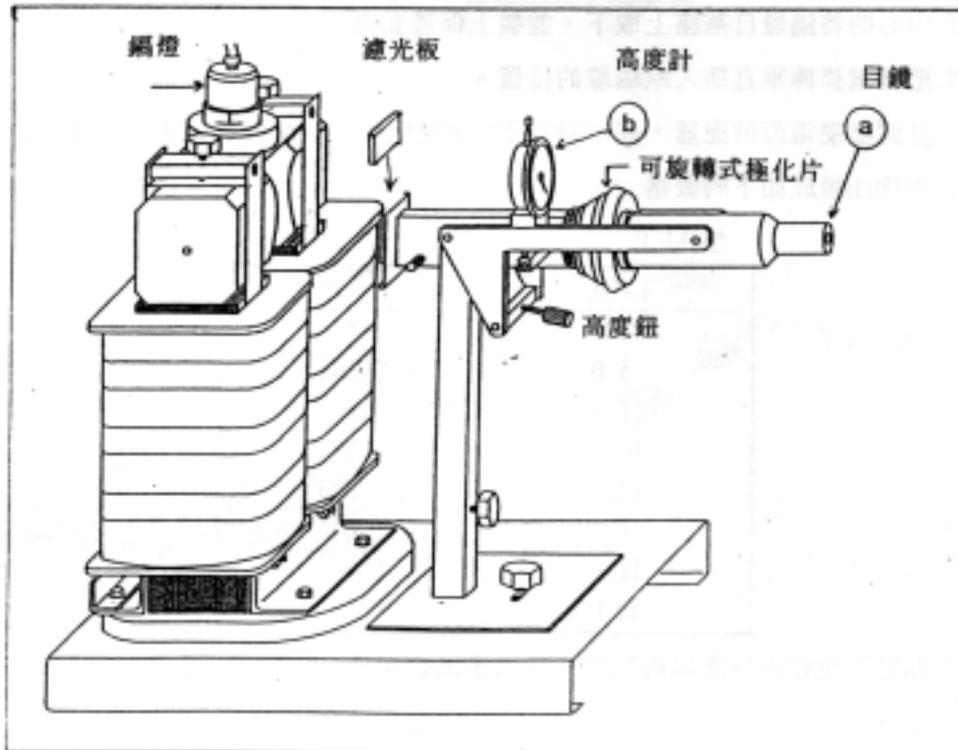


圖11 Experiment setup for the Zeeman effect

4. 慢慢地將磁場減弱，並同時觀察光譜線隨著磁場大小而有不同的劈裂情形。重覆步驟 1, 2, 3, 至少取兩組數據。
5. 使用不同的濾光板（紅、綠、藍）重覆上述步驟。（裝置請參考圖 7）

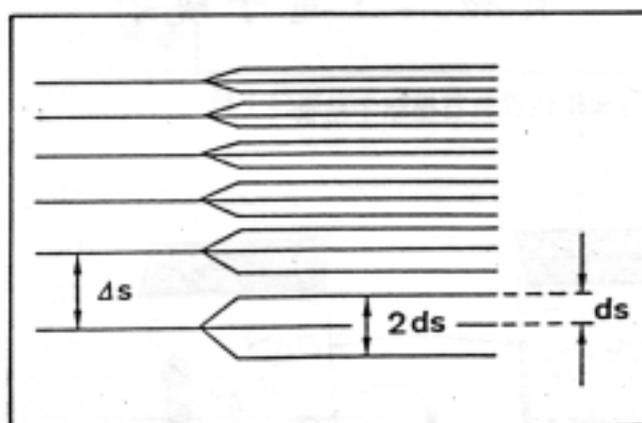


圖12 Measuring the Zeeman splitting

五、從 ds/s 計算 e/m 的大小

將前面測量 ds 時所用的磁場大小 B 和 ds/s 之值代入下式中，

即可得出 e/m 。

$$\frac{e}{m} = \frac{4\pi C}{B} \frac{ds}{\Delta S} \frac{\sqrt{n^2 - 1}}{2d(n^2 - 1)} \quad (\text{MKS 制})$$

其中 C 為光速

n 為 lummer-Gehrke 平板的折射率=1.4567

d 為 lummer-Gehrke 平板的高度=4.04mm

而 e/m 的理論值為 $1.76 \times 10^{11} \text{Cs/kg}$

參考書籍：李怡嚴「大學物理學」第四冊。