

武汉大学物理科学与技术学院  
物理实验报告

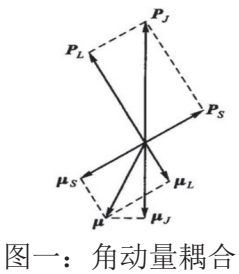
物理 学院      物理 专业      2024 年 4 月 28 日

实验名称	塞曼效应					
姓 名	郑凡	年 级	大三	学 号	2021302022016	成 绩

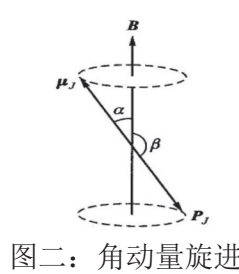
实验报告内容：					
一、实验目的		五、数据表格			
二、主要实验仪器		六、数据处理及结果表达			
三、实验原理		七、实验结果分析			
四、实验内容与步骤		八、习题			

一、实验目的					
1. 学习观察塞曼效应的实验方法；					
2. 观察Hg灯的546. 1nm光谱线在外磁场作用下的塞曼分裂结果(分裂后子谱线的个数，子谱线间距、子谱线的相对强度、子谱线的偏振态)；					
3. 由塞曼裂距计算电子的荷质比e/m。					
二、主要实验仪器					
F-P标准具、测量望远镜、干涉滤光片、聚光镜、纵横向可调滑座、单路可调式直流稳压稳流电源、、笔型汞灯电源、CCD摄像机、镜头以及监视器。					

三、实验原理					
原子的总磁矩包含电子磁矩和原子核磁矩两部分组成，后者比前者小三个数量级，所以只考虑电子磁矩。电子磁矩由其轨道磁矩和自旋磁矩两部分组成。根据量子力学有关系					
$\mu_L = \frac{e}{2m} P_L, P_L = \sqrt{L(L+1)} \frac{h}{2\pi}, \mu_S = \frac{e}{m} P_S, P_S = \sqrt{S(S+1)} \frac{h}{2\pi}$					
利用角动量耦合方法可以得到总的角动量和总的电偶磁矩之间下面的关系：					
$\mu_J = g \frac{e}{2m} P_J, \quad g = 1 + \frac{J(J+1) - L(L+1) + S(S+1)}{2J(J+1)}$					
g称为朗德因子,这是单电子LS耦合的情况，两个电子LS耦合上面公式依然使用，倘若使用JJ耦合，需要修改为：					
$g = g_i \frac{J(J+1) + j_i(j_i+1) - J_P(J_P+1)}{2J(J+1)} + g_P \frac{J(J+1) + J_P(J_P+1) - j_i(j_i+1)}{2J(J+1)}$					
两种不同的耦合方式需具体情况合适选取，比如氦原子就应当选择LS耦合。					



图一：角动量耦合



图二：角动量旋进

根据图二，原子由于总磁矩在外磁场中受到力矩作用为： $L = \mu_J \times B$ ，这个力矩会使得角动量发生旋进，导致附加能量：

$$\Delta E = -\mu_J B \cos \alpha = g \frac{e}{2m} P_J B \cos \beta$$

再利用角动量取值量子化：

$$P_J \cos \beta = M \frac{h}{2\pi} M = J, (J-1), \dots, -J \Rightarrow \Delta E = Mg \frac{eh}{4\pi m} B$$

磁场中能级会发生劈裂，分裂谱线的波束差可以利用上面的附加能量公式计算为：

$$\Delta \tilde{\nu} = (M_2 g_2 - M_1 g_1) \frac{eB}{4\pi mc} = (M_2 g_2 - M_1 g_1) \tilde{L}$$

选择定则为跃迁要求  $\Delta M = 0, \pm 1$ ，且  $\Delta J = 0$  将不存在  $\Delta M = 0$  的跃迁。

当  $\Delta M = 0$ , 产生振动方向平行于磁场的线偏振光，称为 $\pi$ 线。可在垂直于磁场方向观察到，平行于磁场观察时 $\pi$ 成分不出现。当  $\Delta M = \pm 1$ , 垂直于磁场观察时，可观察到振动方向垂直于磁场的线偏振光，称为 $\sigma$ 线；平行于磁场方向观察时， $\sigma$ 线呈圆偏振态，圆偏振光的转动方向依赖于  $\Delta M$  的正负号、 磁场方向以及观察者相对磁场的方向。 $\Delta M = 1$ , , 偏振转向是沿磁场方向前进的螺旋转动方向，磁场指向观察者时，为左旋圆偏振光； $\Delta M = -1$ , , 偏振转向是沿磁场方向倒退的螺旋转动方向，磁场指向观察者时，为右旋圆偏振光。

弱场塞曼效应的分裂谱线相对强度可以用下列公式计算：

对于  $J \rightarrow J$  跃迁：

$$M_J \rightarrow M_J \pm 1, I_\sigma = \frac{1}{4} (J \pm M_J \pm 1)(J \mp M_J); M_J \rightarrow M_J, I_\pi = M_J^2$$

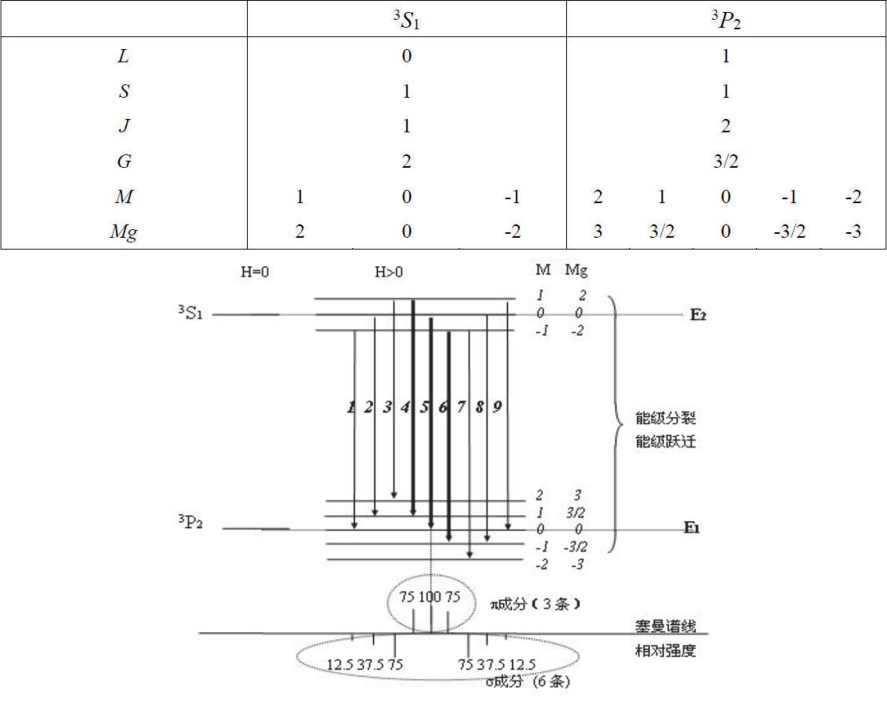
对于  $J \rightarrow J+1$  跃迁：

$$M_J \rightarrow M_J \pm 1, I_\sigma = \frac{1}{4} (J \pm M_J \pm 1)(J \pm M_J + 2); M_J \rightarrow M_J, I_\pi = (J+1)^2 - M^2$$

对于  $J \rightarrow J-1$  跃迁：

$$M_J \rightarrow M_J \pm 1, I_\sigma = \frac{1}{4} (J \mp M_J)(J \mp M_J - 1); M_J \rightarrow M_J, I_\pi = J^2 - M^2$$

本实验使用汞原子546. 1nm谱线劈裂研究塞曼效应，能级劈裂的量子态可以用下面的表表示出，下图对应的是选择定则所允许的能级跃迁情况：



#### 四. 实验内容与步骤

- ① 接通电源, 调节光路共轴
- ② 调节聚光镜使灯管位于焦平面上.
- ③ 调节F-P标准具位置, 使之靠近聚光镜, 与灯源同轴.
- ④ 继续调节镜筒, 使各级干涉环中央位于视场中心, 且亮度均匀, 干涉环细锐, 对称性好.
- ⑤ 增大励磁电流, 使干涉圆环变粗分裂. 本次实验使用 5A 的励磁电流, 从下表中可知磁场的变化.

I (A)	B (T)
0.5	0.1789
1.0	0.3551
1.5	0.5299
2.0	0.6637
2.5	0.7490
3.0	0.8173
3.5	0.8720
4.0	0.9208
4.5	0.9644
5.0	1.0026
5.5	1.0359

也可使用特斯拉计直接测量磁场, 但由于中心磁场变化快, 故并不实用.

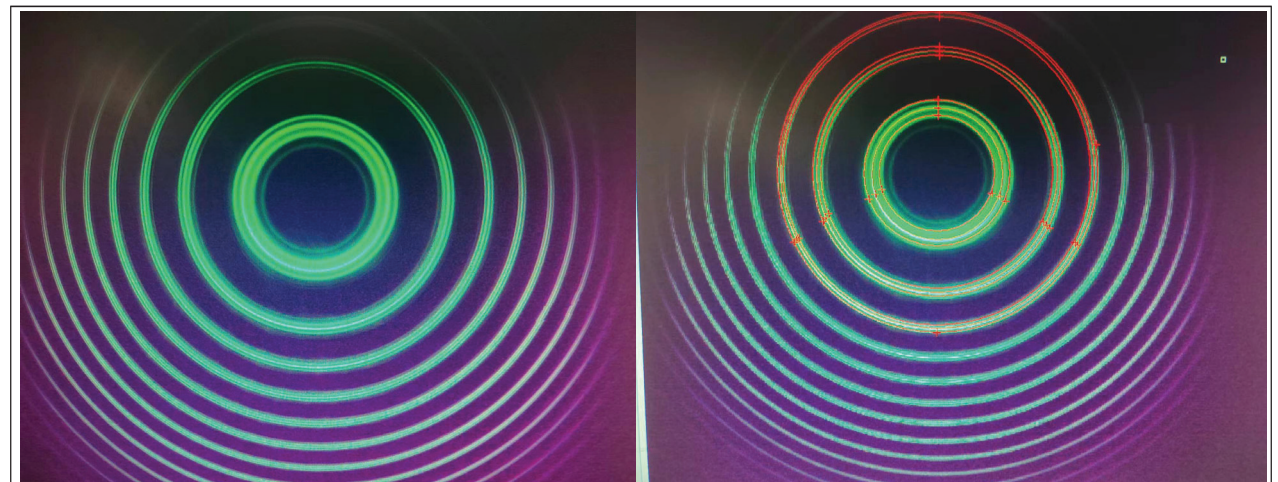
- ⑥ 仅用 Zeeman 效应分析软件进行计算.

#### 五. 数据表格

见附表.

#### 六. 数据处理及结果表达.

数据由软件进行. 实验得到下面的两幅图像:



实验对同一条件下进行了两次描点, 圆圈数按处理, 最终得到电子荷质比为:

$$\left(\frac{e}{m}\right)_1 = 1.909 \times 10^{11} \text{ C/Kg}, \quad \left(\frac{e}{m}\right)_2 = 1.839 \times 10^{11} \text{ C/Kg}, \quad \overline{\left(\frac{e}{m}\right)} = 1.874 \times 10^{11} \text{ C/Kg}$$

相对误差为:  $E_1 = 8.59\%$ ,  $E_2 = 4.61\%$ ,  $\overline{E} = 6.60\%$

#### X. 实验结果分析

本次实验观察到了塞曼效应在干涉谱线中的分裂, 且识别了电子荷质比. 相对误差为 6.60%, 但本次实验不确定度比较大. 误差在实验数据分析时, 是手动描点绘图, 这会产生较大的误差. 从两次实验也可看到, 两次描点导致最终结果差了 3.67%, 这主要是实验误差和不确定度的主要来源.

#### 11. 习题.

如何验证实验确定 J 和 J?

$$g = 1 + \frac{J(J+1) - L(L+1) + S(S+1)}{2J(J+1)}$$

关键是确定 L, S, J 三个量子数, 即确定电子所处的态  $2S+1L_J$ .

由于塞曼效应在未加磁场的情况下, 一个能级会分裂成  $2J+1$  个能级. 故观察谱线的数目并结合  $\pi, \sigma$  线选别规则即可很好地确定量子数. 更多内容见文献: 大学物理 1981, Vol. 1, Issue(1): 23-23.

教师评语

指导教师:

年 月 日



# 武汉大学物理实验数据记录单

学院: \_\_\_\_\_ 专业: \_\_\_\_\_ 姓名: 丁世林 学号: 202130202208 / 2021302022021

实验名称: 塞曼效应 实验仪器台号: \_\_\_\_\_

The Cricle Center

$X: \pm 11.095$  511.086

$Y = 215.688$  215.512

K Level (Diameter)

$D1 = 72.030$  72.249

$D2 = 82.792$  82.060

$D3 = 91.764$  91.358

K-1 Level (Diameter)

$D1 = 144.860$  145.187

$D2 = 150.664$  150.472

$D3 = 155.481$  155.456

K-2 Level (Diameter)

$D1 = 191.799$  191.959

$D2 = 196.070$  196.116

$D3 = 199.133$  199.969

Result

$K = 3232.297$  3126.349

$K-1 = 3189.769$  3087.145

$d = 15845.095$  15907.957

$d2 = 15743.617$  15819.564

$e/m = 1.909 (E11C/Kg)$  1.839 (E11C/Kg)

指导教师:

年 月 日

2-1 4.23