

清华大学 物理实验报告

班级: 软件 71
姓名: 骆炳君
学号: 2017013573
日期: 2019-3-18

实验名称: 塞曼效应实验

目 录

一、 实验目的	2
二、 实验原理	2
1. 塞曼效应的原理	2
2. 塞曼能级选择定则	2
3. 汞 546.1nm 谱线在磁场中的分裂	2
4. 塞曼效应的测量公式	3
三、 实验仪器	3
四、 实验步骤	3
1. 调节光路	3
2. 观测图像	4
3. 测量	4
4. 实验注意事项	4
五、 数据处理	4
六、 误差分析	5
七、 思考题	5
八、 实验小结	6
九、 原始数据表格	7

一、 实验目的

- (1) 学习塞曼效应的基本原理.
- (2) 学习使用 F-P 标准具观测汞 546.1nm 谱线的塞曼效应的方法
- (3) 学习测量塞曼分裂谱线裂距并计算某一励磁电流下磁感应强度 B 的方法，并与理论值比较.

二、 实验原理

1. 塞曼效应的原理

原子中电子具有的轨道磁矩 μ_L 和轨道角动量 P_L 、自旋磁矩 μ_S 和自旋角动量 P_S ，存在以下关系：

$$\mu_L = \frac{e}{2m} P_L, P_L = \sqrt{L(L+1)} \frac{h}{2\pi}, \mu_S = \frac{e}{m} P_S, P_S = \sqrt{S(S+1)} \frac{h}{2\pi}$$

将两者合成总角动量 P_J ，总磁矩 μ_J ，可得：

$$\mu_J = -g P_J \frac{e}{2m}, g = 1 + \frac{J(J+1) - L(L+1) + S(S+1)}{2J(J+1)}$$

处于外磁场时，原子总磁矩会受到力矩的作用，从而绕外磁场的方向旋进，使原子获得附加能量：

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

由于 μ_J 和 P_J 在外磁场中的取向是量子化的， $P_J B \cos \beta$ 的取向也是量子化的，满足：

$$P_J \cos \beta = M \frac{h}{2\pi}, (M = \pm J, \dots, \pm 1, 0)$$

两式联立得：

$$\Delta E = M g \frac{eh}{4\pi m} B$$

这说明，无外磁场时的一个能级，在外磁场作用下会分裂成 $(2J+1)$ 个子能级，每个能级都具有特定的附加能量。

2. 塞曼能级选择定则

由能级跃迁公式可推出，分裂谱线的波数差

$$\Delta \tilde{\nu} = (M_2 g_2 - M_1 g_1) \frac{e}{4\pi m c} B = (M_2 g_2 - M_1 g_1) L, L = 0.467 B$$

选择定则为 $\Delta M = 0, \pm 1$. 当 $\Delta M = 0$ 时，垂直磁场观察时产生线偏振光，振动方向平行于磁场，称为 π 线. 当 $\Delta M = \pm 1$ 时，垂直于磁场观察时产生线偏振光，振动方向垂直于磁场，称为 σ 线；平行于磁场观察时产生圆偏振光.

3. 汞 546.1nm 谱线在磁场中的分裂

波长为 546.1nm 的谱线是汞原子从 $\{6s7s\}^3 S_1$ 到 $\{6s6p\}^3 P_2$ 能级跃迁时产生的. 汞 546.1nm 谱线在磁场中分裂成 9 条线（反常塞曼效应），相邻谱线的裂距为 $\frac{L}{2}$.

4. 塞曼效应的测量公式

用透镜把 F-P 标准具的干涉圆环（圆环直径为 D ）成像在焦平面上，有 $\frac{D}{2} = f \tan \phi$ 。又由 F-P 标准具产生干涉极大条纹的条件 $2d \cos \phi = k\lambda$ 得：

$$2d(1 - \frac{D^2}{8f^2}) = k\lambda$$

可得，干涉级次 k 与 D 成线性关系，随着直径的增大，圆环将越来越密。

对于同一波长相邻级次 k 和 $k-1$ 圆环，其直径平方差

$$\Delta D^2 = D_{k-1}^2 - D_k^2 = \frac{4\lambda f^2}{d}$$

对于同一级次有微小波长差的不同波长 λ_a 、 λ_b ，有

$$\Delta \lambda_{ab} = \frac{\lambda^2}{2d} \frac{D_b^2 - D_a^2}{D_{k-1}^2 - D_k^2}$$

即

$$\Delta \tilde{\nu} = \tilde{\nu}_b - \tilde{\nu}_a = \frac{\Delta D_{ab}^2}{2d \Delta D^2}$$

三、 实验仪器

笔形汞灯置于电磁铁中心气隙中，沿光路依次通过聚光透镜、偏振片、546mm 滤光片、F-P 标准具，此外还有导轨和稳压稳流电源。

四、 实验步骤

1. 调节光路

- (1) 打开汞灯开关，调节稳压稳流电源。
- (2) 放下干涉滤光片，调节透镜的高度、位置和角度。
- (3) 放置干涉滤光片，使干涉光斑充满干涉滤光片孔径。
- (4) 调节聚光镜、滤光片、标准具和光源大致共轴。
- (5) 调整测量望远镜的方向、高度和位置，使能看到清晰的同心干涉圆环图像。

2. 观测图像

- (1) 观察零场花样（不加磁场）；打开稳流稳压电源，并逐步增加电流至 3.5A 左右，观察此时的塞曼效应图像。
- (2) 装上偏振片并固定，转动偏振片，分别记录观察到 3 条 π 线和 6 条 σ 线时的偏振片角度。

3. 测量

(1) 取下偏振片，调节 $I = 3.50A$ ，测量记录 k 级第 3 圆环和 $(k-1)$ 级第 3、5 圆环的位置，各 5 组数据。

(2) 调节 $I = 2.50, 3.00, 4.00A$ ，各测量记录 1 组数据。

4. 实验注意事项

(1) F-P 标准具、干涉滤光片是精密光学元件，严禁触摸光学面，切勿摔磕。

(2) 磁铁电源开启前必须使电流调节旋钮反时针转到头，实验结束前必须先使电流调到零之后再关闭开关。

五、 数据处理

偏振片的角度：3 条线：平行磁场方向 6 条线：垂直磁场方向

当 $I = 3.50A$ 时，测得数据如下表：

	1	2	3	4	5	平均值
D_k	5.485	5.556	5.600	5.655	5.764	5.612
D_{k-1}	8.656	8.680	8.710	8.752	8.640	8.688
D_a	6.245	6.270	6.347	6.359	6.480	6.340
D_b	5.485	5.556	5.600	5.655	5.764	5.612

磁感应强度

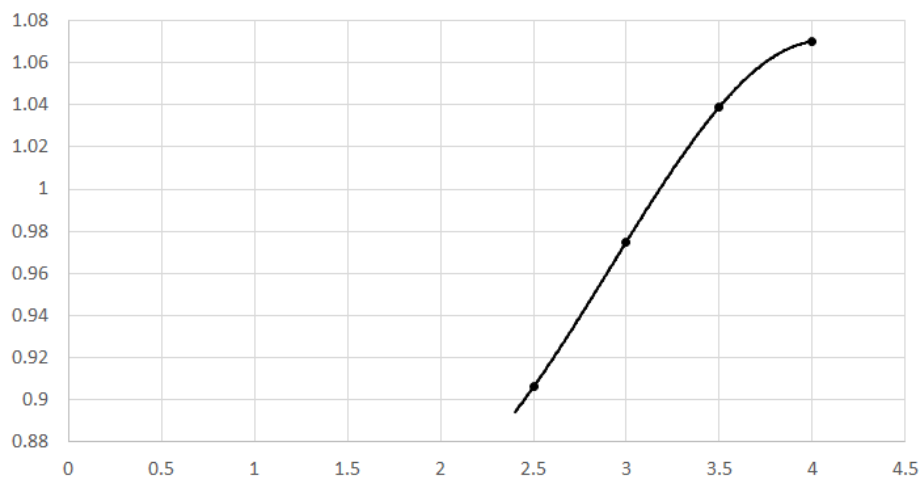
$$B = \frac{D_b^2 - D_a^2}{2d(D_{k-1}^2 - D_k^2)} \times \frac{1}{0.467(M_{2g2} - M_{1g1})} = 1.039(T)$$

当 $I = 2.50, 3.00, 4.00A$ 时，测得数据和计算结果如下表：

I	2.50A	3.00A	4.00A
D_k	5.888	5.888	5.826
D_{k-1}	8.868	8.868	8.853
D_a	6.489	6.533	6.557
D_b	5.888	5.888	5.826
B	0.906T	0.975T	1.070T

数据分析 电磁铁是软磁性材料，其 B 与 I 的关系是非线性的。由于仅有 4 个数据点，通过描绘 $B \sim I$ 曲线，仅可看出 B 与 I 呈正相关关系，且当 $I < 3.50A$ 时， B 随 I 的增大近似线性增长；当 $I > 3.50A$ 时， B 的上升速率趋于平缓，接近饱和状态。

B~I曲线



六、 误差分析

- (1) 调节过程精密光学仪器易受外界因素影响，观察测量时人眼视觉疲劳，产生较大的随机误差.
- (2) 实验过程中流过电磁铁的电流可能产生变化，建议在测量前后分别记录一次电流，在计算时取平均值.

七、 思考题

1.

缓慢转动偏振片，观察到三条圆环的是 π 成分，观察到六条圆环的是 σ 成分.

$\Delta M = +1$ 时，谱线的频率增加，波长减小，由 $2d\cos\phi = k\lambda$ 可得，随 λ 减小， $\cos\phi$ 减小， ϕ 增大，故外侧三条圆环为左旋光. 同理可得，内侧三条圆环 $\Delta M = -1$ ，为右旋光.

沿着磁场方向观测时， $\Delta M = +1$ 为左旋光，其频率增加， $\Delta M = -1$ 为右旋光，其频率减小.

2.

在常温范围内，随气压 p 增大，空气折射率 n 增大.

由干涉极大条件 $2nd\cos\phi = k\lambda$ 可知，相同级次 k 的圆环的入射角 ϕ 增大，半径增大，可观察到圆环逐渐扩大.

相邻两组圆环的角间距 $\Delta\phi = \frac{\lambda}{2nds\sin\phi}$ ，随 n 增大而减小，可观察到相邻两组圆环间距减小，圆环变密.

3.

(1) 反推能级结构：本实验利用汞 546.1nm 谱线的上下能级结构推出了其塞曼效应图象，同时也可以通过塞曼效应图象反推并验证原子的能级结构.

(2) 计算朗德因子:由公式 $\Delta\tilde{\nu} = (M_2g_2 - M_1g_1)\frac{e}{4\pi mc}B = (M_2g_2 - M_1g_1)L$ 和 $\Delta\tilde{\nu} = \tilde{\nu}_b - \tilde{\nu}_a = \frac{\Delta D_{ab}^2}{2d\Delta D^2}$, 可通过塞曼效应测得的 B 、 D_k 、 D_{k-1} 、 D_a 、 D_b 来计算对应能级的朗德因子 g .

八、 实验小结

本次实验的对观察读数的要求比较高,测量得到的数据也比较多,但数据处理相对比较简单.光学仪器都属于比较精密的仪器,需要我们耐心细致地进行调节,完全按照要求进行操作,学会熟练使用测微目镜.在实验中我遇到的较大问题就是对测微目镜的使用不熟悉,没有搞清应该对准刻度线的哪个位置进行读数.再次感谢助教的悉心指导!

九、 原始数据表格