

赛曼效应实验报告

无88 刘子源 2018010895

一、实验目的

- 1、了解并利用法布里-珀罗(F-P)标准具，观察汞光谱546.1nm绿线在磁场中的分裂现象。
- 2、掌握赛曼效应中谱线裂距的测量方法，加深对原子磁矩及其空间取向量子化的理解。
- 3、测量并计算分裂后的子谱线波数差，与理论值比较，求出磁感应强度B的数值。

二、实验仪器

电磁铁、汞灯、凸透镜、偏振片、滤光片、F-P标准具、测量望远镜（成像物镜、测微目镜）等。

三、实验原理

原子由原子核和核外电子构成，核外电子绕原子核进行轨道运动，同时进行自旋运动。原子磁矩就主要来自于电子的轨道磁矩和自旋磁矩。具有不同能量的电子在不同的壳层里运动，形成原子的能级，当电子从高能级到低能级跃迁时，会释放部分能量，如果这部分能量以光子形式辐射，则产生发光现象。

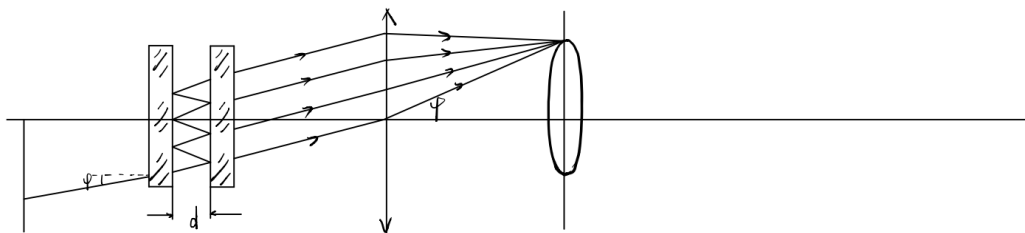
无磁场时，有光子 $h\nu = E_2 - E_1$ ；

有磁场时，磁场使电子获得附加能量，则有 $h\nu' = h\nu + (M_2g - M_1g)\mu_B B$ 。

则分裂后相邻谱线的波数差 $=\Delta\nu'/c = 0.2335B(\text{cm}^{-1})$

由于谱线间隔很小，实验中用法布里珀罗标准具来放大实验现象。在该实验中，汞原子546.1nm谱线经塞曼分裂后会形成9条子谱线。即在同一级次中一共有9条子谱线，由于空间取向量子化，会有3条平行于磁场的 π 线和垂直于磁场的6条 σ 线。波长大的子谱线对应的圆环直径小。

实验所用光路图：

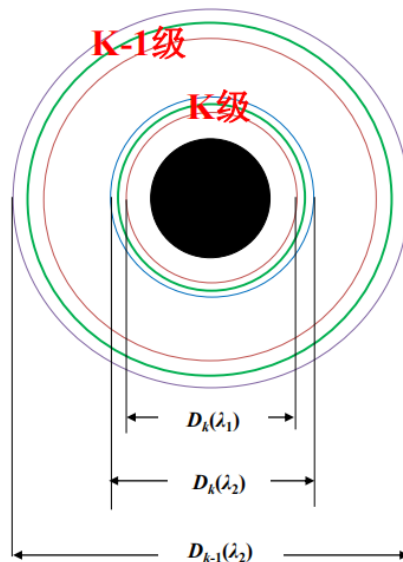


利用法布里珀罗标准具实现多光束干涉，两光束的光程差为 $\Delta = 2nd\cos\phi$ ，产生亮条纹的条件为 $2nd\cos\phi = k\lambda$ ，则先算出相隔n个环间距的同心环 $a(\lambda_2)$ 和 $b(\lambda_1)$ 所代表的子谱线之间的波数差n，有公式

$$\Delta\bar{\nu} = \frac{1}{2d} \frac{D_k^2(\lambda_2) - D_k^2(\lambda_1)}{D_{k-1}^2(\lambda_2) - D_k^2(\lambda_2)} (\text{cm}^{-1})$$

再由相邻子谱线的波数差即可算出磁感应强度B

$$\Delta\bar{\nu}/n = 0.2335B$$



四、实验内容

1、用光谱仪观察滤光片、励磁电流以及偏振片方位对汞原子光谱的影响；用光谱仪观测励磁电流对汞绿谱线形貌的影响，探究有哪些能用光谱仪测量得出的信息。

2、调节励磁电流及偏振片透光轴，观察同心环形貌的变化，完成实验现象记录表。

3、调节励磁电流大小，测量k级a环、b环的直径，以及k-1级a环的直径，完成原始数据记录表格，得到波数差及磁感应强度，画出电磁铁的B-I曲线坐标图。

五、数据处理

5.1原始数据记录表格

原始数据记录表

励磁电流 I/A	环的名称	环左侧位置/像素	环右侧位置/像素	环直径 D/像素
2.5	K 级第 a 环	1319	2959	$D_k(a)=1640$
	K 级第 b 环	1455	2823	$D_k(b)=1368$
	K-1 级第 a 环	1021	3213	$D_{k-1}(a)=2192$
3.0	K 级第 a 环	1311	2969	$D_k(a)=1658$
	K 级第 b 环	1455	2817	$D_k(b)=1362$
	K-1 级第 a 环	1015	3281	$D_{k-1}(a)=2266$
3.5	K 级第 a 环	1307	2971	$D_k(a)=1664$
	K 级第 b 环	1459	2813	$D_k(b)=1354$
	K-1 级第 a 环	1011	3283	$D_{k-1}(a)=2272$
4.0	K 级第 a 环	1303	2977	$D_k(a)=1674$
	K 级第 b 环	1463	2809	$D_k(b)=1346$
	K-1 级第 a 环	1009	3287	$D_{k-1}(a)=2278$

5.2实验现象记录表

实验现象记录表（供参考）

一、定性观察汞原子的 546.1nm 光谱线在磁场中的分裂（示意图中黑色同心圆环，代表汞原子绿色谱线的分裂圆环）

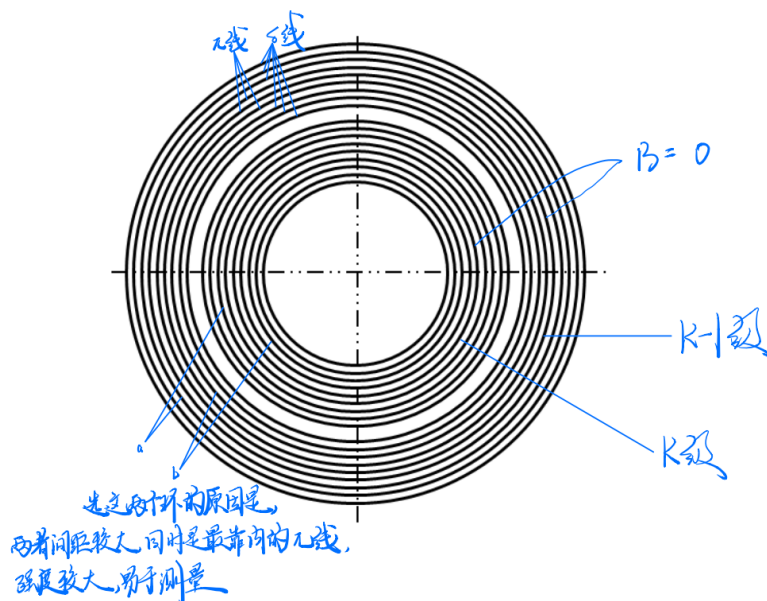
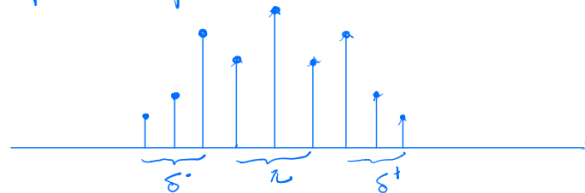
1. 在图中标注出，当磁场为 0 时，该谱线位置是图中的哪一条子谱线的位置？
2. 随励磁电流的增大，圆环分裂距如何变？分裂后各子谱线强度是怎样分布的？
3. 在垂直于磁场方向，用偏振片检测每条子谱线的偏振特性：（偏振片上的白色胶带指示其透光轴所在方向），在图中标出哪些环是 π 线，偏振方向为 平行 磁场方向；哪些环是 σ 线，偏振方向为 垂直 磁场方向。（填写“平行”或“垂直”）

二、示意图是两相邻级次谱线的分裂圆环

1. 标明哪一组是 K 级？哪一组是 K-1 级？
2. 标出你在采集数据时，实际记录的 K 级中的子谱线和 K-1 级中的子谱线分别是哪几个环？

2. 圆环分裂距随励磁电流增大而变大

子谱线的强度分布具有对称性，在同一级中， π 线强度从中心向两边变小， $\sigma(\sigma^+, \sigma^-)$ 线强度也从内向外减小，但观察发现，最靠内的 σ 线比相邻的 π 线强度略高，比中心 π 线强度低，如下图定性分布



5.3计算出实验测量的（非相邻的）子谱线a和b的波数差

由公式

$$\Delta\tilde{\nu} = \frac{1}{2d} \frac{D_k^2(\lambda_2) - D_k^2(\lambda_1)}{D_{k-1}^2(\lambda_2) - D_k^2(\lambda_2)} (cm^{-1})$$

可得在不同励磁电流下子谱线a和b的波数差为：

励磁电流(A)	2.5	3	3.5	4
波数差 cm^{-1}	0.8587	0.9367	0.9773	1.0374

5.4计算出磁感应强度B的大小

由公式

$$\Delta\tilde{\nu}/n = 0.2335B$$

可计算出磁感应强度B的大小。

举例：2.5A励磁电流对应数据

$$\Delta\tilde{\nu} = \frac{1}{2d} \frac{D_k^2(\lambda_2) - D_k^2(\lambda_1)}{D_{k-1}^2(\lambda_2) - D_k^2(\lambda_2)} (cm^{-1}) = \frac{1}{2 \times 0.2} \frac{1640^2 - 1368^2}{2252^2 - 1640^2} = 0.8587 cm^{-1}$$

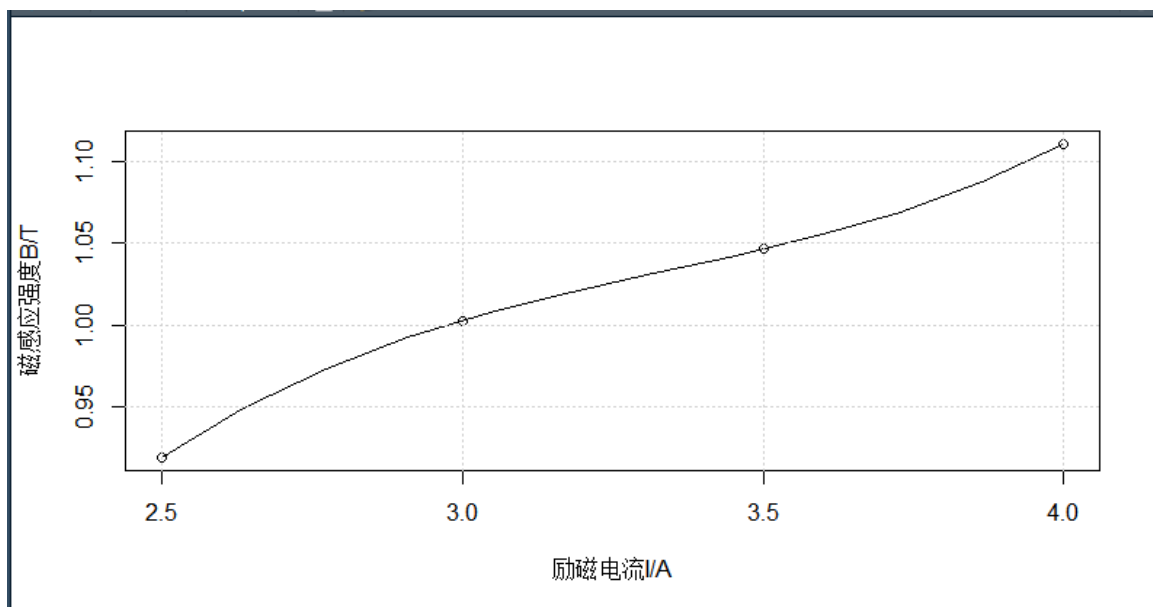
$$B = \frac{\Delta\tilde{\nu}}{0.2335n} = \frac{0.8587}{0.2335 \times 4} = 0.9194 T$$

5.5列出励磁电流I与磁感应强度B对应表格，画B-I图

实验中， $n=4$ ，可计算出不同励磁电流下磁感应强度为：

励磁电流(A)	2.5	3	3.5	4
磁感应强度(T)	0.9194	1.0029	1.0464	1.1108

B-I坐标曲线图如下：



5.6观看光谱仪测量结果

得到的信息如下：

1、实验中所用滤光片是带宽很窄的带通滤光片，以通过滤光片的光强极大值的 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 为原则，透光范围约在 $540 \sim 560\text{nm}$ ，汞灯发出的光谱是分立的原子光谱，其中在透光范围内的恰好只有 546.1nm 的绿光，其他波长的原子光谱被滤掉，从而使实验不受其他波长的光的影响。

2、从光谱仪上，并未明显观察到励磁电流对汞绿谱线形貌的影响。这是因为光谱仪的分辨率约是 0.4nm ，而在 $B=1\text{T}$ 时相邻环的波长差约为 0.006nm ，远小于光谱仪的分辨率，所以才需要引入 F-P 标准具放大实验现象测量。

3、转动偏振片，光谱仪探测到的谱线的强度会变化，偏振片平行时测量的是 π 线的强度，垂直时测量的是 σ 线的强度，从光谱仪测量结果看两者强度相似。

六、总结

这次实验可谓是相当创新的实验，“我操作你们看，我测量你读数”，且该实验测量的数据又不受单位（像素等单位最后作比能消掉）和绝对位置（只需要测量直径）的影响，真的绝了，看得出老师们为设计这次实验下了相当大的功夫，太厉害了。

通过本次实验，我对塞曼效应有更加深刻的理解，学到了法布里-珀罗标准具等实验器材的使用方法（理论上），对以前忽略掉的原子磁矩和 π 线、 σ 线等空间取向量子化等知识有了更深刻的认识，总体上学到了很多。

但不得不承认，线上实验还是给人一种意犹未尽的感觉。比如说，我觉得视频中用二次成像法调节光路等高共轴绝对是一个难点，非常考验耐心和动手能力，很像上学期分光计实验中第一步的水平调节，没能亲自动手做还是有点遗憾的。

感谢老师和助教的耐心指导！