

Hg546.1nm 谱线相应能级各量子数及其超精细结构谱线波数的计算

摘要:用 F-P 标准具, 并采用改变气压实现 F-P 标准具的扫描, 得到汞 546.1nm 谱线的塞曼效应谱线图及相应数据, 由此计算汞 546.1nm 谱线相应能级的各个量子数。并进一步测量计算这两个能级的超精细结构对应的谱线与 546.1 纳米谱线的波数差。

关键词: 汞光谱 塞曼效应 L-S 耦合 超精细结构

Abstract: With the external magnetic field, changing the air pressure in the F-P interferometer to scan the spectra, we got Hg's spectra caused by the Zeeman effect. According to these spectra, the quantum numbers of the energy levels engendering the Hg's spectrum with the wavelength of 546.1nm can be ascertained. What's more, the wave numbers' difference between the spectra of the hyperfine structure and the 546.1nm spectrum can be also calculated.

1. 引言

塞曼效应是原子磁矩和外加磁场相互作用引起原子能级分裂进而产生光谱线分裂的现象。观察汞 546.1nm 能级的塞曼分裂情况是典型的塞曼效应实验内容, 一般该实验仅限于观察和测量塞曼效应能级分裂谱线和朗德 g 因子, 或通过其求电子的荷质比。其实对课上已测得的数据进行处理计算还可得到 Hg546.1nm 谱线对应能级的各个量子数和其超精细结构谱线的波数。

2. 实验原理及现象

实验装置的简图如图 1 所示, 其中 F-P 标准具两平行间的距离 $t=2.0\text{mm}$ 。

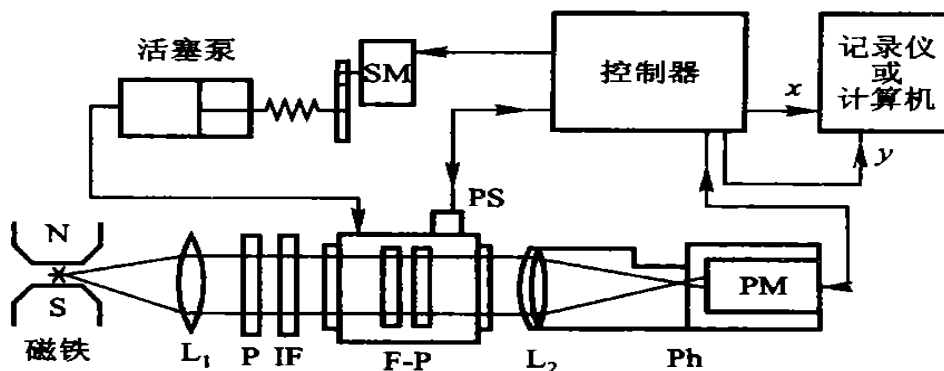


图 1

其中, F-P 标准具是一种应用广泛的高分辨率分光仪器, 仔细调节 F-P 标准具中两个反射镜的平行度, 可以观察到汞超精细结构产生的谱线。

在有外磁场的情况下, 在垂直磁场的方向上可观察到, 汞的谱线分裂为九条, 其中三条为 π 线, 六条为 σ 线。分别如图 2, 图 3, 图 4 所示。

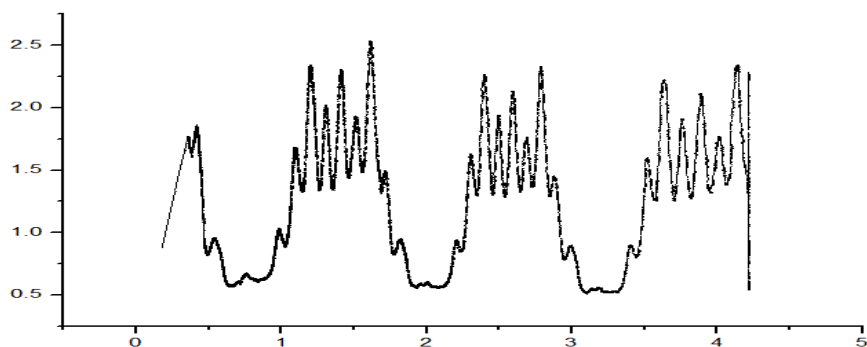


图2 在磁场作用下 Hg 546.1nm 谱线分裂成九条

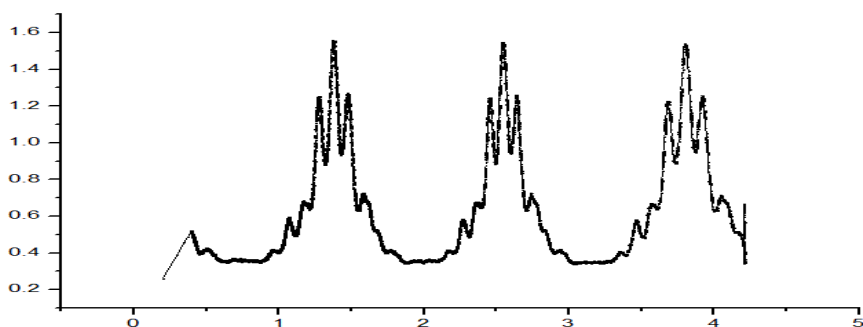


图3 谱线中的 π 成分

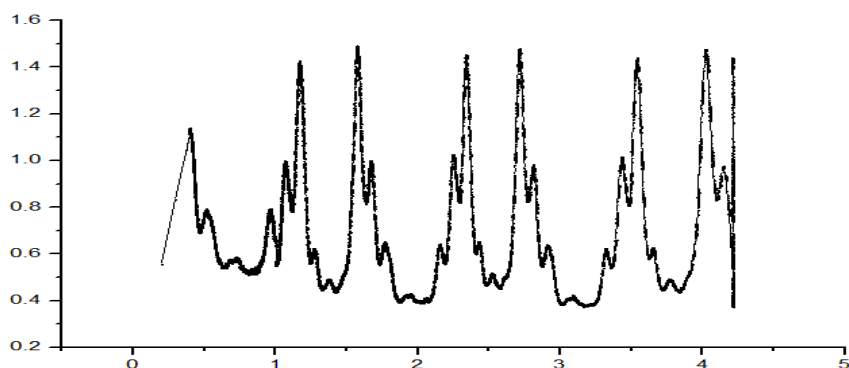


图4 谱线中的 σ 成分

图中横坐标表示与 F-P 标准具内气压成线性关系的电压信号，纵坐标表示分裂谱线光强信号经光电接收器转换放大后的信号。

分裂后的谱线与原来谱线的波数差为：

$$\Delta\tilde{\nu} = (M_2g_2 - M_1g_1)L = \frac{(M_2g_2 - M_1g_1)e\hbar}{4\pi mc} \quad (1)$$

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

3. Hg 546.1nm 谱线对应能级的 S, L, J 的计算

实验中观察到谱线分裂成三条 π 线和六条 σ 线，现假设两原子态分别为：(1) 和 (2)，令其磁量子数、总角动量量子数、轨道角动量量子数、自旋角动量量子数及朗德因子分别 M_1, J_1, L_1, S_1, g_1 和 M_2, J_2, L_2, S_2, g_2 。

根据 L-S 耦合时，能级跃迁的选择定则 $\Delta S=0$ 推出： $S_1=S_2$ 。又 Hg 有两个价电子，推得： $S=0, 1$ ，因为 $J=L+S, L+S-1, \dots, |L-S|$ ，当 $S_1=S_2=0$ 时， $J_1=J_2=L_1=L_2$ 代入 (2) 式得： $g_1=g_2=1$ 。与 g 因子推导结论不符，舍去。所以 $S_1=S_2=1$ 。

由三条 π 线根据选择定则： $\Delta M=0$ ，推出 (1)、(2) 态中一个态的磁量子数共有三个值，设为 (1) 态，其能级分裂为三层，故：

$$2J_1+1=3; J_1=1, M_1=0, \pm 1$$

由六条 σ 线，推出： $\Delta M=\pm 1$ ，(2) 态能级分裂为五层，即：

$$2J_2+1=5; J_2=2, M_2=0, \pm 1, \pm 2$$

根据塞曼效应波数计算式： $\Delta \tilde{\nu}=(M_2g_2-M_1g_1)L$

若 $g_2>g_1$ ，九条谱线按其与原谱线的波数差从大到小排列得：

$$g_1L, g_2L, (2g_2-g_1)L, (g_1-g_2)L, 0, -(g_1-g_2)L, -(2g_2-g_1)L, -g_2L, -g_1L$$

由测得的数据，各相邻谱线裂距相等得 $g_2=3g_1/4$ (3)

若 $g_2>g_1$ ，同理可得： $g_2=3g_1/2$ (4)

若 $g_1=g_2$ ，不符合实验现象，舍去。

将 $S_1=S_2=1, J_1=1, J_2=2$ 代入 (2) 式， $g_1/g_2 = \frac{24-3L_1(L_1+1)}{20-L_2(L_2+1)}$

将 (3), (4) 式代入上式得：

$$\frac{24-3L_1(L_1+1)}{20-L_2(L_2+1)} = 4/3 \quad (5) \quad \frac{24-3L_1(L_1+1)}{20-L_2(L_2+1)} = 2/3 \quad (6)$$

分别将 $\Delta L=0, \pm 1$ 代入 (5), (6) 式，(6) 式无满足条件的解，舍去。由 (5) 推得： $L_1=0, L_2=1$ 。代入朗德因子的计算公式得：

$$g_1=2 \quad g_2=3/2$$

故原子态 (1) 为 3S_1 ，原子态 (2) 为 3P_2 。

4. 汞超精细结构的对应谱线与 546.1nm 谱线波数差的计算

实验测得的汞的谱线图 (5) 中可看到除了汞 546.1 纳米的主峰外，还有很多小峰存在，这些峰便是汞的超精细结构，是汞原子的核磁矩与电子之间的相互作用造成能级分裂。

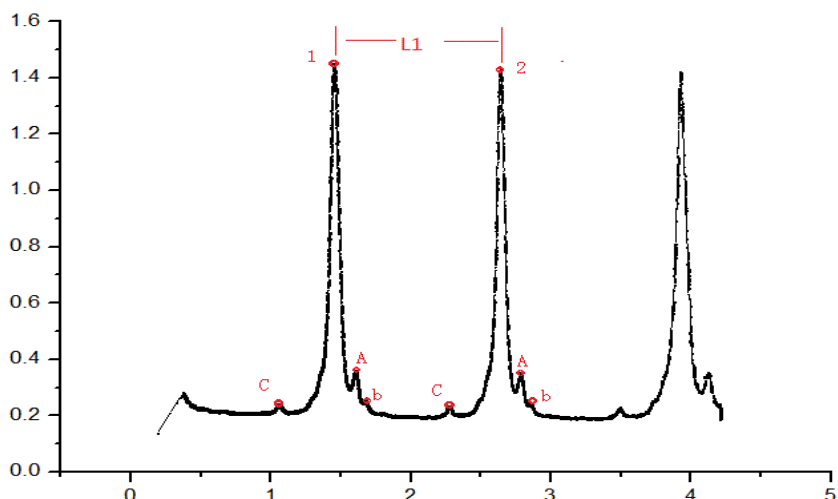


图5 实验测得的汞的谱线图

通过理论计算可得汞的超精细能级间的跃迁如图6所示

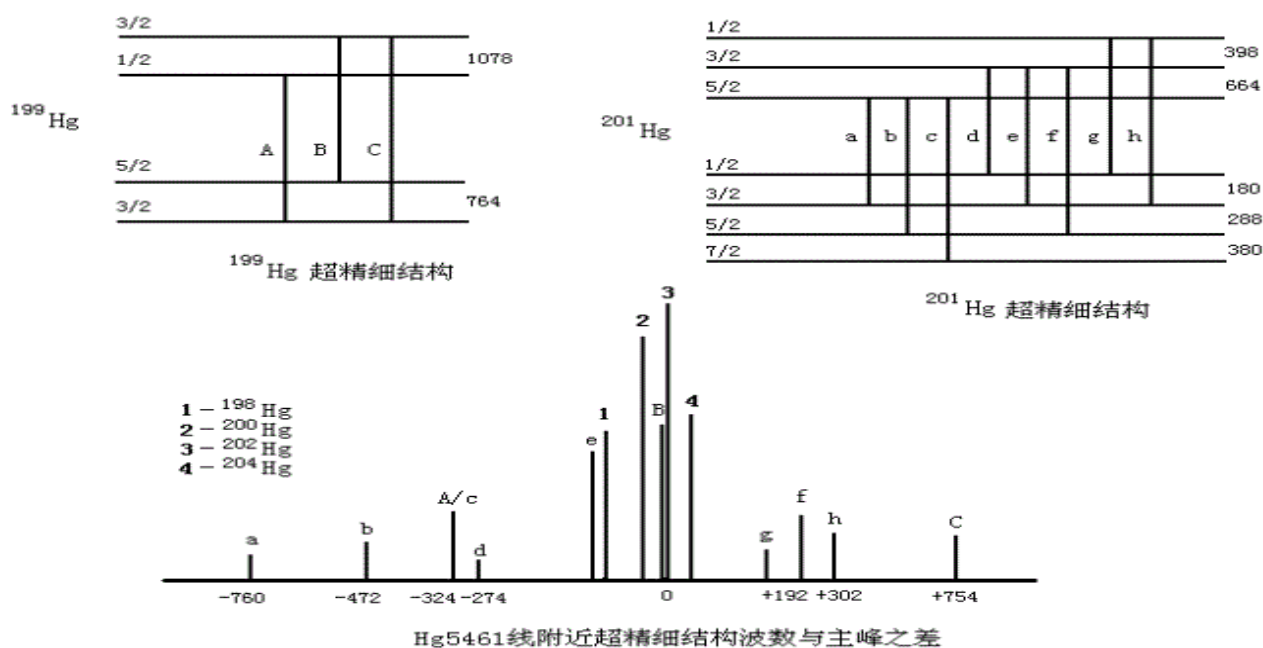


图6

用公式 $\Delta \tilde{\nu} / \Delta \tilde{\nu}_F = L_2 / L_1$ 来计算各超精细结构的小峰与546.1纳米谱线对应的主峰间波数差 $\Delta \tilde{\nu}$, 其中 L_1 如图5中所示, 为两主峰1,2间横坐标之差 $L_1 = 1.1916 \text{V}$, L_2 为小峰与其对应主峰的横坐标之差. $\Delta \tilde{\nu}_F$ 为 F-P 标准具的自由光谱范围, $\Delta \tilde{\nu}_F = 1/2nt = 2.5 \text{cm}^{-1}$, $t = 2.0 \text{mm}$ 为 F-P 标准具两平行板间的距离, n 为标准具内的气压, 取 $n = 1$.

因为 A、B、C、b 对应的峰比较明显, 可较精确地测量, 下面是计算结果,

并与理论值进行了比较。

峰标号	L_2/v	$\Delta \tilde{\nu}$ 测量值/ cm^{-1}	$\Delta \tilde{\nu}$ 理论值/ cm^{-1}	相对误差
C	0.3720	0.780	0.754	3.4%
A	0.1563	0.328	0.324	1.2%
b	0.2272	0.477	0.472	1.1%

误差分析:

(1) 从图6中可以看出图5中作为基准的主峰1, 2是有许多峰合并成的, 而理论中作为对比基准的谱线是图6中的谱线3(^{202}Hg)的谱线, 这就造成了误差。

(2) 实验中计算 $\Delta \tilde{\nu}_F$ 时取 $n=1$, 但实际上 $n > 1$, 但经过估算, n 的值对实验结果影响很小, 在 10^{-3}cm^{-1} 范围内。

(3) 气压机线性扫描性能不是很好, 图5的三个主峰并不是等间距的, 计算主峰及各小峰到主峰的距离是取平均值的。

4. 总结

本文主要是通过塞曼效应实验现象来分析汞 546.1 谱线对应的能级的精细结构及超精细结构, 从而对原子的光谱及结构有进一步的了解。

致谢

感谢马世红老师和白翠琴老师对本实验的指导, 感谢合作者李仕捷同学, 感谢指导本学期实验的所有老师。

参考文献

- [1] 朱精敏, 莫惠新, 陈瑛. 汞5461Å 塞曼分量相对强度的研究 [J]. 物理实验, 1987, 7 (1): 4-7.
- [2] 陈星, 潘正权. Hg 绿谱线超精细结构分析及相互作用常数计算 [J]. 2006, 25 (6): 36-39.
- [3] 戴道宣, 戴乐山. 近代物理实验 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [4] 吴思诚, 王祖铨. 近代物理实验 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2005.