

Hg对于微波的双原子耦合吸收

Hg's Double-atoms Coupling Absorption Of Microwave

林芸 周正阳

ABSTRACT

There are many isotopes in Hg lamp. Because of the minimal difference between the energy levels of the excited states in the atomic spectrums of these isotopes, there are existing hyperfine structures. In certain circumstance, two atoms of different isotopes can couple an equivalent energy level. This experiment is in order to prove the existence of the equivalent energy level through the measurement of Hg's double-atoms coupling absorption of microwave, at the same time, offering a convenient and accurate experimental method to measure the hyperfine structure.

Hg对于微波的双原子耦合吸收

林芸,周正阳

(复旦大学 物理系,上海)

摘要: Hg灯中含有数种丰度较高的同位素, 由于这些同位素原子光谱激发态能级的能量有微小的差别, 故存在超精细结构。在一定条件下两个不同同位素的原子可以耦合成一个等效二能级。本实验旨在通过测量Hg灯对于微波的吸收验证此等效能级的存在, 同时提供了一种能简便准确地测量超精细结构的实验方法。

关键词: 超精细结构 耦合 微波 Hg

引言: Hg灯中含有多种丰度较高的同位素, 由于他们的原子量不同, 激发态的能量有微小的差别。这一点可以在Hg的光谱中观察到, 并能基于其光谱做定性的测量。两个原子在一定的条件下可以通过耦合形成一个等效能级, 此耦合可以是光场或者原子间简单的碰撞。由于Hg灯中Hg原子一直处于发光以及碰撞状态, 所以这个耦合的条件是存在的。在相互作用比较强的物质, 如分子和固体中这种现象是十分常见的, 但是在相互作用较弱的气体中这一现象能否被观测到仍然是一个有待解决的问题。本实验中令GHz波段的微波通过Hg灯, 同时测量Hg灯在通电和不通电时微波的透过率, 以探测这个等效能级。本实验旨在证明在气体这种弱相互作用的体系中, 耦合后的能级能够被观测到, 同时提供了一种准确简便地测定超

精细结构的实验方法。

1. 理论分析

利用气压扫描式Fabry-Parot标准具观察Hg546.1nm的光谱曲线, 结果如下:

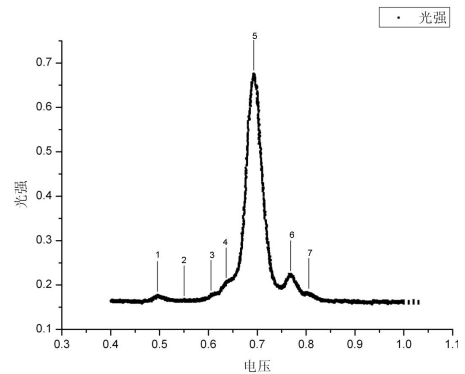


图1. Hg 546.1nm的光谱曲线

图1中纵轴为光强, 横轴为电压。图中共有7个峰, 说明Hg灯中含有7中丰度较高的同位素。峰1、5、6较为明显, 峰3、4、7较为模糊。根据丰度大小, 实验中测量到的耦合应都是由与5号峰对应的丰度最高的同位素和其它同位素耦合产生的能级。由于仪器

的测量范围所限，能够测得的只有对应于峰4和峰5同位素原子之间的耦合。

假设发生耦合的两个能级的能级图如下：

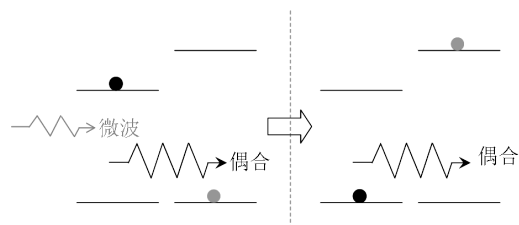


图2.能级耦合示意图

图2中耦合可以是光场或其他。初态时激发态较低的原子处于激发态，激发态较高的原子处在基态，两原子间有相互作用可令其交换能量。当外界有能量等于两个原子激发态能量之差的光子经过时，该系统吸收该光子，使激发态能量较低的原子处于基态而激发态能量较高的原子处于激发态。由此，该系统可等效为一个二能级系统。

图1中峰4和峰5所对应的同位素激发态的能量之差所对应的电磁波频率在11.5GHz至12.9GHz之间，故选用微波段的电磁波发射装置YM1123标准信号发生器。扫频范围设定为9.8GHz至12.5GHz，扫频间隔为0.01GHz.

2. 实验装置及测量方法：

本实验搭建的实验装置示意图如下：

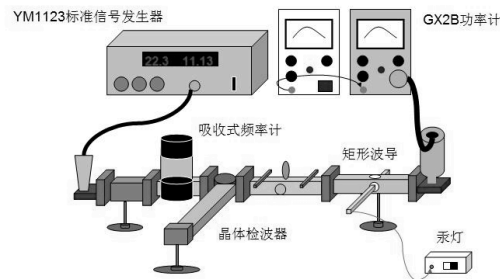


图3.实验装置简图

微波由左端的信号发生器通过天线发出，经波导引导通过Hg灯；右端的GX2B功率计测量电磁波的功率。实验时在同一次扫频过程中，对于同一频率值，分别测量开启Hg灯和关闭Hg灯的功率。对整个目标频率段进行扫频。

关闭Hg灯时，Hg基本处于液态不会与微波发生相互作用；开启Hg灯时，Hg处于气态，大量原子受激发，能与微波发生相互作用。将这两组数据相比即可得到Hg灯对于微波的透射率。

3. 实验数据

微波通过Hg灯之后测得功率和频率的关系曲线如下：

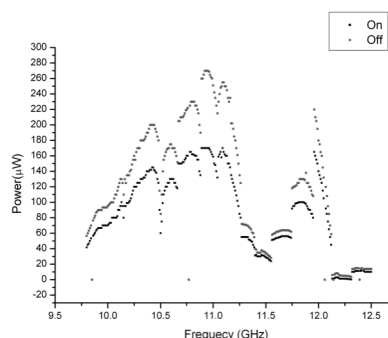


图4.微波通过Hg灯后功率与频率关系曲线

开启Hg灯和关闭Hg灯的曲线大致相同，开启Hg灯时，功率相对变小。此变化并非是

由二能级系统引起,而是由Hg蒸气的散射所导致。

将两组功率相比,作功率比,(即透射率)与频率关系曲线,如下:

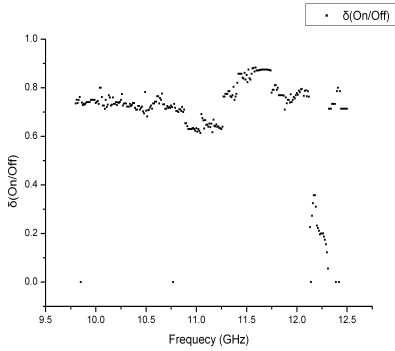


图5.微波通过Hg灯后功率比(透射率)与频率关系曲线

透射率总体上在一恒定值附近,但在12.1至12.3GHz区间有明显下降,此区间透射率变小的原因正是因为二能级系统的存在。此下降形成一个明显的透射谷(吸收峰)。

将11.5GHz至12.5GHz区间数据做高斯拟合,结果如下:

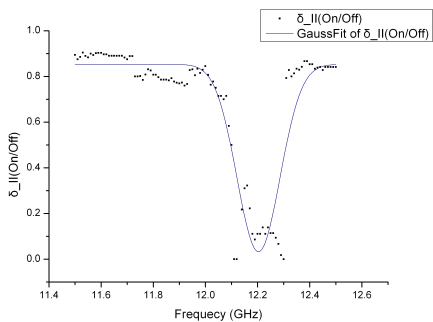


图6. 功率比(透射率)与频率关系高斯拟合曲线

高斯峰所在位置为12.20GHz与之前的理论预测相符。

4. 结论

观察到吸收峰有利地证明了等效二能级系统在Hg灯系统中的客观存在;实验结果同时反映该效应较强。由此可得出结论,即使在气体这样相互作用较弱的系统中,在一定条件下,原子之间的耦合是可以观察到。

本实验所提出的这一实验方法对于更简便准确地观察和测量超精细结构有着非常积极的价值。

本实验中吸收率最大处的吸收率达到了90%,在12.1GHz到12.3GHz的范围内吸收率也维持在70%以上。即使仪器的测定的功率有30%的误差,噪声信号的波动范围仍然显著小于70%的下降。半高宽为0.19GHz。气压扫描式Fabry-Perot标准具的AD卡可读得15位有效数字;Fabry-Perot标准具的间隔误差小于0.1%,并且实际峰的展宽为5%,然而通过此装置估读出的范围是现有结果的5倍。造成这一差别的原因在于,后者的方法是在GHz的光谱上测定两个频率差在GHz的峰之间的间隔,而本实验则是直接测定对于一个GHz的电磁波的吸收,故对分辨率的要求低了4个数量级。这一要求的降低大大提高了实验的简便度和操作性。

5.感谢

感谢复旦大学物理实验中心马世红教授给予的支持,以及白翠琴、汪人甫老师的帮助。

参考文献

- [1]杨福家.原子物理学(第三版).北京:高等教育出版社.2000
- [2]伍长征.激光物理学.上海:复旦大学出版社.
- [3]戴道宣 戴乐山.近代物理实验(第2版).北京:高等教育出版社,2005
- [4]胡晓倩 乐永康.微波元件的参数测量.复旦大学.2009(未发表)