

用调制低能级粒子布居数抑制能级交叉信号

张 诏 祥

(西北大学物理系)

Suppression of signals from cross energy levels by modulation of population in lower energy levels

Zhang Zhaoxiang

(Department of Physics, Northwest University)

饱和光谱广泛应用于研究原子结构,它的分辨率低于多普勒加宽是很容易做到的,所观察的谱线线宽,常常非常接近自然线宽。然而,假如几个原子跃迁落入多普勒加宽曲线之内时,附加地共振,即能级交叉信号,将出现在规则的原子谱线之间。能级交叉信号并不提供任何光谱信息,反而增加了所观察谱线的复杂性,降低最终可能获得的光谱分辨率。

这里,我们将报告用修正饱和光谱的方法,能够大大抑制或消除能级交叉信号。为证实该技术的正确性,将其应用于钠 D_1 线的测量。两个连续调谐染料激光器,分别用两台氩离子激光器泵浦,经过稳频系统的激光输出,其带宽大约为 2 兆赫。第一个激光器频率连续调谐,和通常的饱和光谱装置一样,激光束分为检验光束(P)和饱和光束(S_1),调制频率为 f_1 。两束光(P, S_1)是线偏振的,但是彼此垂直。用附加外磁场补偿垂直于饱和光束极化方向的其他磁场。从锁相放大器探测系统则得到调制频率是 f_0 的钠 D_1 谱线饱和光谱。因为塞曼简并性和 $^3S_{1/2}$, $^1P_{1/2}$ 态的超精细结构,所以速度选择光泵是所观测信号的主要机理。而原子跃迁饱和不是主要原因。文章指出,能级交叉信号出现在原子跃迁 $F=2 \rightarrow F'=1, 2$ 和 $F=1 \rightarrow F'=1, 2$ 之间,以及他们的三重谱线中间。

为抑制能级交叉信号,使用从固定频率的第二个激光器分出的附加饱和光束 S_2 。饱和光束 S_2 的调制频率是 f_2 。两个饱和光束共线,以相同的极化方向通过样品盒。为避免两饱和光束功率强度太大,引起谱线强度加宽。选取它们的强度,仅仅只有几个微瓦/毫米²,而检验光束强度,保持低于 1 微瓦/毫米²。第二个激光器的频率,调谐到从能级 $^3S_{1/2}: F=1$ 或 $F=2$ 态起始的原子吸收谱线中心。为方便起见,选择一个 D_1 线的超精细结构能级。实验上,采用锁相放大器作为监视设备;使第二个激光器稳定到 $F=1 - F'=2$ 吸收跃迁中心。在此方法中, $F=1$ 和因为光泵而形成的 $F=2$ 态的粒子布居数,只对轴向速度 $|V_{11}| = \Gamma/2k$ 的原子,用频率 f_2 调制;这里, Γ 表示光跃迁的自然线宽。调谐第一个激光器频率,横过钠 D_1 线,测量和频率 $(f_1 + f_2)$ 检验光束的透射率。只有那些具有零轴向速度 ($|V_{11}| \leq \Gamma/2k$) 的原子的饱和信号才能测量到。

于是,我们得到规则的原子跃迁交叉信号被消除,或大大地抑制掉了。

文章用简单的烧孔模型解释其工作原理。并指出所论述的实验技术,可以应用于简化原子和分子系统的饱和光谱。

注:本工作是作者在德国柏林自由大学进修期间与努以·科曼 (Neukammer) 和林登贝格 (Rinneberg) 博士合作进行的。