

原子中的宇称不守恒

冯国华

引言

自从 1956 年以来,在原子核的 β 衰变中和在基本粒子的弱相互作用中宇称不守恒、中性流存在以及弱电统一理论(简称 W-S 理论)不断地得到证实. 原子中是否存在宇称不守恒弱相互作用效应? 这个问题已成为物理学家近十多年来研究的一个重要课题.

原子是一个由原子核和电子组成的系统,在这个系统中存在弱相互作用和电磁相互作用以及这两种相互作用间产生的干涉,因此,原子中的宇称不守恒问题可以在物理实验中进行研究.

旋光实验

用旋光实验寻找原子中宇称不守恒效应,首先是在

美国的华盛顿西雅图(1974 年)、英国的牛津(1975 年)、苏联的新西伯利亚(1979 年)和莫斯科等四个实验室开始进行的,都是选用铯原子作实验. 铯原子的有关能级和跃迁如图所示.

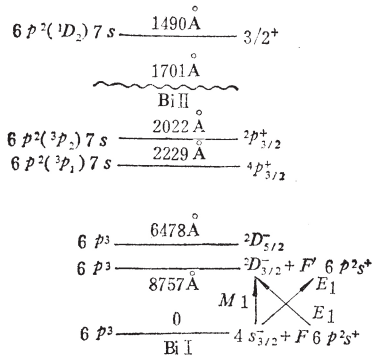


图 1 ^{83}Bi 的能级

华盛顿的实验用的是 $J = 3/2 \rightarrow J = 3/2$ 线, 8757 \AA ; 其他几个组都是用 $J = 3/2 \rightarrow J = 5/2$ 线, 6474 \AA .

上述实验,装置各异,原理相同. 测量的量都是 $R = Im(E_1/M_1)$, 其中 M_1 是有关的吸收线的磁偶极振幅, E_1 是宇称不守恒感生的电偶极振幅. 在磁偶极跃迁中,电子的初态和末态通常有相同的宇称, E_1 为零. 考虑到电子和核子的宇称不守恒相互作用的影响,使

得电子的初态和末态要附加一个由宇称不守恒引起的电偶极跃迁,即除了磁偶极跃迁外,要在 M_1 上附加一个小的 E_1 . 这两种偶极子联合使光偏振面旋转了一个角度

$$\phi_{PNC} = -\frac{4\pi l}{\lambda}(n-1)R,$$

其中, n 是磁偶极折射率, λ 是波长, l 是光程. 也就是说,所有的旋光实验都是利用 ϕ_{PNC} 随波长的特征变化来把它和仪器中的其他旋转分辨开来. 通过测量 ϕ_{PNC} 就可确定出 R 的实验值. 实验和理论比较的东西就是 R .

斯托克干涉实验

斯托克干涉实验是由法国的布歇雅夫人等于 1974 年提出来的. 从那时起,这种实验在法国巴黎铯,美国的伯克利用铯开始进行. 这两种元素原子的能级和跃迁如图 2 所示.

Cs 用的是 $6^2S_{1/2} \rightarrow 7^2S_{1/2}$, 5393 \AA , Tl 用的是 $6^2P_{1/2} \rightarrow 7^2P_{1/2}$, 2927 \AA . 如果用 M_1 跃迁波长的圆偏振光照射原子蒸汽,监视从较高态发出的荧光,随着入射光圆偏振方向变化引起的荧光强度的改变,原则上能测出原子中宇称不守恒效应.

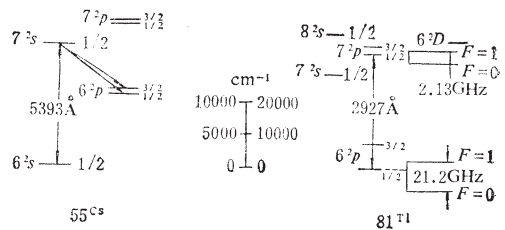


图 2 铯和铊的有关能级

实际上 M_1 跃迁是非常弱的,其他背景光可能比要观测的荧光大得多. 因此,加一个强电场 E_s , 便可在同宇称二态之间感生一个不为零的斯托克 E_1 , 此斯托克 E_1 和宇称不守恒的 E_1 跃迁间有干涉效应. 对铯而言,用 5393 \AA 的圆偏振光照射,则态 $7^2S_{1/2}$ 原子产生电子极化,此电子极化和两种 E_1 跃迁的干涉效应有关. 而电子极化又影响 $7S \rightarrow 6P$ 跃迁沿激光入射方向发射荧光光子的圆极化程度. 故可以通过观测荧光光子的圆极化程度来研究原子中宇称不守恒效应.

实验结果与结论

1982 年 8 月,法国赫兹电磁波谱研究所布歇雅夫人等,用斯托克干涉实验的方法在 Cs 原子($6^2S_{1/2} \rightarrow 7^2S_{1/2}$ 态跃迁, 5393 \AA) 中测得的实验结果是:

$$I_m E_1^P V / \beta = -1.34 \pm 0.22 \text{ (统计误差)} \pm \sim 0.11$$

(系统误差) mv/cm ,

其中, E^{PV} 是宇称不守恒电偶极振幅, β 是极化矢量. 由建立在 W - S 理论上计算得出的理论值 $I_m E^{\text{PV}} / \beta = -1.63 \text{ mv/cm}$. 可见, 实验与理论结果基本符合, 因此, 可认为已测到了原子中的宇称不守恒效应.

1983年9月, 美国华盛顿大学埃蒙斯等人, 通过旋光实验测得铅 ($^3P_0 \rightarrow ^3P_1$ 态磁偶极跃迁, $1.28 \mu\text{m}$ 线) 的结果是:

$$R = I_m(E_1/M_1) = (-9.9 \pm 2.5) \times 10^{-8},$$

其中误差包括统计误差和系统误差两部分. 在实验精度范围内, 这个结果与从 W - S 理论计算的理论值 $R = -13 \times 10^{-8}$ 符合得很好.

事实上, 除了在铯的 $0.539 \mu\text{m}$ 线和铅的 $1.28 \mu\text{m}$ 线已测到了宇称不守恒效应外, 前面提到的美国、英国和苏联的四个实验室亦都分别比较粗糙地在铯原子的 $0.786 \mu\text{m}$ 线和 $0.648 \mu\text{m}$ 线中观测到了宇称不守恒效应.