

光抽运实验中的微波-射频多量子跃迁

刘淑琴 董太乾

(北 京 大 学)

1983年12月8日收到

提 要

在 ^{87}Rb 气泡光抽运实验中,我们同时用微波场和射频场作用在 ^{87}Rb 原子上,观察到了 ^{87}Rb 原子基态微波-射频多量子跃迁的光检测共振谱线。

在 ^{87}Rb 原子的光抽运实验中,可以观察到二类磁共振跃迁。一类是在 ^{87}Rb 原子基态的塞曼子能级之间的跃迁,在地磁场下这类跃迁的共振频率为几百千赫的射频频率。另一类跃迁是在 ^{87}Rb 原子基态超精细分裂后的能级之间的跃迁,其共振频率为几千兆赫的微波频率。对于前一类跃迁,早已有文献报道观察到射频多量子跃迁^[1]。对于后一类跃迁,迄今还未见报道观察到多量子跃迁。我们用 ^{85}Rb 灯不经滤光泡直接抽运 ^{87}Rb 气泡的光抽运方案^[2],同时用微波场和射频场作用在 ^{87}Rb 气泡中的 ^{87}Rb 原子上,观察到了微波-射频多量子跃迁。

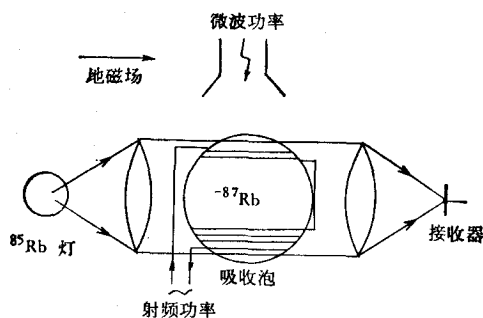


图 1

实验装置如图1所示。其中微波源的频率是调制的,为了增加调频范围,我们没有采用高稳定度晶振经倍频综合而成的微波源,而用速调管振荡器作为微波源,其输出功率约为20 mW。由于微波功率较大,所以 ^{87}Rb 气泡不需放在微波谐振腔中也能观察到较强的微波共振讯号。在 ^{87}Rb 气泡壁上绕一个射频线圈以提供射频磁场,射频讯号发生器输至线圈的射频功率也在20 mW左右(1V, 50 Ω)。射频频率是不调制的。

实验结果如下:当关掉射频讯号发生器,只有微波场作用在 ^{87}Rb 原子上时,观察到七条微波共振谱线,这是一般的单量子跃迁共振线。这七条线对应的能级跃迁如图2所示。其中跃迁(2)和(3)频率相等,故实验上只看到一条线,跃迁(6)和(7)也是这样。当同时加上射频场后,原来每一条微波共振谱线再分裂成等距离的七条线,如图3所示。所以

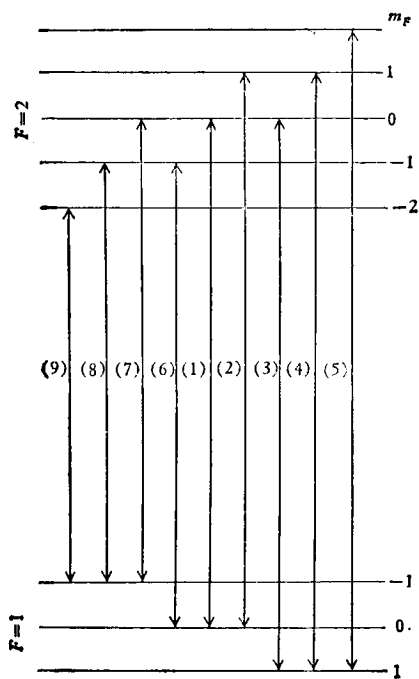


图 2

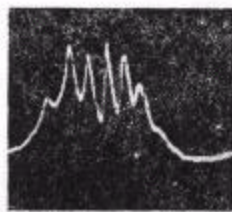
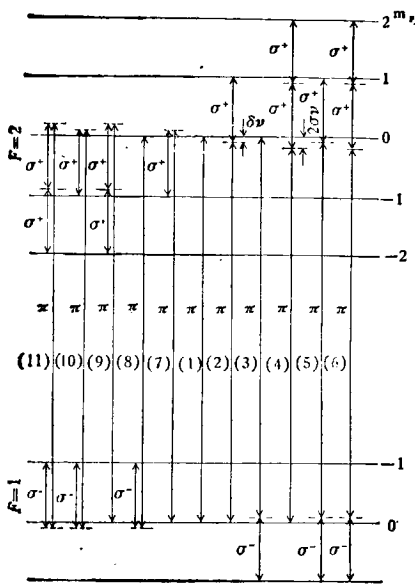
(a) $|1, 0\rangle \leftrightarrow |2, 0\rangle$ 线分裂成七条线(b) $|1, -1\rangle \leftrightarrow |2, -1\rangle$ 线分裂成七条线

图 3 谱线分裂的两个例子

这时一共可以观察到 $7 \times 7 = 49$ 条微波共振谱线。

当射频频率越来越接近 ^{87}Rb 原子基态塞曼能级之间的跃迁频率时，原来每一条微波共振谱线分裂开的七条线都向原谱线的位置（即无射频场时的位置）靠拢，图 3 所示两张照片都是在这种情况下拍摄的。当射频频率越来越远离 ^{87}Rb 原子基态塞曼能级之间的跃迁频率时，这七条分裂开的线也越来越散开，同时其中六条线（对应多量子跃迁）的强度越来越弱，只有原谱线（对应单量子跃迁）的强度不变。

这个实验结果可以用微波-射频多量子跃迁来加以解释。图 4 所示以原谱线为 $|1, 0\rangle \leftrightarrow |2, 0\rangle$ 跃迁为例来说明当同时加上微波场和射频场时它如何分裂成七条线的。这里假定射频频率比基态塞曼能级之间的跃迁频率高 $\delta\nu$ ，图 4 中虚线代表虚能级，每一个跃迁对应什么偏振的光子也已在图 4 中标出。图 4 中中心部分所示的跃迁 (1) 是单量子 $|1, 0\rangle \leftrightarrow |2, 0\rangle$ 跃迁，其频率为 ν_0 。图 4 中右半部分对应的是微波频率略低于 ν_0 的五个多量子跃迁。其中跃迁 (2) 和 (3) 的微波频率为 $\nu_0 - \delta\nu$ ，它们是一个微波量子加一个射频量子的跃迁，由于它们的频率相等，所以在实

图 4 与 $|1, 0\rangle \leftrightarrow |2, 0\rangle$ 跃迁有关的单量子和多量子跃迁

在实

验上只反映为一条线. 跃迁(4)和(5)的情况类似,但它们的微波频率为 $\nu_0 - 2\delta\nu$, 它们是一个微波量子加两个射频量子的跃迁. 跃迁(6)的微波频率为 $\nu_0 - 3\delta\nu$, 它是一个微波量子加三个射频量子的跃迁. 图4中左半部分对应的是微波频率略高于 ν_0 的五个多量子跃迁. 跃迁(7)和(8)的微波频率为 $\nu_0 + \delta\nu$, 它们也是一个微波量子和一个射频量子的跃迁,也由于频率相等在实验上只反映为一条线. 跃迁(9)和(10)的情况类似,但它们的微波频率为 $\nu_0 + 2\delta\nu$, 它们是一个微波量子加两个射频量子的跃迁. 跃迁(11)的微波频率为 $\nu_0 + 3\delta\nu$, 它是一个微波量子加三个射频量子的跃迁.

对于原谱线为非 $|1,0\rangle \longleftrightarrow |2,0\rangle$ 跃迁的其它六条微波单量子跃迁共振谱线,可以用完全类似的方法来分析它们每一条如何又分裂成七条线的,这里就不一一加以分析. 对于 $|1,-1\rangle \longleftrightarrow |2,-2\rangle$ 跃迁和 $|1,1\rangle \longleftrightarrow |2,2\rangle$ 跃迁,能够观察到它们中的每一条线分裂成七条线意味着观察到一个微波量子 and 多达六个射频量子的多量子跃迁.

在上述实验结果中, $\delta\nu$ 越小,多量子跃迁的谱线强度越强, $\delta\nu$ 增加,则多量子跃迁谱线强度越弱. 这一点完全符合多量子跃迁几率的理论^[3], 因当 $\delta\nu$ 小时,虚能级和实能级之间的距离变小,故多量子跃迁几率增加.

另外,由图4可以看出跃迁(4)对应 $\Delta m_F = +2$, 跃迁(9)对应 $\Delta m_F = -2$, 这两个跃迁是单量子跃迁无法实现的,只有多量子跃迁才能实现.

参 考 文 献

- [1] J. M. Winter, *Ann. Phys. (Paris)*, **4** (1959), 745.
- [2] 杨 丰、刘淑琴、董太乾,物理学报, **33**(1984), 116.
- [3] Eugen Merzbacher, *Quantum Mechanics*, (1961).

THE MICROWAVE-RADIO FREQUENCY WAVE MULTI-QUANTUM TRANSITION IN OPTICAL PUMPING EXPERIMENT

LIU SHU-QIN DONG TAI-QIAN
(Peking University)

ABSTRACT

In the optical pumping experiment for ^{87}Rb gas cell, when the microwave and radio frequency wave are applied simultaneously, the optically detected resonance signals of microwave-radio frequency wave multi-quantum transition are observed.