

^{24}Mg 核 11.528 MeV 能级的验证

施德堂 郭箴第 杨福家¹⁾

上海复旦大学原子核科学系

1989 年 2 月 20 日收到

本文介绍用 γ 共振吸收法检验 ^{24}Mg 核 11.528 MeV 能级的实验结果。实验中在此能级的附近能区意外地发现多个精细能级,数据分析给出这些能级的能量 E_i 和宽度 Γ_i 等数据,同时还获得了与以往数据不同的发射能级宽度 Γ_e 。

PACC: 2110M;2320C

1986 年,牛津大学 Pringle 等人用 $^{12}\text{C}(^{16}\text{O}, \alpha)^{24}\text{Mg}$ 重离子反应和反冲符合技术,对 ^{24}Mg 核 10—12 MeV 能区的能级作了系统的测量^[1],在他们所测到的 39 个能级中,有 37 个数据与以往的实验数据一致,但在原 11.389 和 11.519 MeV 两能级附近又各测到一个新能级,能量分别为 11.394 和 11.528 MeV。这两个新能级都是在反冲核 ^{24}Mg 与 α 粒子的符合谱中测到的,它们都有较大的 γ 跃迁相对强度。由于该实验方法的总能量分辨率只有 25—30 keV,有关这两个新能级的报道很难得到确认。

对 ^{24}Mg 核 11.519 MeV 附近的能区,过去曾有许多人作过研究^[2-6],均没有发现 11.528 MeV 这个能级,而此能级的存在与否对研究 ^{24}Mg 这样的形变的偶偶核性质将很有帮助,值得进一步验证。

考虑到 γ 共振吸收法^[7]的总能量分辨率通常只有几百电子伏特,足以将 ^{24}Mg 核 11.528 MeV 这个新能级和原 11.519 MeV 能级分开,我们决定用此法来进行验证。

选用研究得比较仔细的 $^{27}\text{Al}(p, \gamma)^{28}\text{Si}$ 反应^[8]作为 γ 源,当质子能量 $E_p = 1.8$ MeV 时,放出 11.5421 MeV 的 γ 射线。发射的 γ 光子能量经 Doppler 移动补偿和反冲修正后,约在 109.5° 附近与 ^{24}Mg 核 11.528 MeV 能级共振匹配。实验的管道系统和测量系统见文献[6]。所不同的是在这里靶室作了改进,具有纵向轴旋转对称性,靶子可以方便地绕纵轴转动和连续升降以利于换靶与观察。实验过程中,靶管内的真空一直维持在 10^{-6} Torr 水平;Al 靶厚约 20 keV,吸收体用 8 cm 厚的天然 Mg 制成;测量共振吸收曲线时,靶上平均束流为 $3 \mu\text{A}$,束点直径为 1 mm;靶衬底直接由高速流动的水冷却,靶子经过几十个小时的轰击,产额基本保持不变,也看不到明显的沾污;主探测器和监测探测器均由高纯锗探测器担任;主探测器前的矩形准直孔大小为 $15 \times 6 \times 0.4 \text{ cm}^3$,对束点的水平张角为 0.8° ;测量系统用 $E_p = 992 \text{ keV}$ 的 $^{27}\text{Al}(p, \gamma)^{28}\text{Si}$ 共振反应^[9]和 ^{60}Co , ^{137}Cs 源的 γ 射线校刻能量线性度。文献[9]中所测到的该共振反应所放出的一组 γ 射线,我们都清楚地测到且干扰反应更少。考虑到待测能级能量值的误差,为确保不漏测待测能级,并考查其相邻能区的能级性质,将共振吸收实验的测量范围放宽到 $100^\circ - 120^\circ$ 即 E_i 位于 11.532—

1) 中国高等科学技术中心(世界实验室)。

11.523 MeV 之间。先以 0.5° 的步幅往返多次进行粗测以寻待测能级的确切位置,然后再以 0.25° 的步幅反复进行细测。粗测和细测的相对透射强度分别如图 1 和图 2 所示,这里图 2 中细测的相对强度在 $\theta = 113^\circ$ 附近的几个实验点因实验时加速器状态发生突变,故误差较大。

从图 1 可以看出,图 1 中两条曲线的基线部分(实线所示)在实验误差范围内是比较平滑的,没有明显的起伏现象,这表明靶室系统、测量系统和 γ 源对透射率的影响是均匀变化的,不会产生明显的共振吸收现象,至于整个基线的弯曲相当显著,主要是由于实验所测量的角度范围较大,转台中心相对束点总

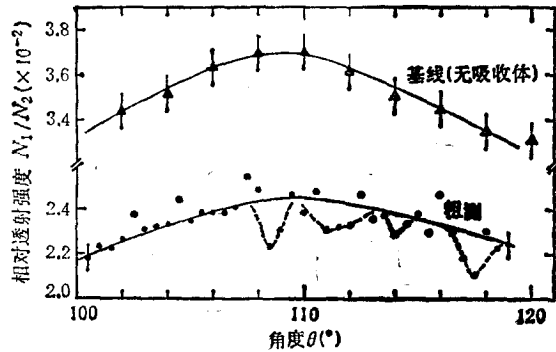


图 1 γ 共振吸收实验的本底基线(上)和粗测的透射强度曲线(下) 图中粗测实验的数据误差只标了首尾二个代表点

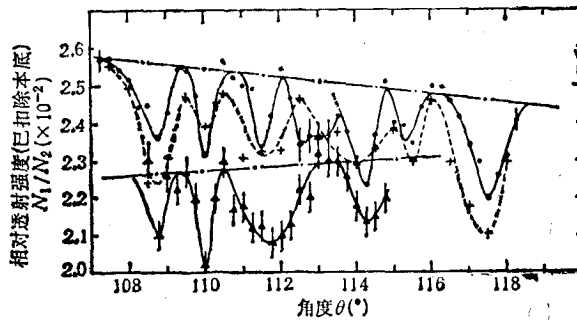


图 2 γ 共振吸收实验的相对透射强度 + 为细测(上); +... 为粗测(中); +... 为使用另一靶室测得的(下); ●, +, ▲ 为实验点;曲线为示意曲线

有一定偏心度所致。粗测实验点在 107° 以上偏离基线较远,表明在这里可能存在共振吸收。

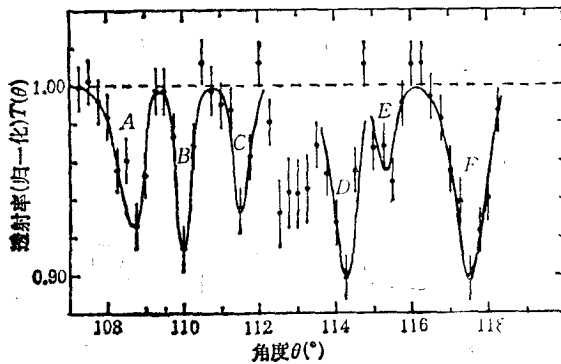


图 3 γ 共振吸收法实验的归一化透射率 (图中的光滑曲线为拟合曲线)

细测的 γ 透射强度曲线经过基线修正便可得到归一化的透射率曲线,如图 3 所示。

图 3 表明,在 $107-119^\circ$ 范围内,透射率存在多个明显的共振吸收谷。为检验实验结果的正确性,采取以下几条措施: 1) 使用不同结构的靶室,在不同的实验几何条件下重复实验如图 2; 2) 分析吸收体和靶室外壳中其他核素的含量及其现有能级资料,并排除发射核能级和吸收体中电子吸收

效应的影响; 3) 检验并改善探测与记录系统; 4) 进行统计性分析等。检验结果表明,图

3 所示的吸收谷,既不是由于实验因素造成的实验误差和统计涨落,也不是吸收材料中其他核素已知的相应能级的共振吸收所产生. 这表明, Pringle 等人所发现的 11.528 MeV 能级是存在的,但它并不是单个能级,而是由一组精细结构能级所形成的包络,这些精细结构是 Pringle 的实验无法分辨的.

γ 共振吸收实验的数据处理采用 80 年代初 Biesiot 提出的直接计算透射率拟合实验数据的方法^[10].

$$T(\theta) = \frac{\Gamma_a}{\Gamma_e} \frac{1}{\sigma\pi\sqrt{2\pi}} \int_{-b}^{+\infty} dx \exp\left[\frac{-n\sigma_0}{1+x^2}\right] \int_{\theta-\alpha}^{\theta+\alpha} d\theta' \frac{\exp[-(\theta' - \theta)^2/(2\sigma)^2]}{\left[\frac{E(\theta') - E_a - \Gamma_a x/2}{\Gamma_e/2}\right]^2 + 1},$$

式中 $x = 2(E - E_a)/\Gamma_a$, $b = 2E_a/\Gamma_a$, $\alpha = 5\sqrt{2}\sigma$. Γ_e , Γ_a 分别为发射和吸收的能级宽度, $E(\theta)$, E_a 分别为出射 γ 光子能量和被共振吸收的 γ 光子能量, σ 为仪器分辨率宽度, n 为吸收体单位面积上的吸收核数, σ_0 为 γ 共振吸收截面的最大值.

拟合时将 Γ_e , $n\sigma_0$, σ 和 Γ_a 作为待拟合参数,运用梯度展开法^[11]搜索最小 χ^2 值. 对于图 3 中的这些吸收谷,由于 Γ_e 是共享的, $n\sigma_0$ 和 σ 是相关的,故先采用逐个拟合的方法,然后再对其中比较完整的 A, B, F 三个吸收谷进行联立拟合,拟合结果列于表 1. 此外,考虑到本次实验与文献 [6] 实验所用的 γ 源是相同的,因此又对这二次实验的数据作联立拟合,拟合结果如表 2 所示.

表 1 本次实验的数据拟合结果

共振角 $\theta_R(^{\circ})$	共振能级 $E_r(\text{keV})$	$n\sigma_0$	$\Gamma_a(\text{eV})$	$\Gamma_e(\text{eV})$	$\sigma(^{\circ})$	χ^2
108.65	11528.3 \pm 0.4	0.111 \pm 0.007	178 \pm 3	25 \pm 8	0.156 \pm 0.003	0.249
110.00	11527.8 \pm 0.4	4.44 \pm 0.65	5.0 \pm 0.4	25 \pm 8	0.155 \pm 0.003	
117.50	11524.7 \pm 0.4	0.140 \pm 0.007	219 \pm 3	25 \pm 8	0.151 \pm 0.003	
111.50	11527.1 \pm 0.4	0.53	20.	27.	0.15	
114.25	11526.0 \pm 0.4	0.18	125.	27.	0.15	
115.50	11525.5 \pm 0.4	0.07	120.	27.	0.15	

表 2 本实验与 11.520 MeV 能级实验^[6]数据的联立拟合结果

共振角 $\theta_R(^{\circ})$	共振能级 $E_r(\text{keV})$	$n\sigma_0$	$\Gamma_a(\text{eV})$	$\Gamma_e(\text{eV})$	$\sigma(^{\circ})$	χ^2
108.65	11528.3 \pm 0.4	0.109 \pm 0.006	179 \pm 3	27.2 \pm 2.5	0.156 \pm 0.003	0.428
110.00	11527.8 \pm 0.4	4.57 \pm 0.56	4.7 \pm 0.3		0.155 \pm 0.003	
117.50	11524.7 \pm 0.4	0.143 \pm 0.004	214 \pm 3		0.151 \pm 0.003	
128.00	11520.7 \pm 0.4	0.595 \pm 0.021	27.7 \pm 9		0.100 \pm 0.002	
130.40	11519.8 \pm 0.4	0.173 \pm 0.011	40.1 \pm 3.5		0.095 \pm 0.002	

本实验在 ^{24}Mg 核 11.528 MeV 能级附近测量到一组精细结构能级,并给出这些能级的能量和总宽度等参数. 这组能级和相邻的 11.520 MeV (即 11.519 MeV) 能级的两个精

表 3 ^{28}Si 核 13320.9 keV 能级宽度的部分实验数据

作者	Lyons ^[13]	Meyer ^[14]	Mass ^[15]	Nelson ^[16]	Guo ^[6]	本文
年代	1969	1975	1978	1984	1986	1987
所用方法	Al(p, γ) 反应	Al(p, π) 反应	Al(p, γ) 反应	Al(p, p)(p, α_0) 反应	γ 共振吸收法	γ 共振吸收法
文献所给参数 及获取方法	$S_{p\gamma} = 14.8\text{eV}$ $\Gamma_e < 2\text{keV}$	$S_{p\gamma} = 15\text{eV}$ $S_{pp_1} = 390\text{eV}$ $S_{pp_2} = 85\text{eV}$ $S_{p\alpha_1} = 1.7\text{eV}$	$\Gamma_e < 200\text{eV}$	$\Gamma_p = 0.2\text{keV}$ $\Gamma_{p_1} = 0.2\text{keV}$ $\Gamma_{p_2} = 50\text{eV}$	$\Gamma_e = 450\text{eV}$ 作为已知参数 引入	$\Gamma_e = 25 \pm 8\text{eV}$ 透射率曲线的联 立拟合结果
Γ_e	$< 2\text{keV}$	$\approx 2.2\text{keV}^*$	$< 200\text{eV}$	$> 450\text{eV}^*$	450eV	$25 \pm 8\text{eV}$

* 此数据是根据文献中所给参数估算出的。

细结构^[6], 它们的能级间距比 Gilbert 和 Cameron 理论估算所得到的 40 keV 的平均能级间距小得多^[12], 这组高密度能级的存在, 在物理上意味着有新的机制存在, 需要作进一步的研究。

对于发射能级宽度 Γ_e , 本实验的拟合结果为 $25 \pm 8\text{eV}$, 见表 1。对此能级过去也曾有许多人作过研究, 直接或间接地给出了此能级宽度, 表 3 列举其中几个有代表性的实验结果。从表 3 可以看出, 这些实验所给出的能级宽度数据之间的一致性是很差的。Lyons 和 Meyer 的文章中没有给出实验的能量分辨率和数据误差; 在 Nelson 的实验中, 总能量分辨率 FWHM 约 400 eV; 而 Mass 的实验中, 束流及热运动所引起的能散对 1.0MeV 的质子总分辨率宽度 FWHM 为 $120 \pm 10\text{eV}$ 。本工作所用的 γ 共振吸收法能量分辨率比较高, 数据单独拟合和联立拟合的重复性也比较好, 所得的结论与 Mass 的实验结果一致, 比较合理。

- [1] D. M. Pringle *et al.*, *Priv. Comm.*, Submitted.
- [2] K. Itoh *et al.*, *Phys. Rev.*, **C23**(1981), 945.
- [3] H. Zarek *et al.*, *Phys. Rev.*, **C29**(1984), 1664.
- [4] P. Schmalbrock *et al.*, *Nucl. Phys.*, **A398**(1983), 279.
- [5] MJLe Vine *et al.*, *J. Phys. G, Nucl. Phys.*, **10**(1984), 1549.
- [6] Guo Zhendi *et al.*, *Scientia Sinica*, **A12**(1986), 92.
- [7] P. B. Smith *et al.*, *Phys. Rev.*, **110**(1958)397, 1442.
- [8] P. M. Endt *et al.*, *Nucl. Phys.*, **A310**(1978), 1.
- [9] A. Anttila *et al.*, *Nucl. Instr. Meth.*, **147**(1977), 501.
- [10] W. Biesiot, *Elastic Scattering of Mono-energetic Polarized Photons and Related Spectroscopic Studies*, Druk veenstra-Visser Offset Groningen, (1981), p. 86.
- [11] P. R. Bevington, *Data Reduction and Error Analysis For the Physical Sciences*, McGrawHill Book Company, New York, (1970).
- [12] A. Gilbert *et al.*, *Can. J. Phys.*, **43**(1965), 1446.
- [13] P. B. Lyons *et al.*, *Nucl. Phys.*, **A130**(1969), 1.
- [14] M. A. Meyer *et al.*, *Nucl. Phys.*, **A250**(1975), 235.
- [15] J. W. Mass *et al.*, *Nucl. Phys.*, **A301**(1978), 213.
- [16] R. O. Nelson *et al.*, *Phys. Rev.*, **C29**(1984), 1656.

EXPERIMENTAL VERIFICATION OF THE 11.528 MeV STATE IN ^{24}Mg

SHI DE-TANG GUO ZHEN-DI

YANG FU-JIA

Department of Nuclear Science, Fudan University, Shanghai

(Received 20 February 1989)

ABSTRACT

This work gives the experimental verification about the existence of the 11.528 MeV state in ^{24}Mg which was newly discovered with the recoil-coincident technique in HI reaction. Resonant γ -ray absorption method has been used. Several dips have been observed in the resonance absorption transmission curve and recognized to be the fine structure around the 11.528 MeV excited energy level. The excitation energy and level width were deduced for each sub-level and the total width of energy level 13.321 MeV in emitting nucleus ^{28}Si was also obtained from data fitting procedures.

PACC: 2110M;2320C