

联合在束 γ 装置的实验测量*

郭应祥 孙相富 罗亦孝 雷祥国 孙锡军
徐晓冀 赵之正 王积成 余坚芳

(中国科学院近代物理研究所,兰州)

温书贤 李生岗 翁培堃 花鹏飞 李广生
袁观俊 竺礼华 张兰宽 余泮水 杨春祥

(中国原子能科学研究院,北京)

摘 要

构成联合在束 γ 实验装置的四套带有对称型和六套带有非对称型 BGO 康普顿抑制的高纯锗探测器装置,已分别在北京中国原子能科学研究院和兰州中国科学院近代物理研究所完成研制测试。用该联合装置最近进行了首批在束实验。本文着重对实验装置、实验测量的一般情况以及康普顿抑制性能做了讨论。对 ^{121}Cs 测到的 $25/2^+$ 是目前 Cs 各同位素中带头为 $9/2^+(1g9/2$ 质子空穴态), $\Delta J = 1$ 级联中自旋最高的能级。

一、引 言

在束 γ 测量是研究核谱学,特别是高自旋态谱学的重要方法。近十年来,又发展了由多个带有 BGO 康普顿抑制的高纯锗探测器构成的探测器阵列。这种大型的谱仪把核谱学研究推进到了一个新阶段;它的最典型成就是率先发现了 ^{152}Dy 的超形变带并把分离 γ 谱线的最高自旋态推进到 $50-60\hbar^{[1]}$ 。

原子能研究院和近代物理研究所也已研制和发展了类似的探测器系统——联合在束 γ 装置——JIBGE (Joined In Beam Gamma Equipment), 本文报道它的构成及它的首批在束实验情况。

二、联合在束 γ 装置的构成

JIBGE 是由四套带对称型(即 γ 射线入射方向与 Ge 探测器轴向一致)和六套带非对称型(γ 入射方向与 Ge 探测器轴向成 90°) BGO 康普顿屏蔽的 N 型高纯锗探测器

本文 1989 年 10 月 4 日收到。

* 国家自然科学基金项目。

组成。四套对称型 BGO 屏蔽是由原子能研究院设计, 用上海硅酸盐所生产的 BGO 晶体制成。每个 BGO 屏蔽由六个小光电倍增管来收集放大光输出信号, 其能量分辨为 30% (^{137}Cs 源)。对 Ge 探测器测到的时间分辨 FWHM 为 40ns。对 ^{60}Co 源测到的康普顿抑制系数 K 与能量的关系是: 100—500keV, $K = 2.8$; 500—700keV, $K = 4.2$; 700—900keV, $K = 5.3$ ^[2]。六套非对称型 BGO 屏蔽是由近代物理所参照文献 [3] 的计算数据设计, 由荷兰 Harshaw 公司制造的。BGO 输出光信号由一个大光电倍增管收集。对 ^{137}Cs 源测到的能量分辨 < 35%。与 Ge 探测器的时间分辨为 50ns, 对 ^{60}Co 源测到的平均康普顿抑制系数 (> 50keV) 是 7^[4], 这与文献 [3] 的计算结果基本相符。全部十个 N 型高纯锗探测器均是由美国 Ortec 公司生产, 效率分别为 10%—30% 不等, 能量分辨为 1.8—2.2keV。在每个 BGO 前有一带圆锥形准直孔的 Pb 屏蔽, 从靶子来的 γ 射线通过准直孔射到 Ge 探测器上, 而被 Pb 挡住不能直接射到 BGO 晶体上。

三、电子学框图和 γ - γ 符合时间分辨

JIBGE γ - γ 符合测量中所采用的电子学线路原理框图示于图 1。由 BGO 屏蔽和 Ge 探测器产生的输出脉冲经过反符合线路 A 去除了大部分康普顿事件, 作为反符合输出的主要是 Ge 探测器中的全能峰事件。由于 BGO 康普顿抑制器的有限大小以及在其上留有 γ 入射孔和 HpGe 探测器的插入孔, 所以仍有部分康普顿散射 γ 光子或穿出 BGO 晶体或从上述两个孔逸出而没有被 BGO 晶体探测到, 因而仍有少量康普顿事件被记录。这样在多重逻辑单元 B 中实现的主要是各个 HpGe 探测器全能峰-全能峰事件间的符合。

B 的符合输出经过扇出后, 分别再与每路探测器去除康普顿事件的 A 输出进行符合, 以鉴别该路探测器是否参与了在 B 中进行的符合。如果参与了, 则打开该路 Ge 探测器能量路的 ADC。使之能通过并被记录的主要是与其它 Ge 探测器全能峰事件相符合的全能峰事件, 大大地降低了康普顿散射造成的连续本底。

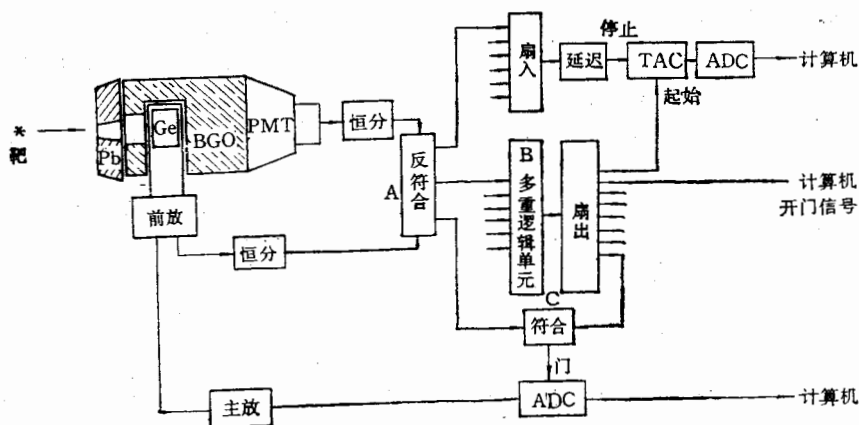


图 1 用于有 BGO 康普顿抑制的 γ - γ 符合测量线路的原理框图。图中仅画出一路, 其余各路用箭头代表

A. 去除 Compton 事件, B. 实现 γ - γ 符合, C. 鉴别该路是否参与 γ - γ 符合。

图中多重逻辑单元的符合脉冲输出时间是由符合输入中较迟的那个脉冲决定的, 而扇入线路输出脉冲时间则是由最先到的那个脉冲决定的. 把这两个输出脉冲分别作为开始和停止讯号送入 TAC; 这样对于符合的某两路 Ge 探测器来说, TAC 的开始讯号并不是固定那一路, 而总是两路中较迟的一路; 所以就得到了半个高斯型的符合时间分布曲线图 2. 它的 FWHM 是 7ns, 总宽度 40ns 是由输入该单元脉冲的宽度决定的. 实际上, 这条曲线是每两路 (在我们本次实验 6 路探测器的情况下, 共 15 组) 时间分辨曲线的叠加; 因此 7ns 包括两部分, 一是每一组本身的时间分辨, 另一部分则是各组之间的时间游动. 而后者可能也是造成明显涨落的主要原因.

四、在束实验测量

我们用三套对称型和两套非对称型的 BGO-Ge 探测器系统在北京原子能研究院串联加速器 HI-13 上进行了 $^{109}\text{Ag} + ^{19}\text{F}$, $^{112}\text{Sn} + ^{12}\text{C}$, $^{107}\text{Ag} + ^{28}\text{Si}$ 和 $^{58}\text{Ni} + ^{32}\text{S}$ 等反应的激发函数和在束 γ - γ 符合测量 (部分实验中还用了一台小的平面型高纯锗探测器, 这样线路上共是 6 路). 图 3 给出了在反应 $^{112}\text{Sn} + ^{12}\text{C}$ 中的 60MeV 能量时有康普顿抑制和无康普顿抑制的 γ - γ 符合下某一路投影谱的比较. 比较时, 我们在 200—800keV 之间选取了五个峰; 用它们在两个谱中的对应峰面积之比平均值 1.26 把两个谱归一后画在一起的. 显然有康普顿抑制时康普顿连续本底有明显的压低. 但这种用峰下面积归一的比较并不代表真正的康普顿抑制程度. 因为在符合测量中, 一个峰的计数 N_p 是由两部分组成的, 即

$$N_p = N_{pp} + N_{pc}$$

其中 N_{pp} 是与相关联的 γ 产生的全能峰的符合, 而 N_{pc} 是与相关联 γ 产生的连续康普顿成分的符合. 对于与无康普顿抑制的 Ge 探测器的符合, 取 $R = N_{pc}/N_{pp}$, 则有 $N_p = N_{pp}(1 + R)$. 而在与带 BGO 屏蔽的 Ge 探测器符合时, 由于其康普顿部分已被抑制了 K 倍, 所以 N_{pc} 也相应减少 K 倍, 因此有 $N_{pc}/N_{pp} = R/K$. 这时峰下计数 N_p' 可写为 $N_p' = N_{pp}'(1 + R/K)$. 在上述用两个峰面积归一的过程中, 取 $N_p = N_p'$, 则有 $N_{pp} = N_{pp}' \left[\frac{K + R}{K(1 + R)} \right]$. 在 γ - γ 符合测量中, 我们最感兴趣的是对某一特定能量峰的拉门谱,

在这个谱中峰下计数只是峰-峰符合 N_{pp} . 为了对康普顿抑制进行有意义的比较, 应使两种谱中相应的峰下计数 $N_{pp} = N_{pp}'$. 这样则应该把无康普顿抑制的谱扩大 $K(1 + R)/$

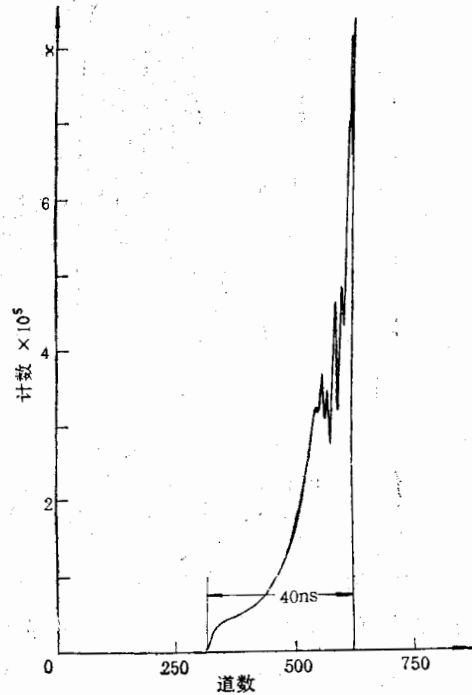


图 2 总符合时间分布

总宽度: 40ns, FWHM = 7ns.

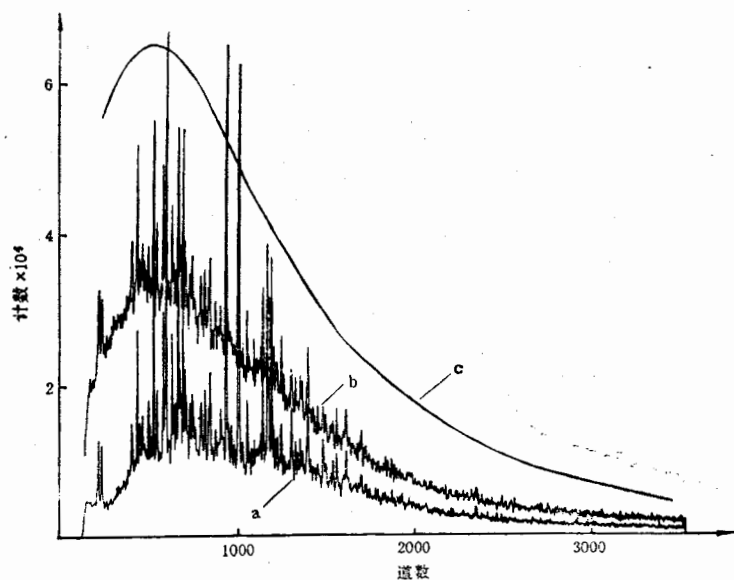


图3 康普顿抑制性能

反应为 $^{112}\text{Sn} + ^{12}\text{C}$, ^{12}C 能量为 60 MeV. a. 有康普顿抑制时某一路的投影谱. b. 去掉全部康普顿抑制后某一路的投影谱, 并用与 a 中峰面积相比归一. c. 预期经峰-峰符合归一后的康普顿本底(详见正文).

($K + R$) 倍. 在我们的实验中, $R \approx 4$, $K \approx 4$. 无康普顿抑制谱应扩大约 2.5 倍, 则其连续康普顿本底如图 3 中 C 曲线所示. 很明显, 对于较弱的 γ 射线来说, 有康普顿抑制的探测效果要好得多. 通过激发函数测量, 选定对反应 $^{109}\text{Ag}(^{19}\text{F}, 4n)^{124}\text{Ba}$ 的最佳能量是 75 MeV, 这与我们进行的 ALICE 程序计算相符合. 图 4 是测到的 γ - γ 符合下某一路部分事件的投影谱. 它有极低的连续本底, 可以清楚地识别直到 18^+ 的 Yrast 带跃迁.

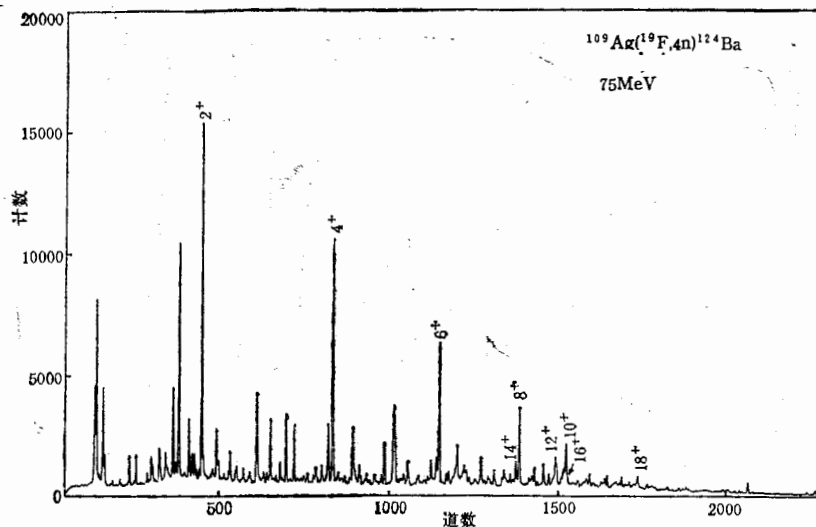


图4 γ - γ 符合下某一路部分事件的投影谱. 可以十分清楚地找到 ^{124}Ba 直到 18^+ 的 Yrast 带

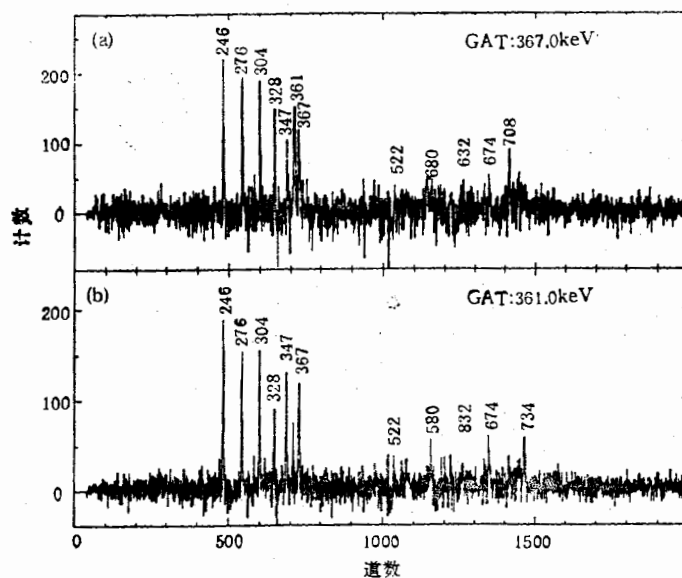


图 5 反应 $^{113}\text{Sn}(^{12}\text{C}, p2n)^{121}\text{Cs}$ 的 γ - γ 符合拉门谱
 a) 中 367 keV 和 b) 中 734 keV 的 γ 峰, 明确地显示 $25/2^+$ 新能级的存在

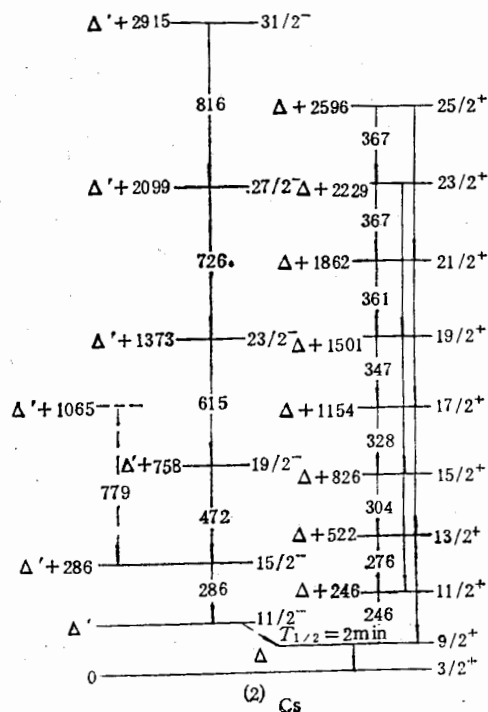


图 6 ^{121}Cs 的能级纲图^[1], 能量单位为 keV, Δ 与 Δ' 的值未知. 其中 $25/2^+$ 能级及相应的 367, 734 keV 跃迁是本工作中观测到的

由于很好地抑制了康普顿本底, 突出了全能峰-峰的符合, 因此即便在数据量较小的情况下, 经初步分析, 就能把一些自旋较高, 强度弱的跃迁识别出来. 例如在 $^{112}\text{Sn}(^{12}\text{C},$

$p2n$) ^{121}Cs , 60MeV 测量中,很容易地识别出原 ^{121}Cs 能级图中 ^{121}Cs (图 6), 建立在 $g\ 9/2$ 质子空穴态上,自旋差 $\Delta J = 1$ 能带上的 $23/2^+ \rightarrow 21/2^+$ 跃迁的 367keV γ 应是个双重线, 即从 $25/2^+ \rightarrow 23/2^+$ 的跃迁也是 367keV. 因为在用 367keV γ 拉门的谱中(图 5(a)) (需要说明,我们给出的拉门谱均是在该峰左右本底处拉门并将其扣除后的结果, 并经过拉门位置和宽度的多次尝试.)也可以清楚地显示 367keV 的峰. 这说明两个 367keV 的 γ 跃迁必然是级联的. 而在用 $21/2^+ \rightarrow 19/2^+$ 跃迁的 361keV γ 拉门的谱中(图 5(b)) 有清晰的 734keV 的峰,它应是从 $25/2^+ \rightarrow 21/2^+$ 的 E2 跃迁. 应该指出在这个谱中,有一能量约为 360keV 的弱峰, 而且它的存在是与从 361keV 峰左侧或右侧取本底无关. 另外在总投影谱中, 361keV 峰比其它正常的谱线宽. 但目前数据分析的程度还不能充分证明它也属于 ^{121}Cs 并可被放在能级图中适当的位置,故图中没有标出它的能量. 新测到的 $25/2^+$ 是迄今在 Cs 各同位素中 $9/2^+$ 能带上自旋最高的能级, 它进一步偏离了用 Meyer-ter-Vehn^[6] 模型做的一个 $g\ 9/2$ 质子空穴耦合到一个形变了的核实上的计算结果. 这种偏离可能是由于在计算中没有把核实的转动惯量随角动量的变化考虑进去的缘故. 本工作中新指定的 $25/2^+$ 能级和相应的新的 367keV 和 734keV 跃迁也标在了图 6 中.

五、小 结

联合在束 γ 装置已经建成, 首批实验表明装置本身和所用的电子学线路是成功的. 特别是 BGO 屏蔽对康普顿散射的抑制效果十分明显. 实验测量数据的质量大为改善, 初步地分析已给出一些新的结果. 进一步实验数据的分析正在进行中.

参 考 文 献

- [1] P. J. Twin et al., *Phys. Rev. Lett.*, **57** (1986), 811.
- [2] 袁观俊等,“第七次全国核物理大会论文汇编”(三),南京, 1988.
- [3] R. M. Lieder et al., *Nucl. Instr. and Meth.*, **220**(1984), 363.
- [4] 郭应祥等,“第七次全国核物理大会论文汇编”(三),南京, 1988.
- [5] U. Garg et al., *Phys. Rev.*, **C19**(1979), 217.
- [6] J. Meyer-ter-Vehn, *Nucl. Phys.*, **A249**(1975), 111.

EXPERIMENTS OF JOINED IN-BEAM γ EQUIPMENT

GUO YINGXIANG SUN XIANGFU LUO YIXIAO LEI XIANGGUO
SUN XIJUN XU XIAOJI ZHAO ZHIZHENG WANG JICHENG
YU JIANFANG

(Institute of Modern Physics, Academia Sinica, Lanzhou)

WEN SHUXIAN LI SHENGGANG WENG PEIKUN HUA PENGFEI
LI GUANGSHENG YUAN GUANJUN ZHU LIHUA ZHANG LANKUAN
YU PANSHUI YANG CHUNXIANG

(Institute of Atomic Energy, Beijing)

ABSTRACT

4 symmetric and 6 asymmetric BGO Compton shielded HpGe detectors which constitute the Joined In-Beam Gamma Equipment have been completed and measured at the Institute of Atomic Energy (Beijing) and Institute of Modern Physics (Lanzhou) respectively. The first set of experiments has been carried out by using the equipment. This paper describes the experimental set up and the general case of the measurements. A discussion about the Compton suppression is given. The observed $25/2^+$ of the $\Delta J=1$ band built on the $9/2^+$ ($1g\ 9/2$ proton hole) state of ^{131}Cs is the highest level among the similar bands of other Cs isotopes.