

# 5~10 MeV 能区 $\gamma$ 本底对锦屏深地核天体物理反应测量的影响探究\*

盛耀德<sup>1)</sup> 苏俊<sup>1)†</sup> 何建军<sup>1)</sup> 张立勇<sup>1)</sup> 张昊<sup>1)</sup> 王沃欢<sup>1)</sup>  
谌阳平<sup>2)</sup> 李志宏<sup>2)</sup> 郭冰<sup>2)</sup> 连刚<sup>2)</sup> 柳卫平<sup>2)</sup>

(1)北京师范大学核科学与技术学院, 射线束技术教育部重点实验室, 100875, 北京;

2)中国原子能科学研究院, 102413, 北京)

**摘要** 天体物理感兴趣能区(伽莫夫窗口)的带电粒子核反应截面极小, 在地面进行测量会受到宇宙射线诱发本底的严重干扰. 进行地下实验室核反应测量成为解决这一问题的主要途径. 锦屏深地核天体物理实验(JUNA)装置是我国首个地下核天体反应测量设施, 为开展恒星核合成关键反应直接测量提供了绝佳机遇. 本工作测量了锗酸铋(BGO)探测阵列和溴化镧(LaBr<sub>3</sub>)探测器在 JUNA 装置上的  $\gamma$  本底能谱, 并通过减小符合时间、点火数选择、粒子甄别等技术, 进一步压低了 5~10 MeV 能区的  $\gamma$  本底, 同时讨论了探测器本底对部分 JUNA 计划开展的核天体反应测量的影响.

**关键词** 核天体反应直接测量; 地下实验室; BGO 探测阵列; LaBr<sub>3</sub> 探测器;  $\gamma$  本底

**中图分类号** TL812+.1

**DOI:** 10.12202/j.0476-0301.2022155

## 0 引言

将关键核天体反应的直接测量推进到天体物理感兴趣能区(伽莫夫窗口), 对准确了解恒星内部核合成及其演化规律具有十分重要的意义<sup>[1]</sup>. 由于库仑位垒的作用, 带电粒子核反应截面随能量降低急剧减小, 而恒星核合成温度较低, 因此伽莫夫窗口内的反应截面极小. 地面测量实验中, 宇宙射线及其次级产物会在  $\gamma$  探测器上产生较强的连续本底, 对小截面反应测量造成极大的干扰. 地下实验室通过几百甚至数千米厚度的岩石阻挡宇宙射线及其次生产物, 极大程度上屏蔽了宇宙射线引起的本底, 使伽莫夫窗口内的反应截面直接测量成为可能.

在基金委重大项目等支持下, 锦屏深地核天体物理实验(JUNA)装置<sup>[2]</sup>成功运行并取得了一批国际先进水平的核天体物理成果<sup>[3-4]</sup>. JUNA 位于中国锦屏深地实验室(CJPL)<sup>[5-6]</sup>, 是我国首个地下核天体反应研究设施, 目前世界上同类型的研究设施还有意大利的 LUNA 装置<sup>[7-8]</sup>和美国的 CASPAR 装置<sup>[9]</sup>. JUNA 基于 CJPL 提供的极低本底环境<sup>[10]</sup>、自主研发的高流强加速器<sup>[11]</sup>和高效率低本底探测阵列, 开展恒星中关键的  $(\alpha, \gamma)$ 、 $(\alpha, n)$ 、 $(p, \gamma)$ 和  $(p, \alpha)$ 等反应

测量.  $(\alpha, \gamma)$ 、 $(p, \gamma)$ 等带电粒子辐射俘获反应截面测量主要通过探测反应出射的  $\gamma$  射线. 由于反应  $\gamma$  产额极低, 通常采用大立体角闪烁体探测阵列结合  $\gamma$  加和探测技术来提高全能峰探测效率, 如 LUNA 采用了锗酸铋(BGO)探测阵列<sup>[7]</sup>、CASPAR 采用了碘化钠(NaI)探测阵列 HECTOR<sup>[12]</sup>. 在  $\gamma$  加和探测技术中, 反应特征峰(即  $\gamma$  加和峰)能量大多在 5~10 MeV 能区. 地下实验室几乎没有宇宙射线本底, 因此 5~10 MeV 能区  $\gamma$  本底相比于地面显著降低, 为  $\gamma$  加和探测技术提供了绝佳本底条件. 但中子辐射俘获  $(n, \gamma)$  反应、信号堆积等效应仍然会在该能区产生本底信号, 如何进一步降低这些本底, 成为目前地下核反应测量的主要技术问题之一<sup>[13]</sup>.

此外, 虽然 BGO 和 NaI 闪烁体探测效率较高, 但它们的能量分辨率较低, 对于一些  $\gamma$  加和峰很近的反应无法区分. 如区分  $^{25}\text{Mg}(p, \gamma)^{26}\text{Al}$  反应布居  $^{26}\text{Al}$  基态和  $^{26}\text{Al}$  228 keV 同核异能态的 2 个过程, 能量分辨率在 6~7 MeV 需要达到 2% 左右, 而现有的探测阵列只有 3%~5%, 因此发展高能量分辨高效率的新型  $\gamma$  探测阵列是地下核天体反应测量的进一步需求. 新型溴化镧(LaBr<sub>3</sub>)闪烁体具有较高的能量分辨率和探测效率, 有望在高分辨  $\gamma$  加和探测技术上取得突破, 但

\* 国家自然科学基金资助项目(U1867211, 11490563, 11490560)

† 通信作者: 苏俊(1983—), 男, 教授, 博士生导师. 研究方向: 核技术及应用. E-mail: sujun@bnu.edu.cn

收稿日期: 2022-04-30

LaBr<sub>3</sub> 闪烁体内在本底较高、干扰较大。其内在本底主要来源于<sup>138</sup>La 衰变产生的 β 粒子和 γ 射线, 以及<sup>227</sup>Ac 及子体衰变发射的 β 和 α 粒子。这些内在本底能量较低, 但其信号堆积会在 5~10 MeV 能区产生干扰。由于高能 γ 本底太高, 内在本底信号堆积效应无法在地面研究, 只能在地下实验室测量。Szücs 等<sup>[14]</sup>曾在地下实验室对 LaBr<sub>3</sub> 探测器本底进行测量, 观测到了堆积效应。

本工作在 CJPL 二期 A1 实验厅内对 JUNA 的 BGO 探测阵列和单个 LaBr<sub>3</sub> 探测器本底进行了测量, 得到其 5~10 MeV 能区本底水平, 并和地面测量结果进行了对比。数据分析发现, 通过减小获取系统的符合时间、选择点火数等方法, 可进一步降低 BGO 探测阵列 γ 加和谱的本底水平。借助脉冲形状甄别(PSD)技术, 可显著压低 LaBr<sub>3</sub> 探测器 α 粒子堆积效应引发的本底。根据目前的探测器本底水平, 对部分 JUNA 计划开展的实验进行了本底影响的评估。

## 1 本底测量

**1.1 BGO 探测阵列** 针对核天体物理关心的极小截面(α, γ)、(p, γ)反应测量, 近年来发展了 γ 加和探测技术<sup>[15]</sup>。该技术基于多个闪烁体组成的近 4π 探测阵列, 将反应出射的所有 γ 射线完全吸收, 大大提高了反应 γ 射线的探测效率。BGO 探测器是探测高能 γ 射线的理想闪烁体之一, 它对 γ 射线具有很强的阻止能力, 因此在相同的探测效率下可以做到较小的体积。图 1 为 JUNA 装置使用的近 4π 立体角 BGO 探测阵列, 该阵列由 8 个形状一致的 BGO 晶体组成, 每个晶体长度为 25 cm, 径向厚度为 6.3 cm。阵列对 5~10 MeV γ 射线的全能峰探测效率高于 50%。

图 2 显示了在地面和地下实验室测量得到的 BGO

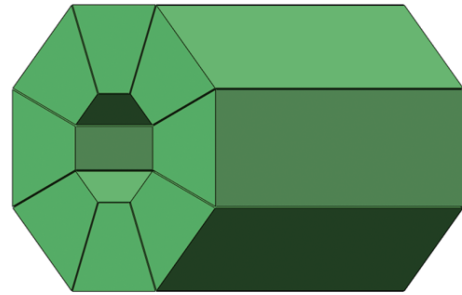


图 1 BGO 探测阵列示意

探测阵列 γ 加和谱本底的对比, 其中: 地面测量中 BGO 探测阵列采用了 50 mm 铅屏蔽, 测量时间为 20 h; 地下实验室测量使用了 5 mm 无氧铜、100 mm 铅和 1 mm 镉屏蔽, 测量时间为 415 h。可以看出, 地下实验室本底在 5~10 MeV 能区比地面降低 4 个量级左右, 效果非常明显。而 0~5 MeV 能区本底降低效果要差很多, 这是因为低能区 γ 本底主要来源于环境中的<sup>40</sup>K 等天然放射性核素和 BGO 闪烁体内在的<sup>207</sup>Bi 放射性核素<sup>[16-17]</sup>。另外, 还可以看出本底谱在 10.2 MeV 附近有较强的峰, 而能量更高处本底陡然下降。经分析发现中子在 BGO 闪烁体内部的 Ge 系列同位素上诱发的 (n, γ) 反应能量基本在 5~10 MeV 能区, 而其中截面最大的<sup>73</sup>Ge(n, γ)<sup>74</sup>Ge 反应能(Q 值)即为 10.2 MeV。这说明在地下实验室 5~10 MeV 能区本底主要来源于实验室环境中的中子, 这些中子大部分是由实验室各种材料中天然放射性核素衰变产生的 α 粒子通过(α, n)反应产生的。虽然目前屏蔽体有镉材料吸收热中子, 但快中子仍然可以进入探测阵列内部, 在 BGO 闪烁体中慢化后发生(n, γ)反应产生 γ 本底。下一步可考虑在 BGO 探测阵列外增设含硼聚乙烯材料, 对中子进行慢化吸收来进一步降低本底, 目前 LUNA 装置已经利用该方法取得了一定的效果<sup>[18]</sup>。

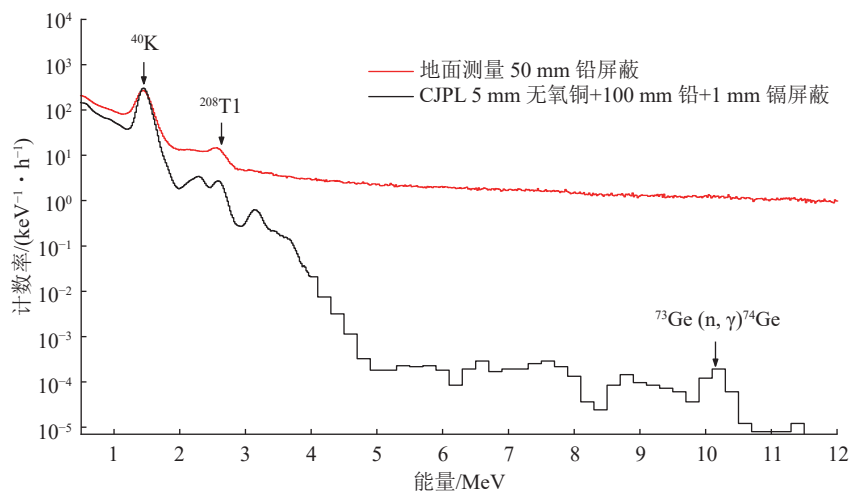


图 2 在地面和 CJPL 测量得到的 BGO 探测阵列 γ 加和谱本底对比

$\gamma$  加和谱由 8 个探测单元能量加和得到, 因此需要进行符合测量, 偶然符合会产生部分本底. 之前 BGO 探测阵列采用传统获取系统, 需要电子学预设符合时间, 不利于研究偶然符合的影响. 目前 JUNA 装置已采用了新型数字化获取系统, 利用时间戳技术给每个测量通道记录的事件打上时间标记, 然后在数据处理时进行时间关联, 得到各通道事件的符合关

系. 因此可以通过调整分析程序的时间窗设置, 得到不同符合时间的结果, 如图 3 所示. 可以看出, 将符合时间从  $\pm 10 \mu\text{s}$  缩短到  $\pm 0.1 \mu\text{s}$  后, 5~10 MeV 本底明显降低, 平均水平达到了  $1.6 \times 10^{-4} \text{ keV}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ . 当反应复合核激发态寿命较长时, 短符合时间可能会造成级联  $\gamma$  符合不上的情况, 因此符合时间的选取要远大于反应复合核激发态的能级寿命.

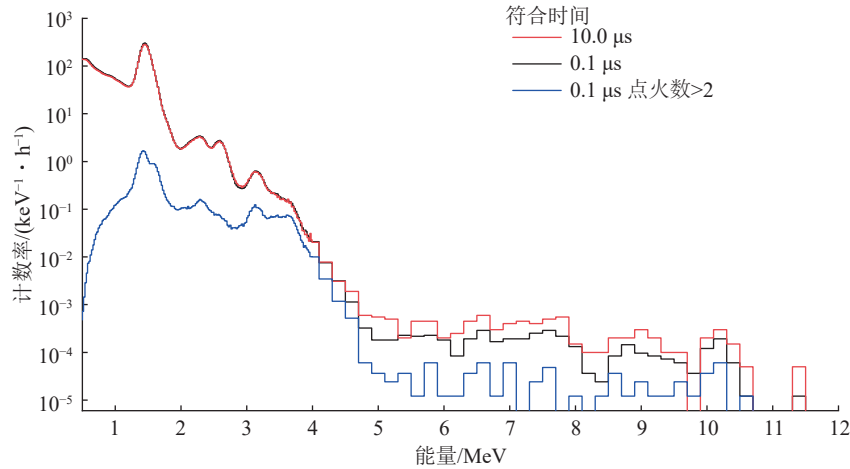


图 3 取不同分析条件得到的 BGO 探测阵列  $\gamma$  加和谱本底对比

另一方面, 多单元的探测阵列还可以提供点火数信息, 点火数即一个事件中 8 个探测单元有几个探测到了  $\gamma$  事件. 点火数和  $\gamma$  跃迁的级联多重度呈正相关, 即一次事件发射的  $\gamma$  射线数目越多, 点火数越大. 分析发现本底谱在 5~10 MeV 能区点火数分布主要集中在 1~2,  $>2$  的点火数占比较小. 而对于一些  $\gamma$  级联多重度较高的反应, 如  $^{25}\text{Mg}(p, \gamma)^{26}\text{Al}$  反应, 点火数主要集中在  $>2$ . 因此可以通过选择点火数进一步压制本底. 图 3 蓝线显示了取点火数  $>2$  条件后得到的本底谱, 5~10 MeV 能区本底水平达到了  $2.5 \times 10^{-5} \text{ keV}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ , 比未限制点火数降低了 84%. 而对于 JUNA 计划测量的  $^{25}\text{Mg}(p, \gamma)^{26}\text{Al}$  反应 58 keV 共振, 取点火数  $>2$  条件后  $\gamma$  加和峰计数只降低了 40% 左右, 明显小于本底压制, 因此选择点火数条件可进一步提高信号本底比.

**1.2 LaBr<sub>3</sub> 探测器** LaBr<sub>3</sub> 闪烁体具有光产额高、能量分辨率好、温度系数小、衰减时间短等优点, 是将来研发高效率高分辨加和型探测阵列的优选探测器. 但 LaBr<sub>3</sub> 闪烁体存在较强的内在放射性本底<sup>[19]</sup>, 包括  $^{138}\text{La}$  衰变产生的  $\beta$  粒子和  $\gamma$  射线、 $^{227}\text{Ac}$  及其子体衰变产生的  $\alpha$  和  $\beta$  粒子.  $^{138}\text{La}$  可以通过  $\beta$  和电子俘获衰变, 其  $\beta$  衰变伴随有能量为 789 keV 的  $\gamma$  射线; 电子俘获伴随有 1436 keV 的  $\gamma$  射线;  $^{227}\text{Ac}$  及其子体衰变发射的  $\alpha$  粒子能量为 5~8 MeV, 但由于 LaBr<sub>3</sub> 闪烁体对

$\alpha$  和  $\beta$  粒子的光产额不同, 5~8 MeV 能量的  $\alpha$  粒子在  $\gamma$  能谱上一般呈现在 2~4 MeV 能区, 具体能量呈现与 LaBr<sub>3</sub> 闪烁体的掺杂有关.

本工作分别在地面和地下实验室对 Saint-Gobain 公司生产的高 4 英寸、直径 3 英寸的 LaBr<sub>3</sub> 探测器进行了测量, 结果如图 4 所示. 地面为无屏蔽条件, 测量时间 12.2 h, 地下实验室采用了 50 mm 铅、1 mm 镅和 100 mm 铅对探测器进行屏蔽, 测量时间 677.7 h. 可以看出, 地下实验室的 LaBr<sub>3</sub> 探测器本底在 8~10 MeV 能区显著降低了 4 个量级以上, 这与 BGO 探测阵列结果类似. 但在 5~8 MeV 能区本底并没有太大改善, 而且在 7 MeV 左右有明显的峰. 根据 Szűcs 等<sup>[14]</sup> 的分析, 7 MeV 左右的峰是由 2.5~4 MeV 能区的  $\alpha$  粒子信号堆积形成的. 因此为了去除  $\alpha$  粒子对  $\gamma$  测量的干扰, 本工作采用了脉冲形状甄别技术<sup>[20]</sup> 对 LaBr<sub>3</sub> 探测器进行  $\alpha/\gamma$  甄别.  $\alpha$  和  $\gamma$  粒子入射 LaBr<sub>3</sub> 探测器时在晶体中的电离密度不同, 因此  $\alpha$  和  $\gamma$  粒子在光电倍增管输出的信号波形不同. 通过测量长时间电荷积分  $Q_L$  和短时间电荷积分  $Q_S$ , 得到甄别因子

$$F_{\text{PSD}} = \frac{Q_L - Q_S}{Q_L}, \quad (1)$$

图 4 右上角的插图显示了地下实验室测量的 LaBr<sub>3</sub> 探测器的  $F_{\text{PSD}}-E$  二维谱. 可以看出, 根据  $F_{\text{PSD}}$  可以清晰地将  $^{227}\text{Ac}$  及其子体衰变产生的  $\alpha$  粒子从  $\gamma$  射

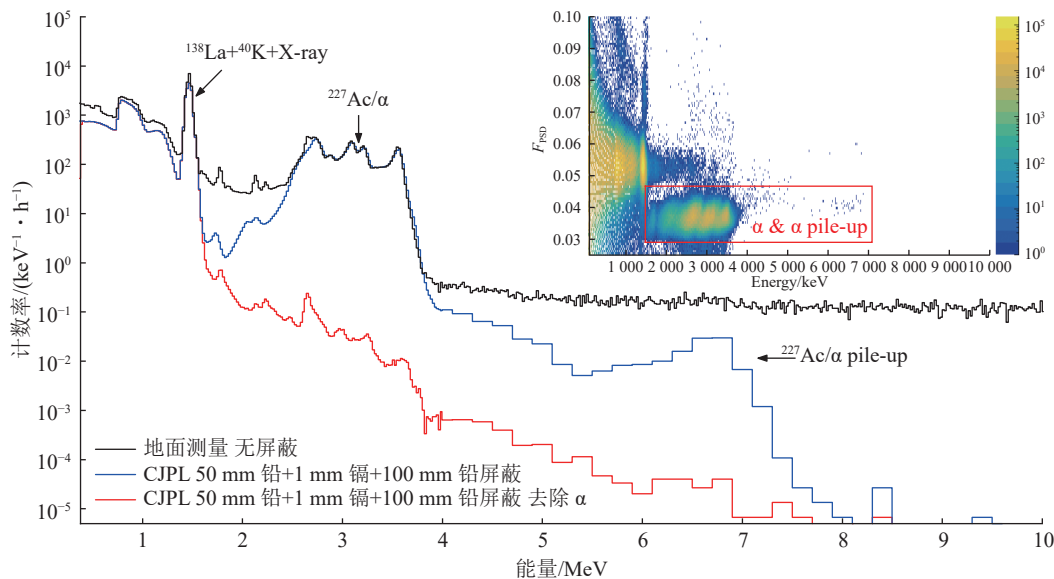


图 4 单个溴化镧探测器能谱本底对比

线中甄别出来。在去除  $\alpha$  粒子干扰后,得到的本底谱在 5~10 MeV 能区显著降低,平均水平达到  $1.5 \times 10^{-5} \text{ keV}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 。还可以看出,与 BGO 探测阵列不同,  $\text{LaBr}_3$  探测器本底基本到 8 MeV 截止,其原因是 La 和 Br 稳定同位素的  $(n, \gamma)$  反应能均  $< 8 \text{ MeV}$ 。

## 2 5~10 MeV 能区本底的影响评估

目前 JUNA 已完成首批核天体物理关键反应实验测量<sup>[3-4]</sup>,这些反应截面相对较大,测量时主要干扰来自于束流和靶中杂质反应产生的在束本底,探测阵列的自身本底影响较小。但 JUNA 装置今后计划开展

的反应测量中的一些反应截面很小,需要对本底的影响进行更细致的评估。

表 1 列举了对 JUNA 装置计划开展的 4 个反应  $^{14}\text{N}(p, \gamma)^{15}\text{O}$ 、 $^{17}\text{O}(p, \gamma)^{18}\text{F}$ 、 $^{25}\text{Mg}(p, \gamma)^{26}\text{Al}$ 、 $^{12}\text{C}(\alpha, \gamma)^{16}\text{O}$  的本底影响评估,这些反应的目标能区截面均很小,最小的  $^{12}\text{C}(\alpha, \gamma)^{16}\text{O}$  效应计数率估计只有  $0.1 \text{ h}^{-1}$ ,需要长时间测量才能累积到足够统计,因此本底水平更加重要。表 1 中  $\text{LaBr}_3$  阵列本底水平按照晶体体积比例估算,预计  $\text{LaBr}_3$  阵列需要  $15\,000 \text{ cm}^3$  的晶体,是本工作所用单个探测器的 30 倍左右,即  $\text{LaBr}_3$  阵列本底按单个探测器本底 30 倍估算。

表 1  $\gamma$  本底对部分 JUNA 计划测量反应的影响分析

反应	$E_{c.m.}/\text{keV}$	$\gamma$ 加和峰/MeV	反应计数率/ $\text{h}^{-1}$	本底水平/ $\text{h}^{-1}$	
				BGO阵列	$\text{LaBr}_3$ 阵列 <sup>1)</sup>
$^{14}\text{N}(p, \gamma)^{15}\text{O}$	60	7.4	0.8	0.15	0.04
$^{17}\text{O}(p, \gamma)^{18}\text{F}$	65	5.7	1.0	0.14	0.20
$^{25}\text{Mg}(p, \gamma)^{26}\text{Al}^{2)}$	58	6.4	0.2	0.02	0.03
$^{12}\text{C}(\alpha, \gamma)^{16}\text{O}$	450	7.5	0.1	0.15	0.04

注: 1)  $\text{LaBr}_3$ 阵列本底按  $15\,000 \text{ cm}^3$  体积比例估算; 2) 取点火数  $n_{\text{hit}} > 2$  条件。

从表 1 可以看出,对于  $^{14}\text{N}(p, \gamma)^{15}\text{O}$ 、 $^{17}\text{O}(p, \gamma)^{18}\text{F}$ 、 $^{25}\text{Mg}(p, \gamma)^{26}\text{Al}$  反应测量,目前 BGO 探测阵列和计划中的  $\text{LaBr}_3$  探测阵列本底水平均低于反应计数率。但对于  $^{12}\text{C}(\alpha, \gamma)^{16}\text{O}$  反应测量, BGO 阵列本底水平高于反应计数,  $\text{LaBr}_3$  阵列本底水平虽低于反应计数率,但差距不大,预计会对测量精度造成一定的影响。这说明探测阵列本底仍是未来 JUNA 装置开展实验的主要技术问题之一,进一步对 5~10 MeV 能区本底进行

压制是非常有必要的。

## 3 总结

针对核天体关键  $(p, \gamma)$ 、 $(\alpha, \gamma)$  反应直接测量在 5~10 MeV 能区的低  $\gamma$  本底需求,本工作在地面以及地下实验室中,对 JUNA 装置的 BGO 探测阵列和单个  $\text{LaBr}_3$  探测器的本底进行了测量。结果表明:

1) 经过减小符合时间后, BGO 探测阵列在 5~

10 MeV 能区本底进一步降低. 通过选择点火数 $>2$ 条件, 可以显著压制 5~10 MeV 能区  $\gamma$  本底, 为级联程度高的反应截面测量提供了新的途径.

2)  $\text{LaBr}_3$  探测器在 5~10 MeV 能区本底受到  $\alpha$  粒子堆积效应干扰, 经过脉冲形状甄别去除  $\alpha$  粒子后, 本底显著降低.

根据现有的本底测量数据, 本文对部分 JUNA 装置上计划开展测量的核天体反应进行了评估, 结果显示目前的 BGO 探测阵列和未来的  $\text{LaBr}_3$  探测阵列本底可以满足实验要求, 但本底水平预计会对测量精度造成一定的影响. 地下实验室 5~10 MeV 能区  $\gamma$  本底主要来源于中子在探测器内诱发的  $(n, \gamma)$  反应, 因此下一步计划利用含硼聚乙烯材料对探测阵列进行中子屏蔽, 降低 5~10 MeV 能区本底.

## 4 参考文献

- [1] ROLFS C E, RODNEY W S. *Cauldrons in the cosmos: Nuclear astrophysics*[M]. Chicago: University of Chicago press, 1988
- [2] LIU W P, LI Z H, HE J J, et al. Progress of Jinping underground laboratory for nuclear astrophysics (JUNA)[J]. *Science China Physics, Mechanics & Astronomy*, 2016, 59(4): 1
- [3] SU J, ZHANG H, LI Z H, et al. First result from the Jinping Underground Nuclear Astrophysics experiment JUNA: precise measurement of the 92 keV  $^{25}\text{Mg}(p, \gamma)^{26}\text{Al}$  resonance[J]. *Science Bulletin*, 2022, 67(2): 125
- [4] ZHANG L Y, SU J, HE J J, et al. Direct measurement of the astrophysical  $^{19}\text{F}(p, \alpha\gamma)^{16}\text{O}$  reaction in the deepest operational underground laboratory[J]. *Physical Review Letters*, 2021, 127(15): 152702
- [5] CHENG J P, KANG K J, LI J M, et al. The China Jinping underground laboratory and its early science[J]. *Annual Review of Nuclear and Particle Science*, 2017, 67: 231
- [6] NORMILE D. Particle physics. Chinese scientists hope to make deepest, darkest dreams come true[J]. *Science*, 2009, 324(5932): 1246
- [7] GREIFE U, ARPESELLA C, BARNES C A, et al. Laboratory for underground nuclear astrophysics (LUNA) [J]. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 1994, 350(1/2): 327
- [8] BEMMERER D, CONFORTOLA F, LEMUT A, et al. Feasibility of low-energy radiative-capture experiments at the LUNA underground accelerator facility[J]. *The European Physical Journal A: Hadrons and Nuclei*, 2005, 24(2): 313
- [9] ROBERTSON D, COUDER M, GREIFE U, et al. Underground nuclear astrophysics studies with CASPAR[J]. *EPJ Web of Conferences*, 2016, 109: 09002
- [10] SHEN Y P, SU J, LIU W P, et al. Measurement of  $\gamma$  detector backgrounds in the energy range of 3-8 MeV at Jinping underground laboratory for nuclear astrophysics[J]. *Science China Physics, Mechanics & Astronomy*, 2017, 60(10): 1
- [11] WU Q, SUN L T, CUI B Q, et al. Design of an intense ion source and LEBT for Jinping Underground Nuclear Astrophysics experiments[J]. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 2016, 830: 214
- [12] OLIVAS-GOMEZ O, SIMON A, ROBERTSON D, et al. Commissioning of the  $4\pi$   $\gamma$ -summing array HECTOR at CASPAR: measurements of  $^{27}\text{Al}(p, \gamma)^{28}\text{Si}$  resonances 4850 feet underground[J]. *The European Physical Journal A*, 2022, 58(3): 57
- [13] BOELTZIG A, BEST A, IMBRIANI G, et al. Improved background suppression for radiative capture reactions at LUNA with HPGe and BGO detectors[J]. *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics*, 2018, 45(2): 025203
- [14] SZÜCS T, BEMMERER D, COWAN T, et al. Shallow-underground accelerator sites for nuclear astrophysics: is the background low enough?[J]. *The European Physical Journal A*, 2012, 48: 8
- [15] SPYROU A, BECKER H W, LAGOYANNIS A, et al. Cross-section measurements of capture reactions relevant to the p process using a  $4\pi\gamma$ -summing method[J]. *Physical Review C*, 2007, 76: 015802
- [16] SHAVINSKII B M, FEDOTOV V A. On the natural origin of bismuth-207[J]. *Radiochemistry*, 2013, 55(5): 552
- [17] BOELTZIG A, BEST A, DI LEVA A, et al. Backgrounds in a BGO detector underground[J]. *Journal of Physics: Conference Series*, 2018, 940: 012031
- [18] ANANNA C, BARILE F, BOELTZIG A, et al. Underground measurements of nuclear reaction cross-sections relevant to AGB stars[J]. *Universe*, 2021, 8(1): 4
- [19] XIANG Q P, TIAN D F, HAO F H, et al. Self-calibration method for cerium-doped lanthanum bromide scintillator detector in the 0.1-2.0 MeV energy range[J]. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 2014, 299(3): 1439
- [20] CRESPI F C L, CAMERA F, BLASI N, et al. Alpha-gamma discrimination by pulse shape in  $\text{LaBr}_3$ ; Ce and  $\text{LaCl}_3$ ; Ce[J]. *Nuclear Instruments and Methods in Physics*

## Influence of 5~10 MeV $\gamma$ background on measurements of astrophysical reactions at the JUNA facility

SHENG Yaode<sup>1)</sup> SU Jun<sup>1)</sup> HE Jianjun<sup>1)</sup> ZHANG Liyong<sup>1)</sup> ZHANG Hao<sup>1)</sup> WANG Luohuan<sup>1)</sup>  
SHEN Yangping<sup>2)</sup> LI Zhihong<sup>2)</sup> GUO Bing<sup>2)</sup> LIAN Gang<sup>2)</sup> LIU Weiping<sup>2)</sup>

(1)Key Laboratory of Beam Technology of Ministry of Education, College of Nuclear Science and Technology,  
Beijing Normal University, 100875, Beijing, China;

2)China Institute of Atomic Energy, 102413, Beijing, China)

**Abstract** Cross-sections of charged particle induced reactions in the energy region of astrophysics interest (Gamow window) are extremely low, thus measurements of these reactions in aboveground laboratory will be severely disturbed by background induced by cosmic rays. The main way to solve this problem is to measure these reactions in an underground laboratory. The Jinping Underground Nuclear Astrophysics (JUNA) experimental facility is the first underground nuclear astrophysical facility in China, the facility is superb to study key reactions of astrophysical importance. Backgrounds of BGO detector array and LaBr<sub>3</sub> detector were measured at JUNA and compared with those measured aboveground. It was found that background from 5-10 MeV could be further suppressed by reducing coincidence window, selecting fire number, and by removing  $\alpha$  particle signals with pulse-shape discrimination. Possible influence of current background on several planned reaction measurements at JUNA has been evaluated.

**Keywords** direct measurement of nuclear astrophysical reactions; underground laboratory; BGO detector array; LaBr<sub>3</sub> detector;  $\gamma$ -ray background

【责任编辑:刘先勤】