



2019-10-10

第十七届全国核物理大会

# 三晶电子对谱仪的研制和测试进展

报告人: 刘伏龙

华中师范大学科学会堂



# 内容提要

- □ 研究背景(组里方向简介)
- 口 主要研究内容
  - > 三晶电子对谱仪的组成介绍
  - > 三晶电子对谱仪的天然放射源测试
  - > 三晶电子对谱仪的共振核反应伽玛源测试
- □ 总结与展望



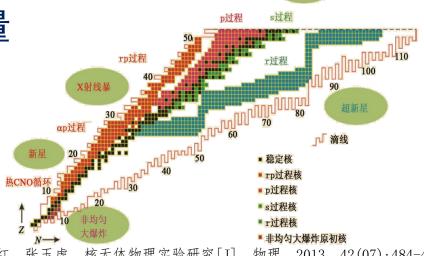
光核嬗变

# 中子嬗变的补充 133Cs → 134Cs → 135Cs → 136Cs stable 2.06 y 2.3 My 13.16 d 88Sr → 89Sr → 90Sr → 91Sr stable 50 d 29 y 9.6 h

• 爆炸物以及材料检测

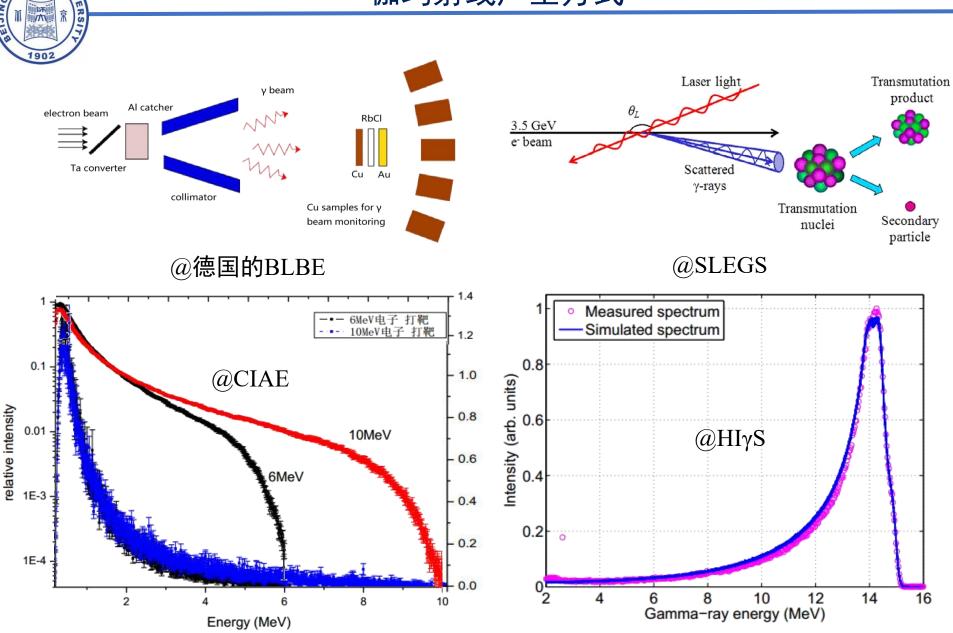


- 核天体物理关键核数据测量
- 共振吸收与核共振荧光
- 在线伽玛谱学测量



何建军,周小红,张玉虎. 核天体物理实验研究[J]. 物理, 2013, 42(07):484-495.

#### 伽玛射线产生方式



Henry R. Research opportunities at the upgraded HIγS facility, Progress in Particle and Nuclear Physics, Volume 62, Issue 1,2009, Pages 257-303,

#### 共振核反应伽玛



#### $(p, \gamma)$

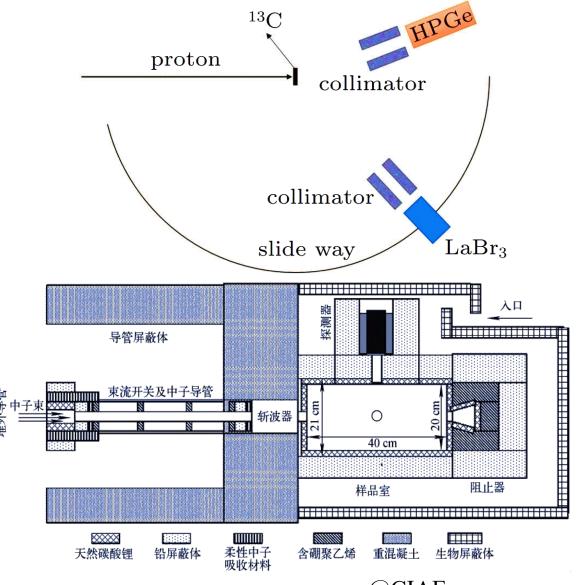
**Target**: <sup>3</sup>H, <sup>27</sup>Al, <sup>7</sup>Li, <sup>13</sup>C, <sup>19</sup>F,

Gamma-ray range: 5-30MeV

 $(n, \gamma)$ 

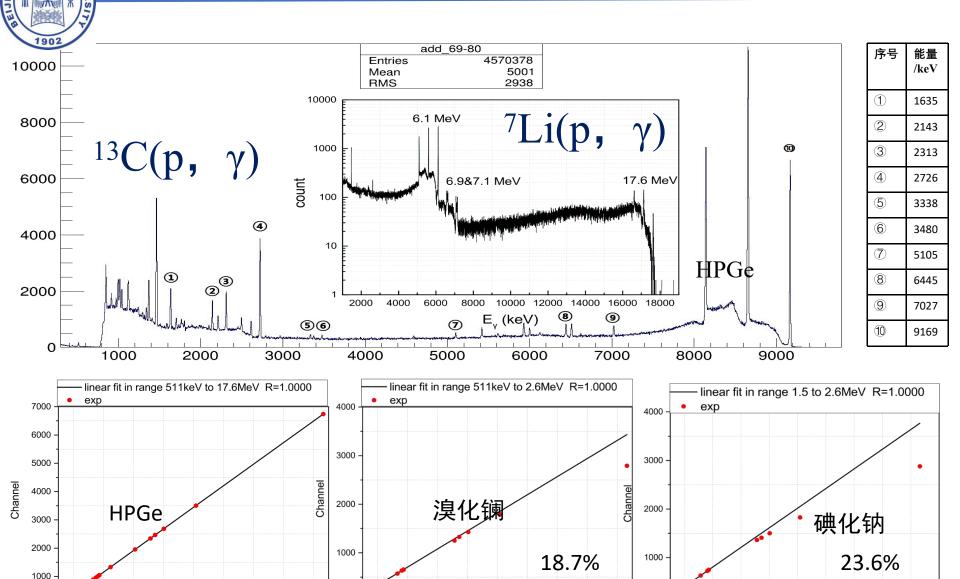
Target: 10B, 14N, 29Si, 33S, 35Cl, 43Ca

Gamma-ray range: <12MeV



姚永刚, et al. CARR堆冷中子瞬发伽玛活化分析系统及实验研究[J]. 同位素, 2018, 31(06):30-37.

#### 共振核反应伽玛测量



4000

6000

Energy (keV)

8000 10000 12000 14000 16000 18000

Energy (keV)

2000

4000

6000

8000 10000 12000 14000 16000 18000

2000 4000 6000

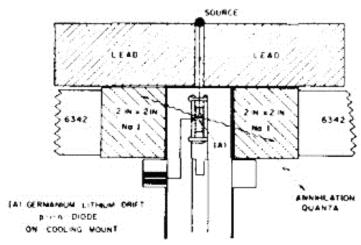
8000 10000 12000 14000 16000 18000

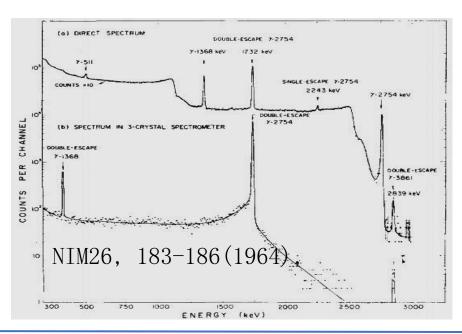
Energy (keV)

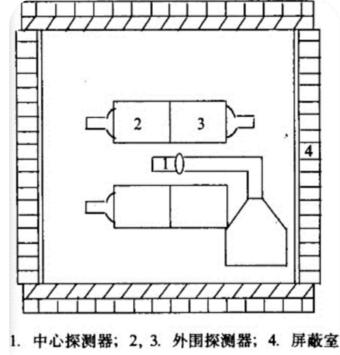
#### 电子对谱仪研究现状



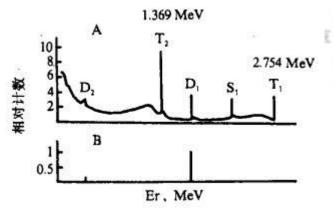
THREE - CRYSTAL PAIR SPECTROMETER





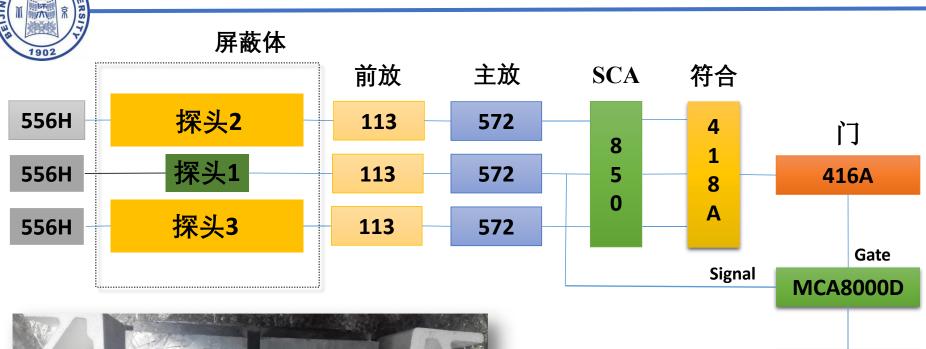


物质屏蔽和探测器示意图



分析测试技术与仪器1,7-11(1994)

#### 三晶电子对谱仪原理示意图





三晶电子对谱仪探测器



电子学系统

计算机



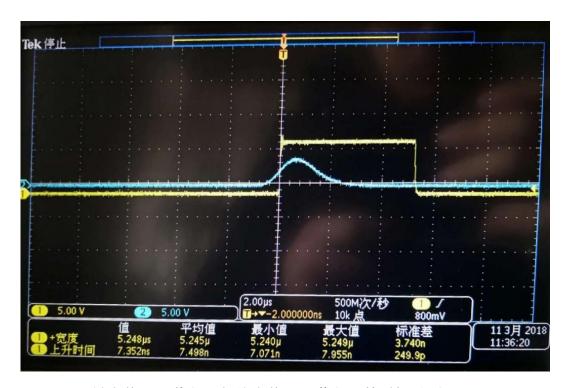
#### Quad Single-Channel Analyzer 850

In 1

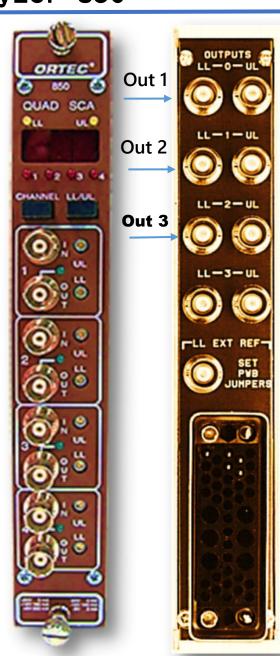
In 2

In 3

对两路NaI信号进行511keV信号选域,中心探头阈值定为0.1V-9.9V,以保证输出NIM信号的时间一致性。前段输出延时较长,需使用后端LL输出!



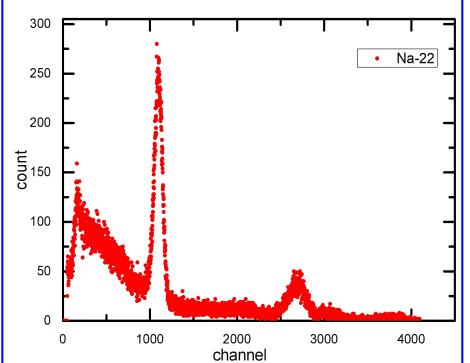
触发信号(蓝色)与输出信号(黄色)的时间关系

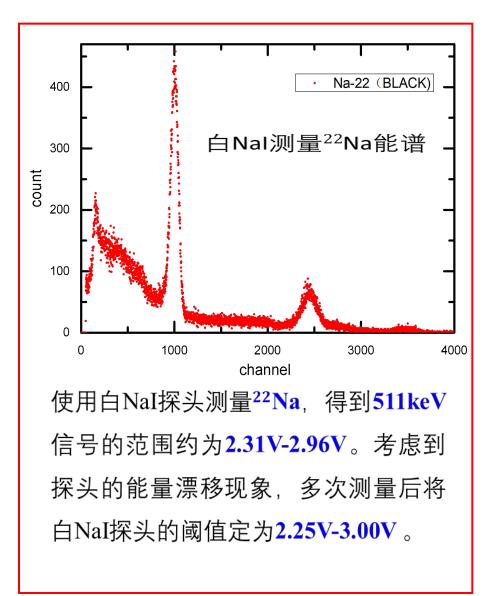


# TORMAL UNIVERSITY OF THE PROPERTY OF THE PROPE

#### 三晶电子对谱仪的组成介绍

使用黑NaI探头测量<sup>22</sup>Na,得到**511keV**信号的范围约为**2.14V-2.71V**。考虑到探头的能量漂移现象,多次测量后将黑NaI探头的阈值定为**2.05V-2.85V**。



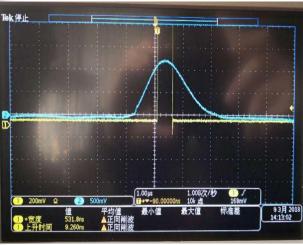


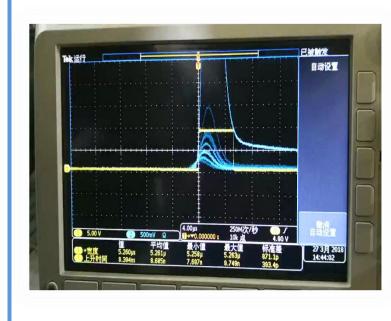






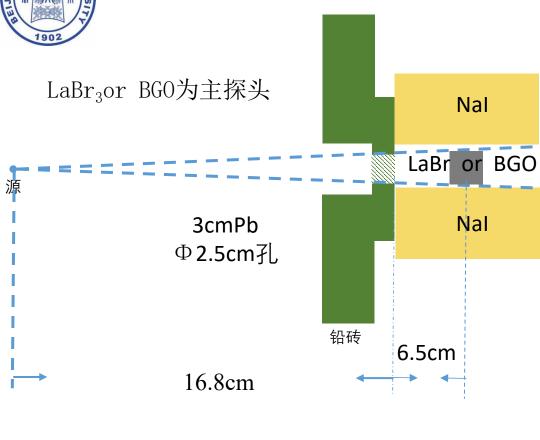
418是对850输出的3路信号进行符合,当且仅当3路信号同时输入时,输出一个NIM信号。416则是对门信号进行处理。



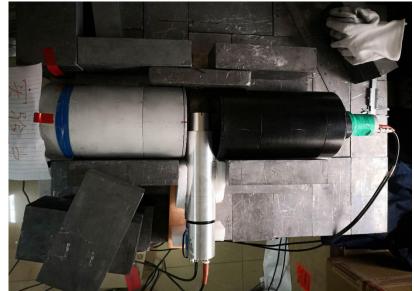


上为LaBr<sub>3</sub>探头经主放后的 输出波形,信号峰值一般出现 在2us-4us范围内。416A输出 的门信号为7V、5us,可以包 裹住中心探头的信号。

# 三晶电子对谱仪的天然放射源测试







放射源: <sup>22</sup>Na, <sup>56</sup>Co



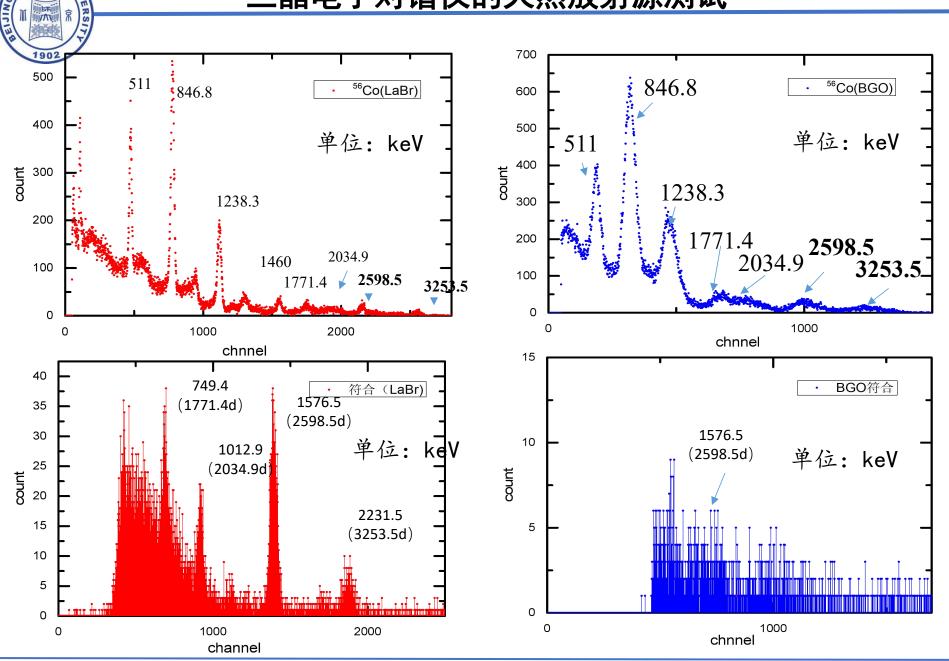
2017年4月9日16点0分活度为8.98(±0.07) \*105Bq。

由于56Co源发射γ射线较多,这里只考虑发射几率较高的γ射线进行分析,

如下表所示(单位: keV)

发射率	39.5%	100.0%	67.0%	15.5%	7.8%	16.9%	7.8%
能量 (keV)	511	846.8	1238.3	1771.4	2034.9	2598.5	3253.5
单逃能量	1	ı	1	1260.4	1523.9	2087.5	2742.5
双逃能量	-	-	-	794.4	1012.9	1576.5	2231.5

#### 三晶电子对谱仪的天然放射源测试



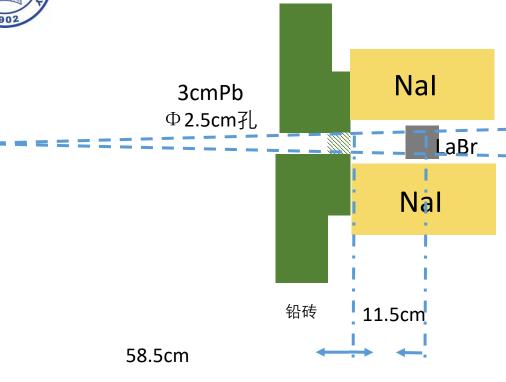




发射率	39.5%	100.0%	67.0%	15.5%	7.8%*	16.9%	7.8%*
能量(keV)	511	846.8	1238.3	1771.4	2034.9	2598.5	3253.5
计数率	12.04	29.85	11.85	2.98	0.92*	0.60	0.69*
本征效率	0.61	0.59	0.35	0.38	0.23*	0.070	0.18*
分辨率	3.33%	2.86%	2.41%	1.27%	1	1	-
双逃能量	-	-	-	794.4	1012.9	1576.5	2231.5
计数率	-	-	-	0.0038	0.0094*	0.0190	0.0049*
本征效率	-	-	-	0.00048	0.0024*	0.0022	0.0013*
分辨率	-	-	-	-	1.53%*	0.70%	-
效率比	-	-	-	782.8	97.5	31.4	139.0

带\*为多个能量相近γ射线的合峰。几何效率约为0.168%。





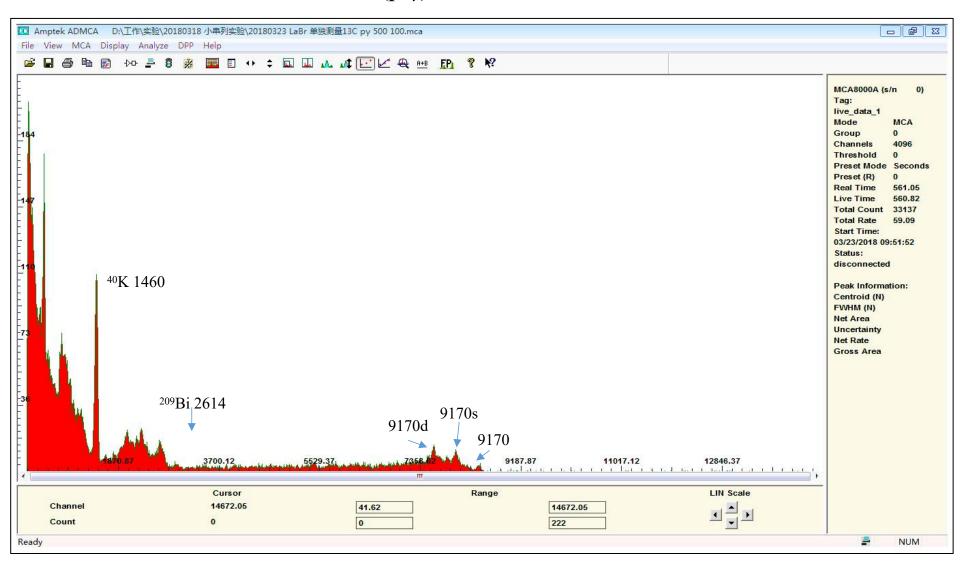




(p,  $\gamma$ ): <sup>7</sup>Li, <sup>13</sup>C, <sup>19</sup>F

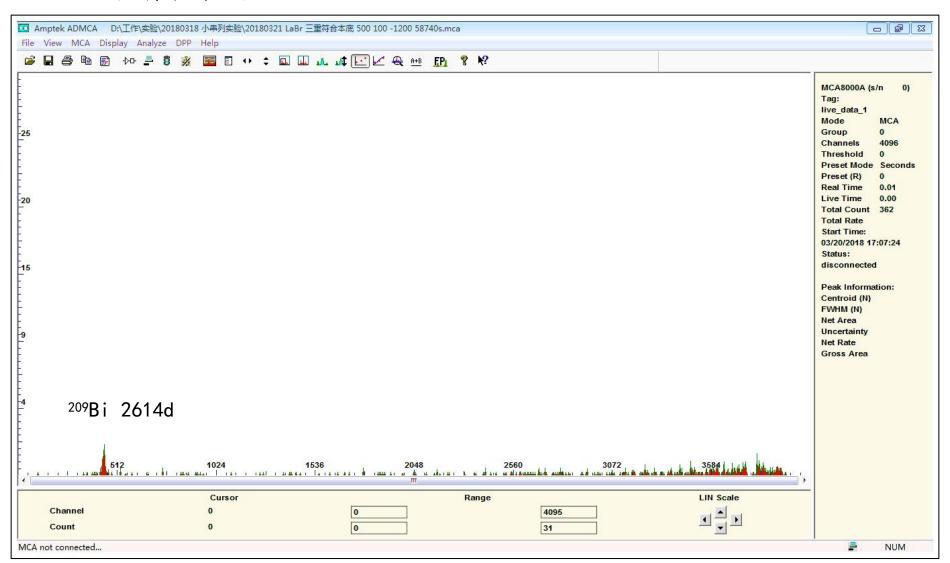


中心探测器直接测量<sup>13</sup>C(p,γ)<sup>14</sup>N (keV)



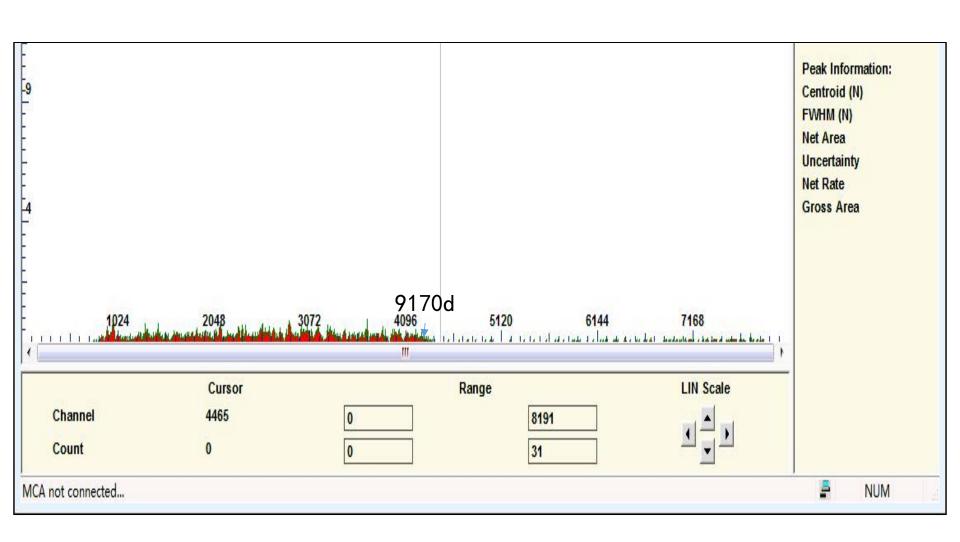


三重符合本底 (keV)



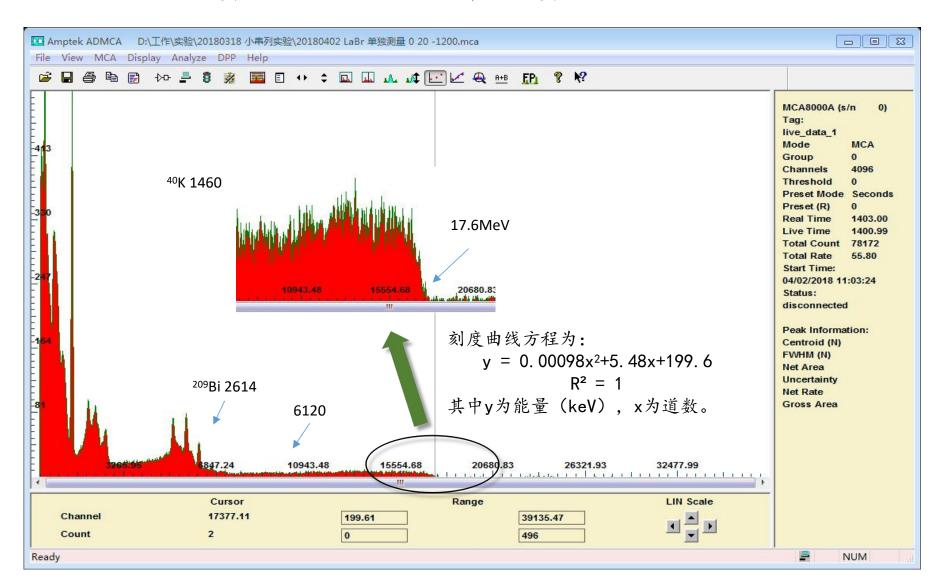


三重符合测量<sup>13</sup>C(p, γ)<sup>14</sup>N (keV) (3.8h)



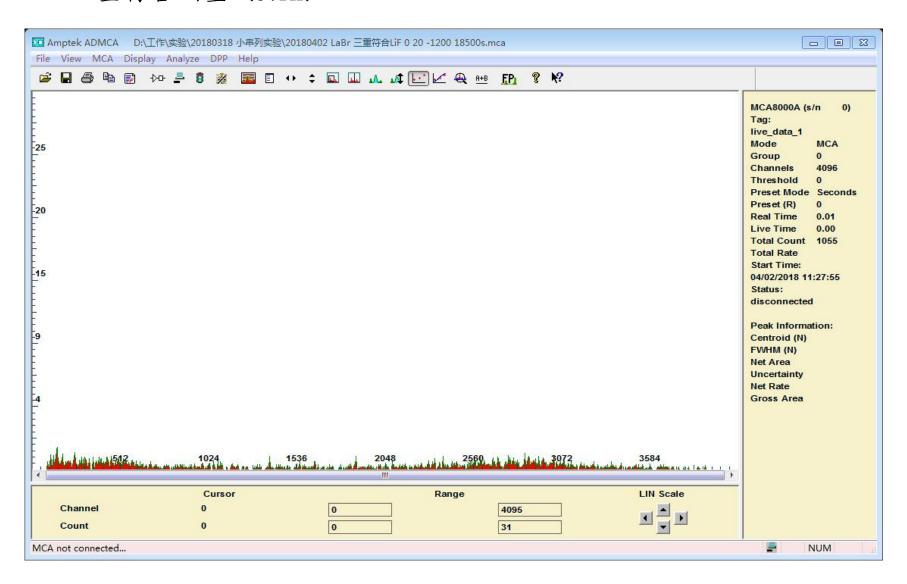


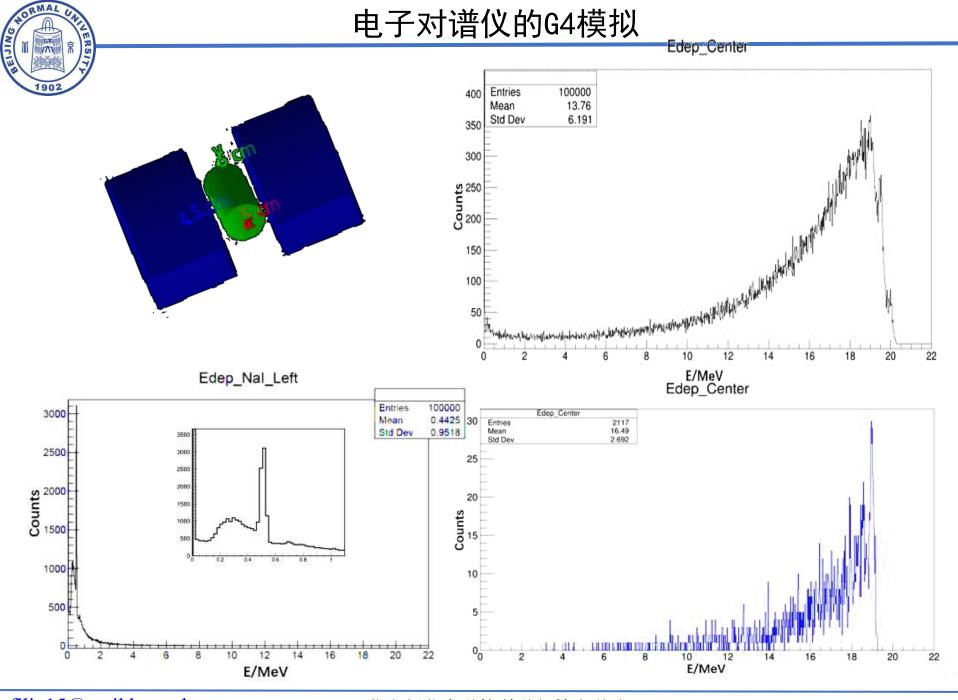
测量<sup>7</sup>Li(p, γ)<sup>8</sup>Be(17.6MeV), <sup>19</sup>F(p, γ)<sup>20</sup>Ne(6.12MeV)



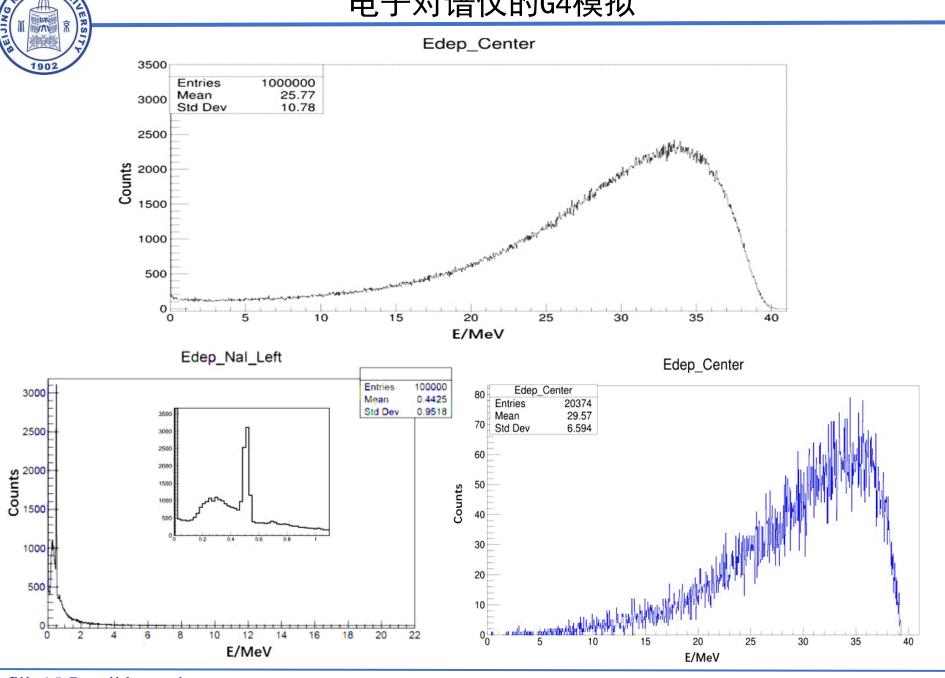


三重符合测量(5.1h)





## 电子对谱仪的G4模拟



# 总结与展望



#### 小结:

- 1. 目前建立的一套NIM核电子学电子学谱仪设备原理上可以满足实验需要。
- 2. 使用Φ1. 5\*1. 5in LaBr3晶体的电子对谱仪可以较好的测量
  1. 5~4MeV能量范围内的γ射线。
- 3. 通过在不同的条件下测试电子 对谱仪,取得了一些有意思的成果

#### 展望:

- 1. 利用制作新的长条碘化钠探测器对共振核反应伽玛的高能量伽玛进行测量。
- 2. 电子对谱仪相关参数的确定
- ,例如符合分辨时间,真偶符 合比,符合效率等。
- 3. 开发一套新的符合电子学系统,作为电子对谱仪的专用符合系统。



# 谢 谢!

# 请各位老师批评指正!













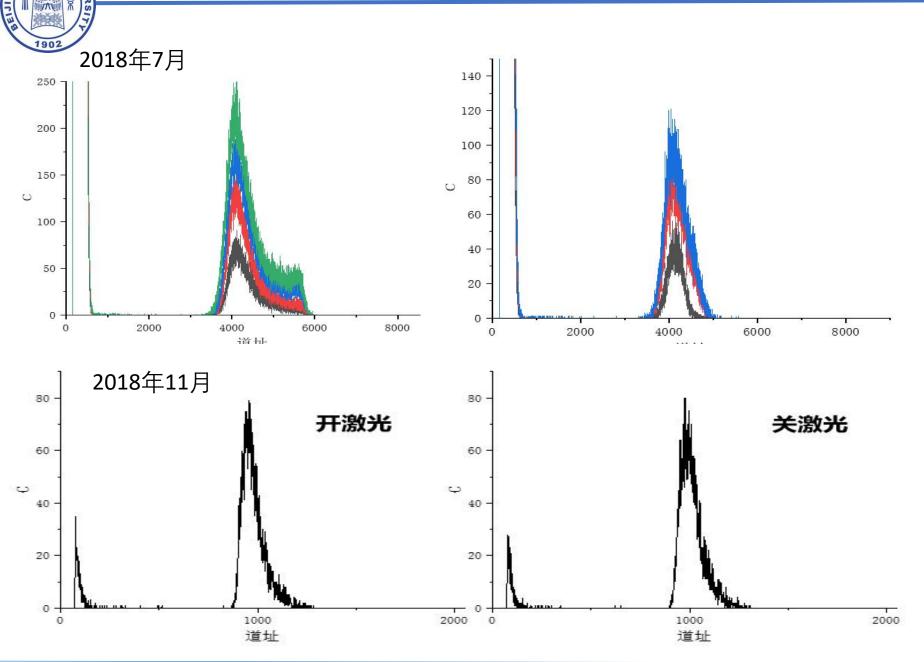
## 背景-LCS伽玛&共振核反应伽玛

Facility name	e <sup>-</sup> energy (GeV)	Laser wavelength $(\mu m)$	$\gamma$ energy (MeV)	$\gamma$ intensity (phs/s)
NewSUBARU (Miyamoto et al., 2007)	1.0	1.064	≤17.6	10 <sup>7</sup>
HIγS (Litvinenko et al., 1997)	0.24-1.2	1.06-0.19	1-100	$2 \times 10^8$
Upgraded HIyS (Weller et al., 2009)	0.24-1.2	1.06-0.19	1-100	$3 \times 10^9$
SLEGS (Pan et al., 2009)	3.5	10.64	<b>≤</b> 22	$10^8 - 10^{10}$
CGS at CLS (Szpunar et al., 2013)	2.9	10.64	≤15	$(1-5) \times 10^9$
HIγS2 (http://www.tunl.duke.edu/higs/)	0.4-1.1	2 (1.5)	2-12 (2.6-16)	10 <sup>12</sup>
ELI-NP (http://www.eli-np.ro/, 2015)	0.75	0.532	≤19.5	10 <sup>13</sup>

Reactions	Resonance energy /keV	γ-ray energy /MeV	Thick target yield /proton	Width Γ/ke
$^{7}Li(p,\gamma)$	441.4 ± 0.5	14.8.(33%) 17.6(67%)	$1.9 \times 10^{-8}$	12
$^9Be(p,\gamma)$	$998.0 \pm 4$	7.4	$1.78 \times 10^{-8}$	94
	$1087.0 \pm 2$ 6.7, 0.72		$1.01 \times 10^{-9}$	4
$^{19}F(p,lpha\gamma)$	$340.0 \pm 2$ $\begin{array}{c} 6.1(96\%) \\ 7.0(4\%) \end{array}$		$1.74 \times 10^{-8}$	3.2
	$873.5 \pm 1$	6.1(72%) 7.0(28%)	$3.6\times10^{-7}$	5.2
	$935.3 \pm 1$	6.1(77%) 7.0(23%)	(77%) 2.0 × 10 <sup>-7</sup>	
	$All \leq 960$	6.1(72%) 7.0(28%)	$6.1(72\%)$ $6.9 \times 10^{-7}$	
$^{13}C(p,\gamma)$	1747	9.17	$7.4 \times 10^{-9}$	-

- LCS伽玛源: 散射的光子束亮度高、极化 度高、单能性好、发散度小 并且能量可调
- 共振核反应γ源:单能性很好,主要多普勒效应和靶厚影响;4π立体角分布

## LCS伽玛光源实验结果



# 刘伏龙1,2, 吴笛2, 贺创业2,郭冰2,王乃彦1,2

1 北京师范大学核科学与技术学院, 2 中国原子能科学研究院