

rp-过程几个相关核素的半衰期测量

苏 俊

2011-10

合作单位： 原子能院

近物所

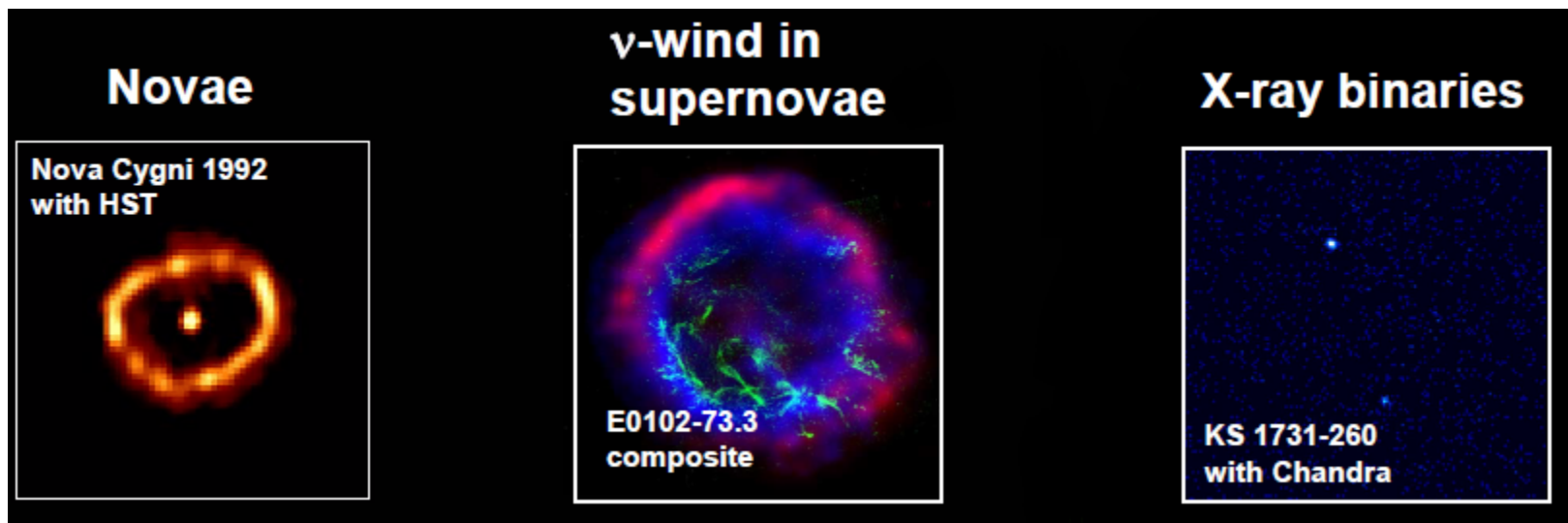
北京大学



创新群体2011年度会议

快速质子俘获(rp-)过程

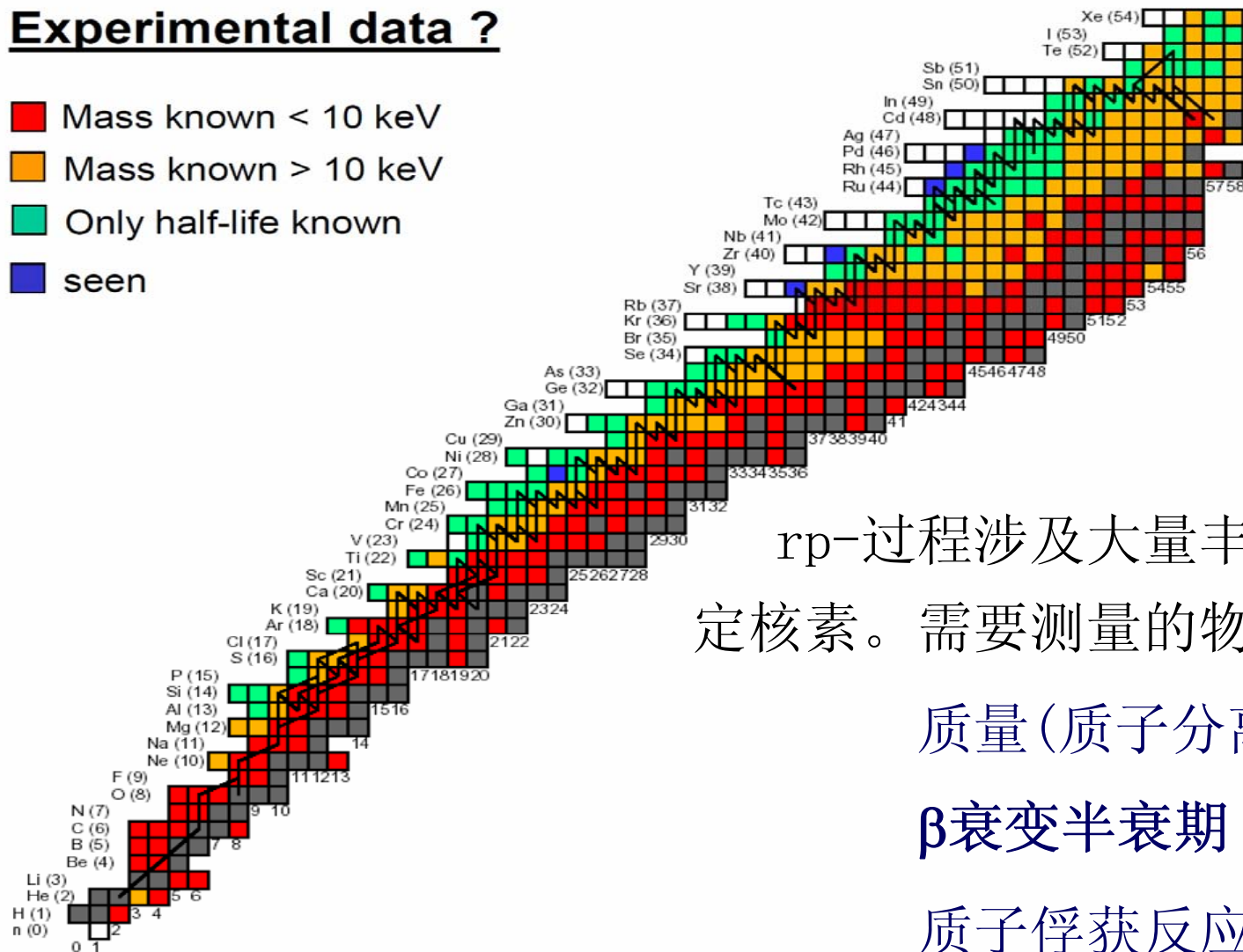
快速质子俘获(rp-)过程是发生在丰质子核区的爆发性氢燃烧过程，rp-过程与r过程、s过程是宇宙中 ^{56}Fe 以上元素产生的主要路径。rp-过程主要发生在以下天体环境中：



rp-过程路径

Experimental data ?

- Mass known < 10 keV
- Mass known > 10 keV
- Only half-life known
- seen



rp-过程涉及大量丰质子不稳定核素。需要测量的物理量包括：

质量(质子分离能)

β 衰变半衰期

质子俘获反应率



实验目标

在中科院近代物理研究所RIBLL束流线上，通过 $^{58}\text{Ni}(^{58}\text{Ni}, x)$ 反应产生Ni附近丰质子核素，对其半衰期进行测量。

										Cu(Z=29)																
										49	50	51	52 ?	53 3.0-7	54 7.5-8	55 2.0-7	56 1.0-2	57 2.0-1	58 3.2	59 8.2 ¹						
										Ni(Z=28)																
										47	48	49 3.5-7	50 8.0-3	51 9.0-3	52 2.0-2	53 4.5-2	54 1.0-1	55 1.9-1	56 5.3 ⁵	57 1.3 ⁵	58 s					
										Co(Z=27)																
										45	46	47	48 ?	49 3.5-8	50 1.0-2	51 2.0-2	52 2.0-2	53 2.6-1	54 7.5-1	55 6.3 ⁴	56 6.8 ⁶	57 2.3 ⁷				
										Fe(Z=26)																
										43	44	45 3.5-7	46 1.0-2	47 1.0-2	48 3.0-2	49 7.5-2	50 1.0-1	51 2.5-1	52 3.0 ⁴	53 5.1 ²	54 9.8 ²⁹	55 8.5 ⁷	56 s			
										Mn(Z=25)																
										41	42	43	44 1.1-7	45 7.0-8	46 1.5-2	47 3.0-2	48 3.0-2	49 3.8-1	50 7.6-1	51 2.8 ³	52 6.8 ⁴	53 1.2 ¹⁴	54 2.7 ⁷	55 s		
										=24)																
										39	40	41	42 1.5-2	43 1.5-2	44 3.0-2	45 5.0-2	46 2.6-1	47 4.6-1	48 7.8 ⁴	49 2.5 ³	50 5.7 ²⁴	51 2.4 ⁶	52 s	53 s	54 s	
										37	38	39	40 ?	41 ?	42 1.5-2	43 3.5-2	44 9.0-2	45 4.0-1	46 4.2-1	47 2.0 ³	48 1.4 ⁶	49 2.9 ⁷	50 4.4 ²⁴	51 s	52 2.3 ²	53 9.6 ¹

测量方法

$^{58}\text{Ni}(^{58}\text{Ni}, x)$ 反应产生丰质子核素



RIBLL束流线对核素进行选择



ΔE -TOF对核素鉴别



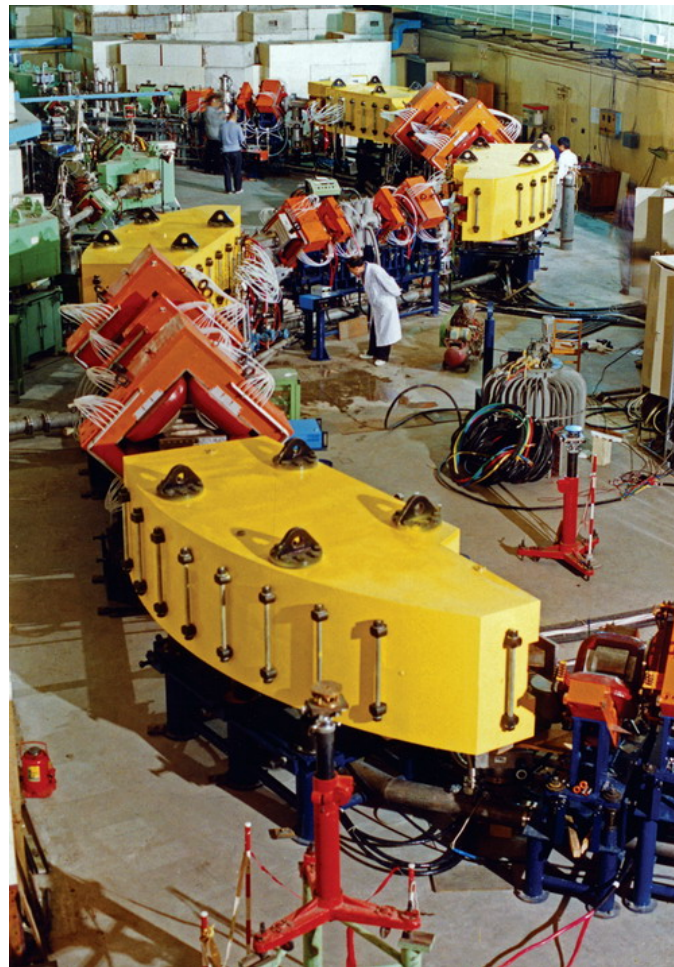
核素注入到DSSSD探测器中



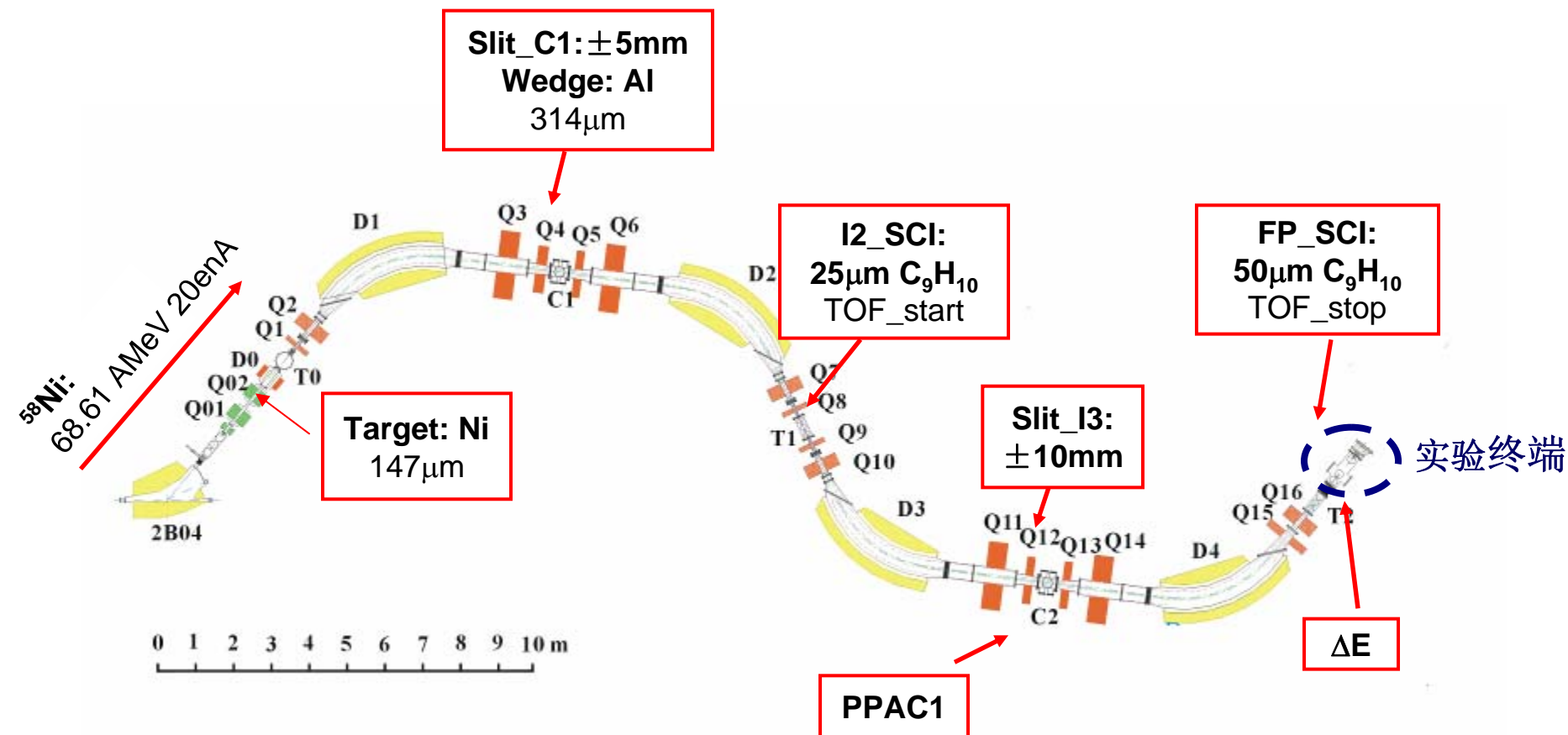
核素衰变放出轻粒子



DSSSD对轻粒子进行测量



RIBLL束流线设置



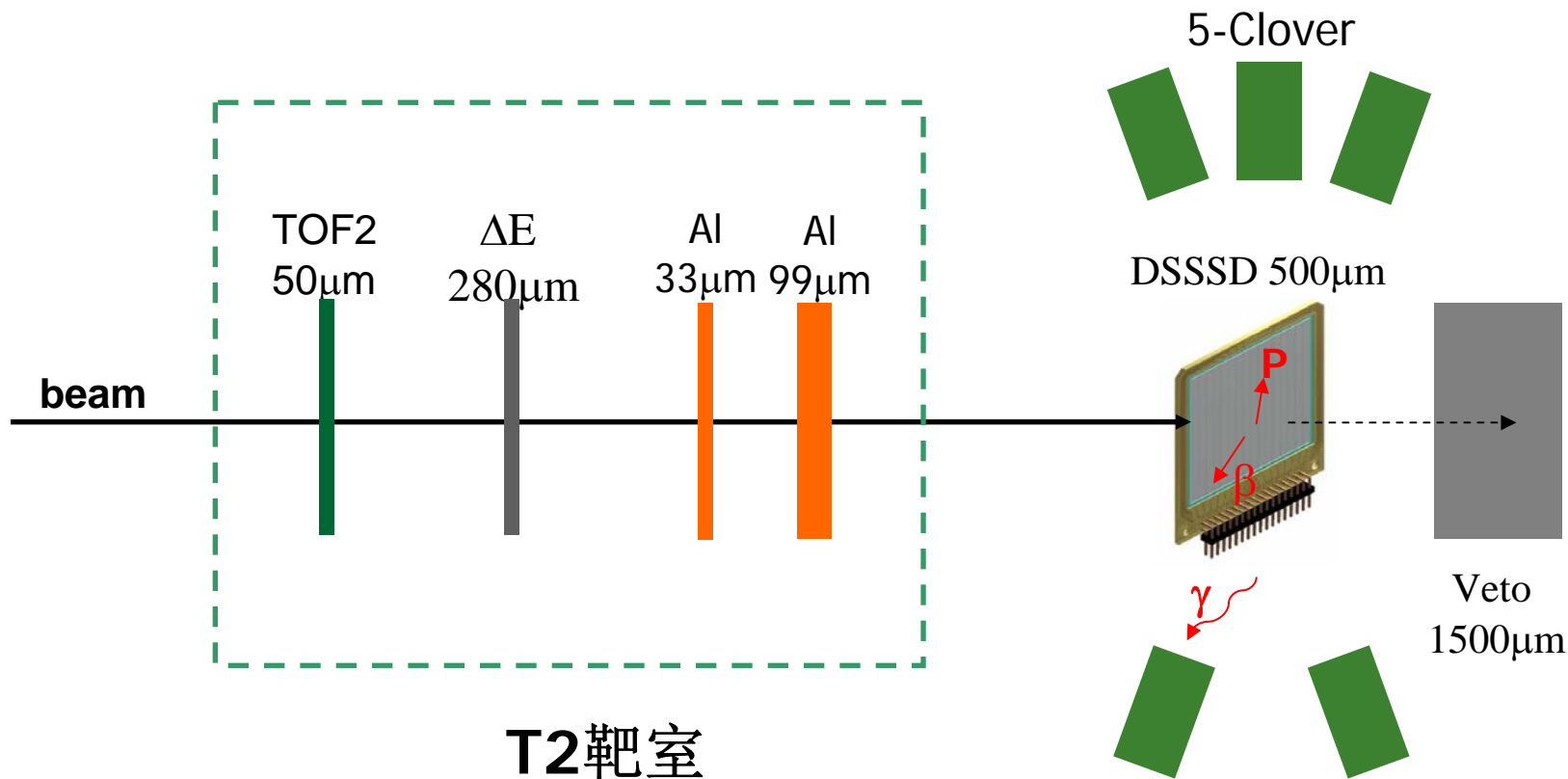
动量接收度: **0.49%**

磁铁优化在 ^{53}Ni 上



创新群体2011年度会议

实验测量设置



DE-TOF鉴别重粒子

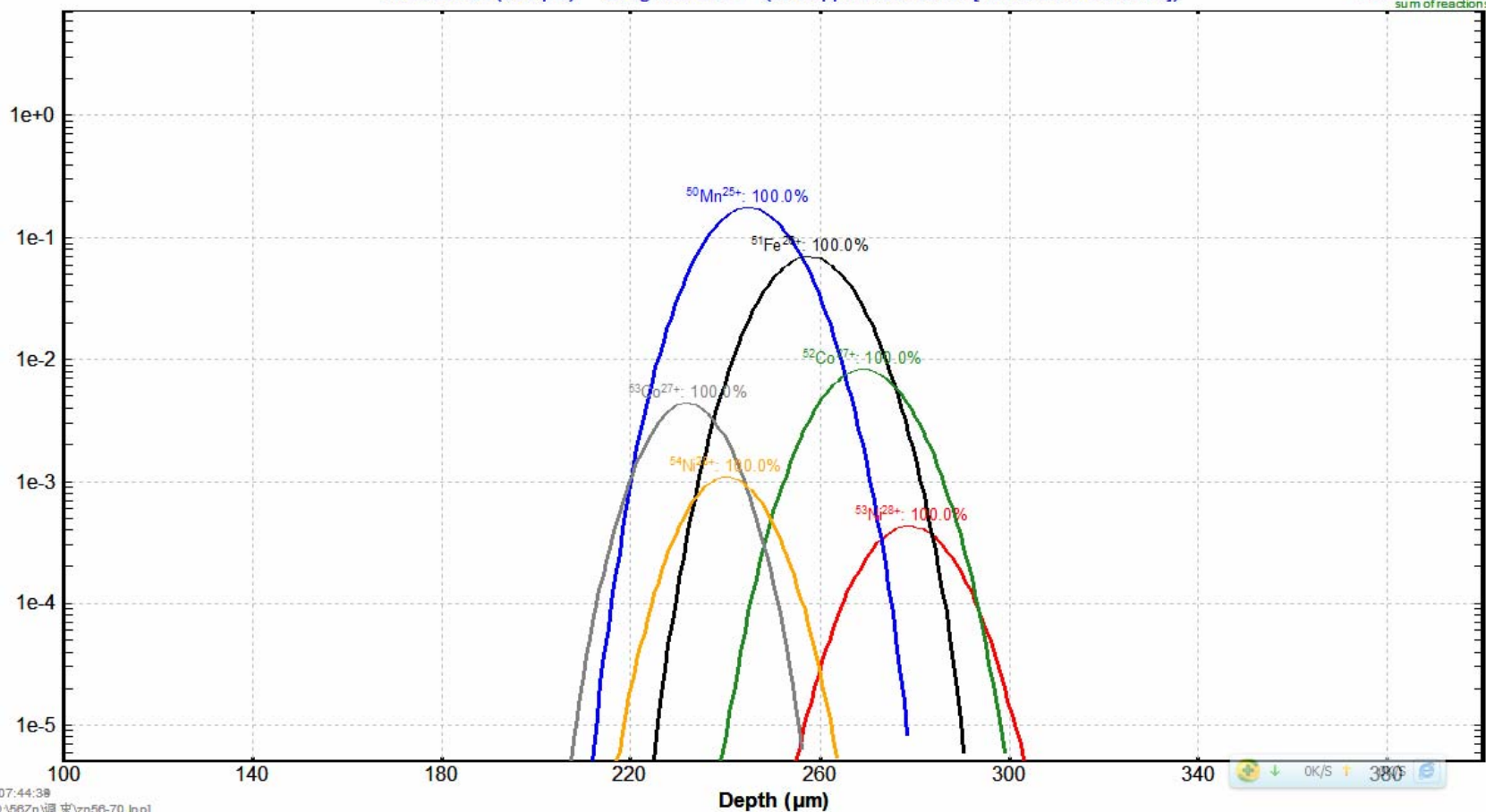
DSSSD探测重粒子注入位置、衰变放出的轻粒子

获取系统给每个粒子事件打时间标签, 根据时间差得到半衰期

注入深度模拟

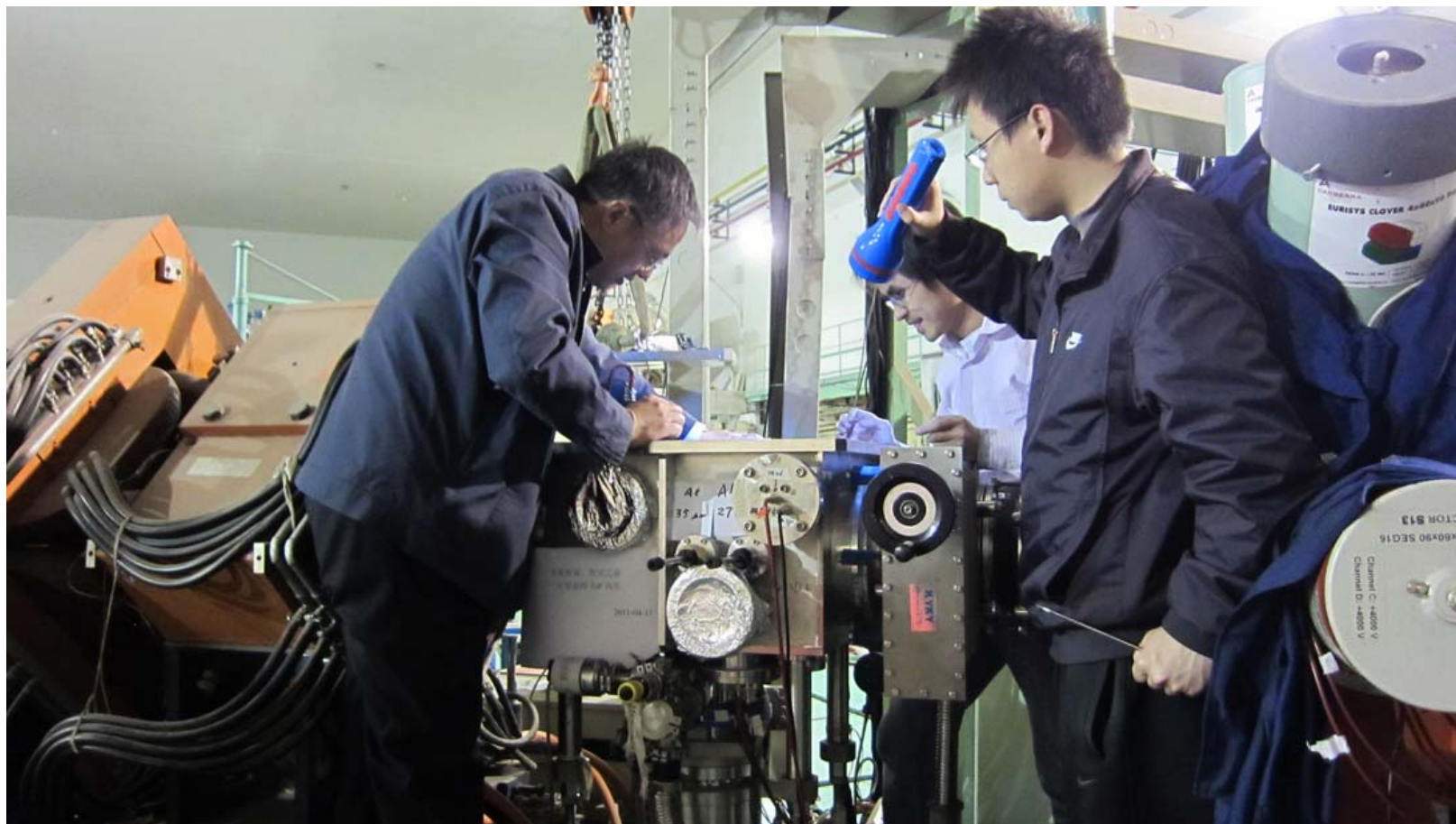
Range distribution in DSSSD

^{58}Ni (68.6 MeV/u) + Ni (147 μm), C (2e-2 mg/cm²); Settings on ^{53}Ni 28+ 28+ 28+ 28+; Config: DSWMDMDSMMDDMMMMMM
dp/p=0.10% ; Wedges: Al (314 μm); Brho(Tm): 2.0483, 1.8145, 1.8038, 1.7942
Material: Si (500 μm) Strag.Method: 1 (% stopped in detector [100% incoming into it])



创新群体2011年度会议

T2靶室

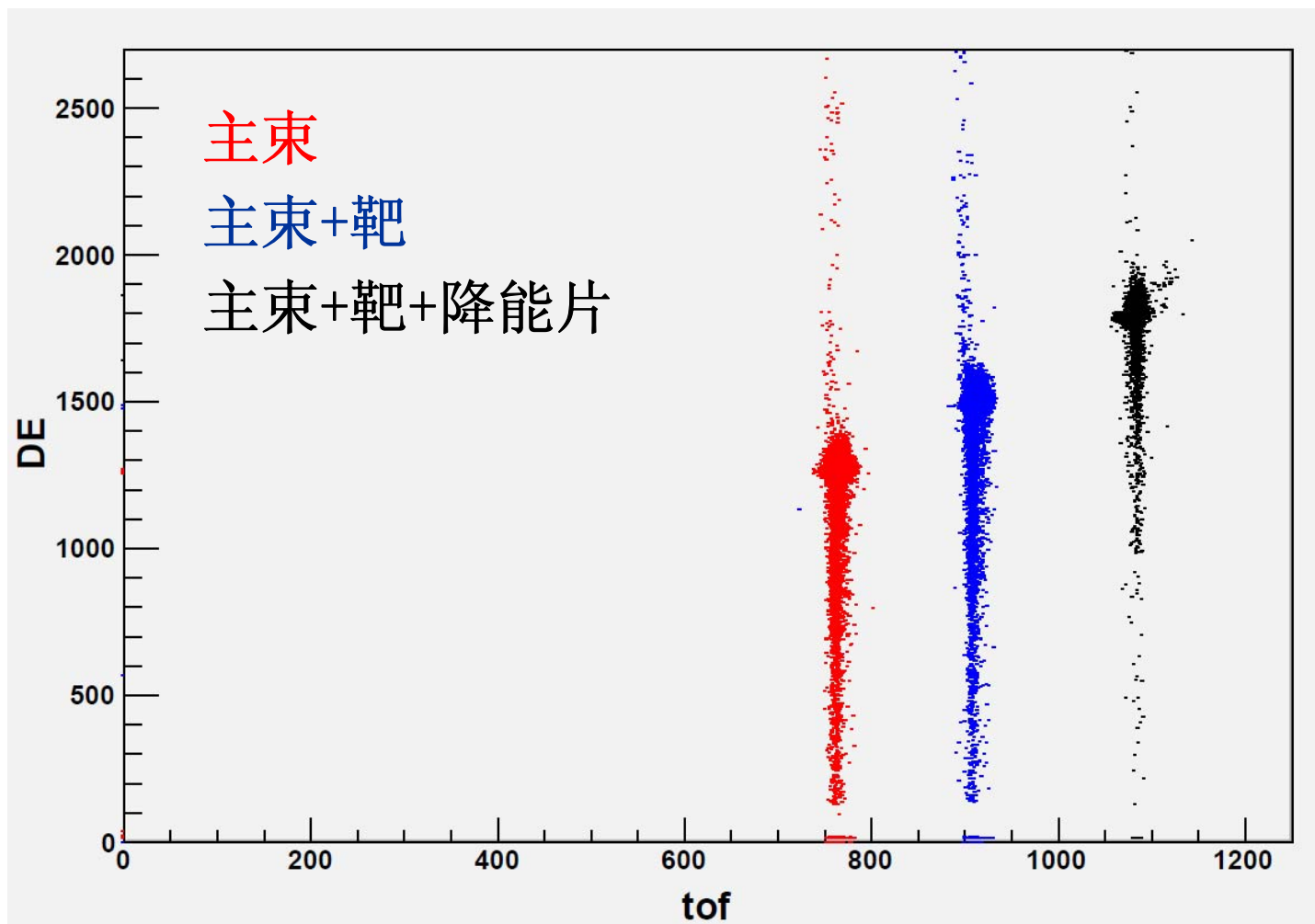


创新群体2011年度会议

衰变探测装置

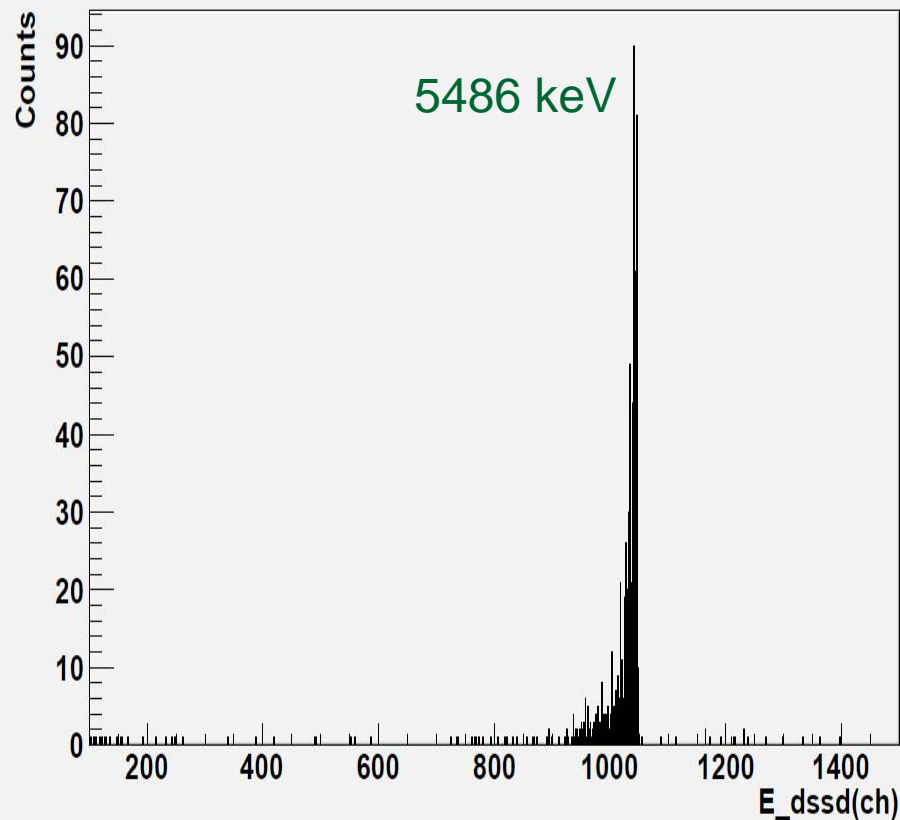


ΔE -TOF刻度(^{58}Ni 主束)

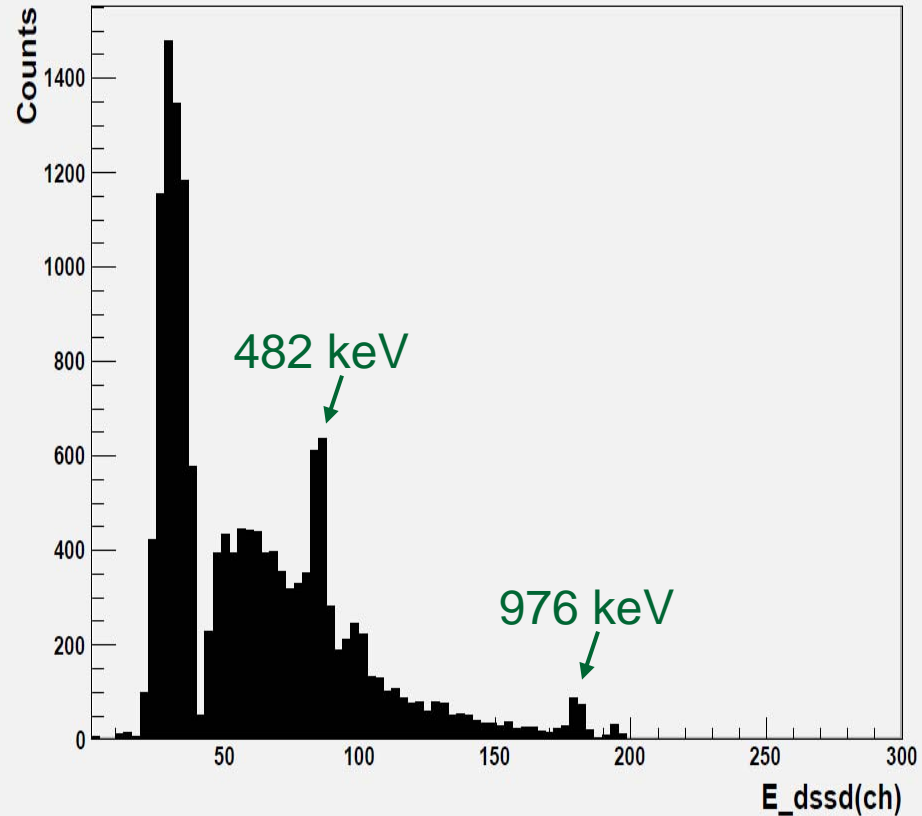


DSSSD 能量刻度

^{241}Am α 源

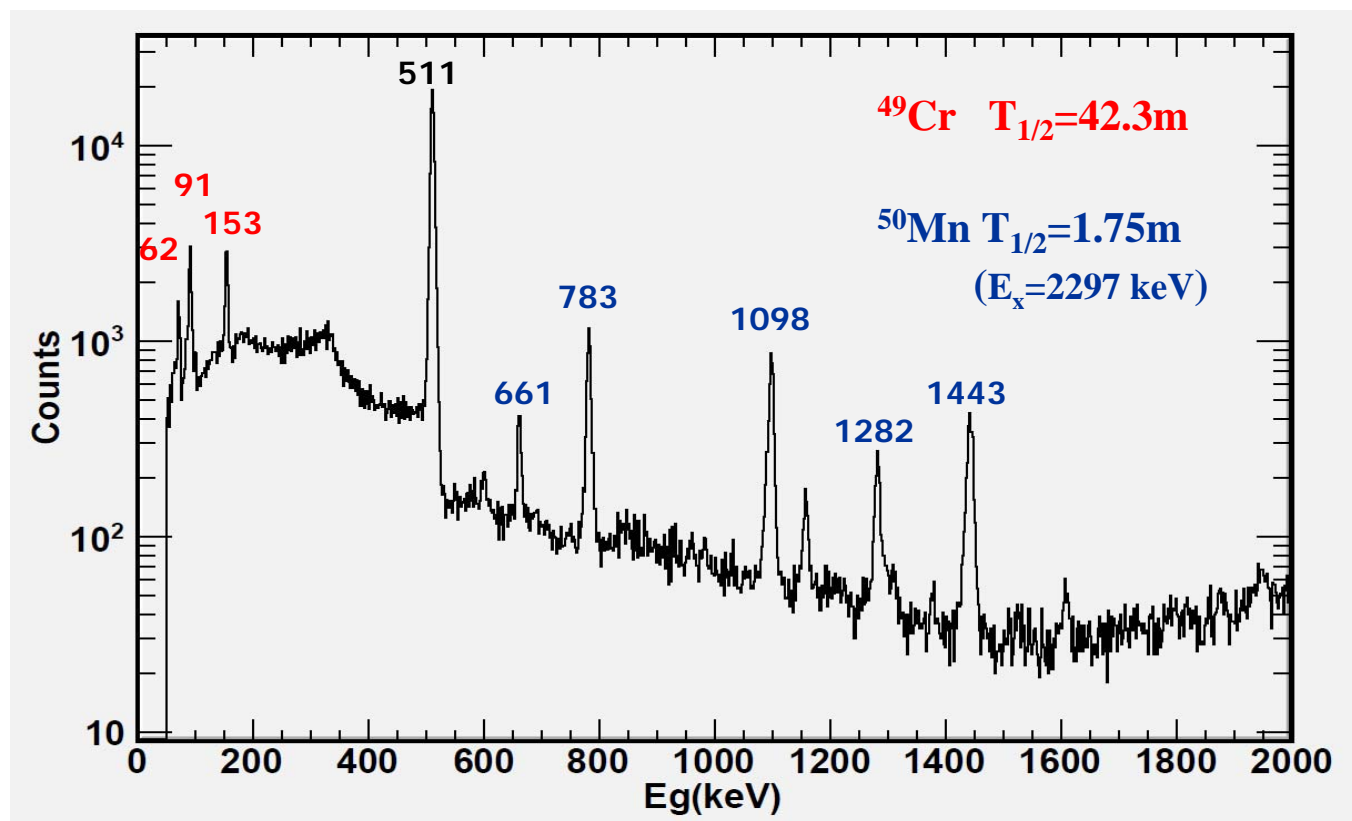


^{207}Bi β 源



Clover能量刻度

特征 γ 射线刻度



数据处理方法

从 ΔE -TOF谱上鉴别出重粒子



在重粒子后**3000ms**内找轻粒子



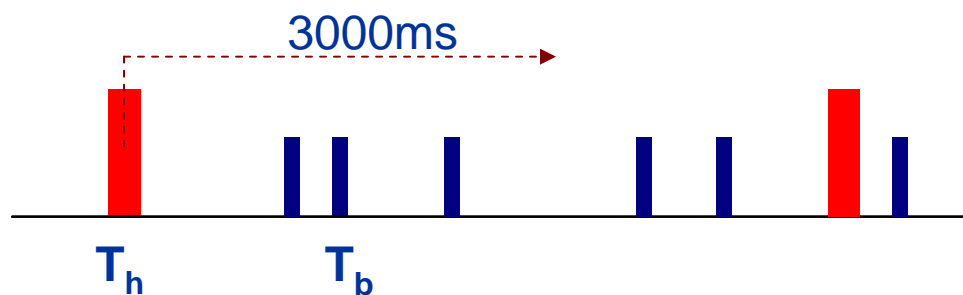
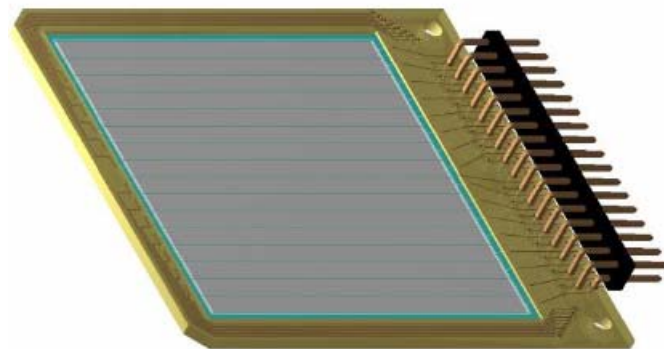
根据**DSSSD**注入位置减小干扰



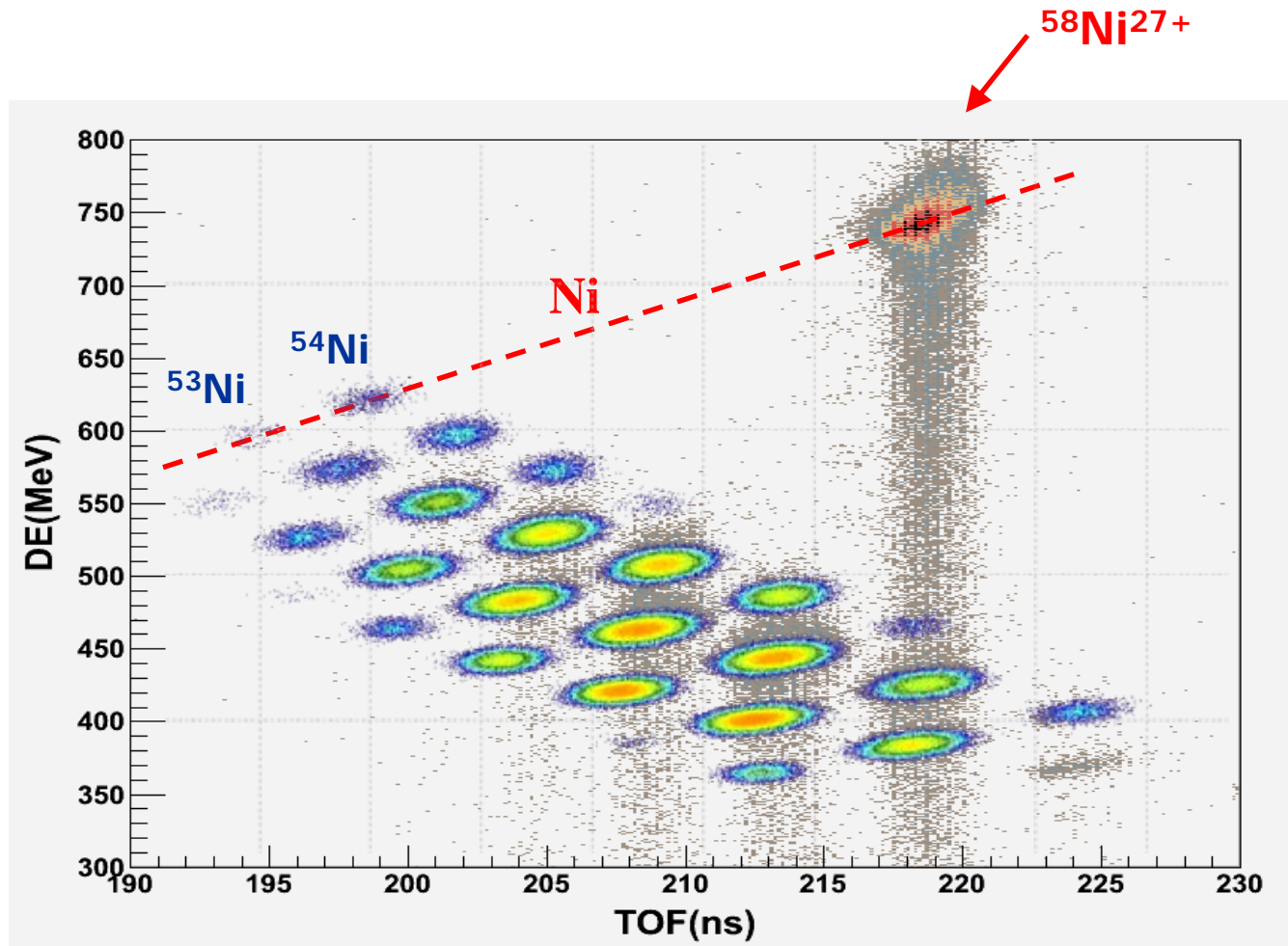
$T = T_b - T_h$ 得到衰变时间谱



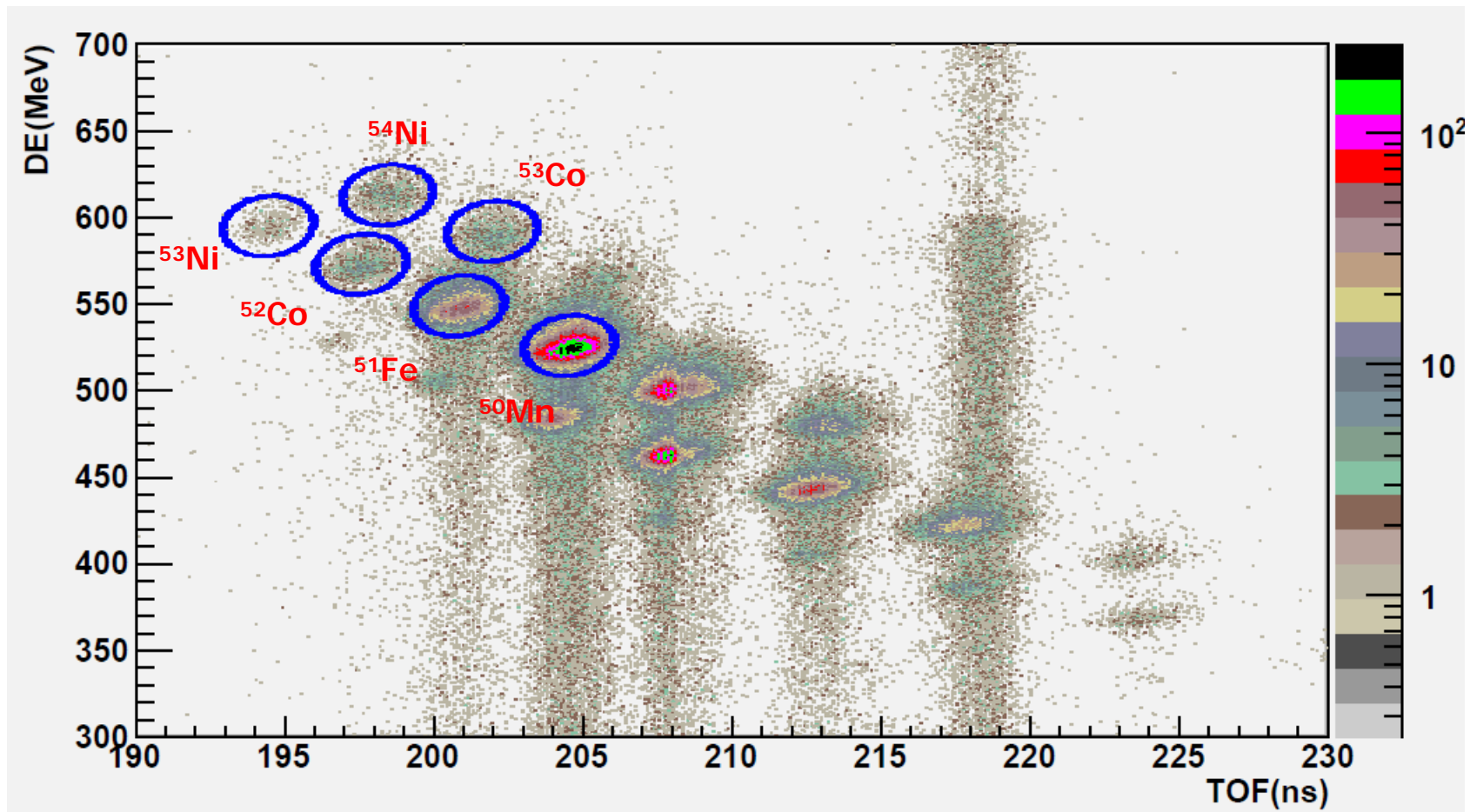
拟合得到半衰期



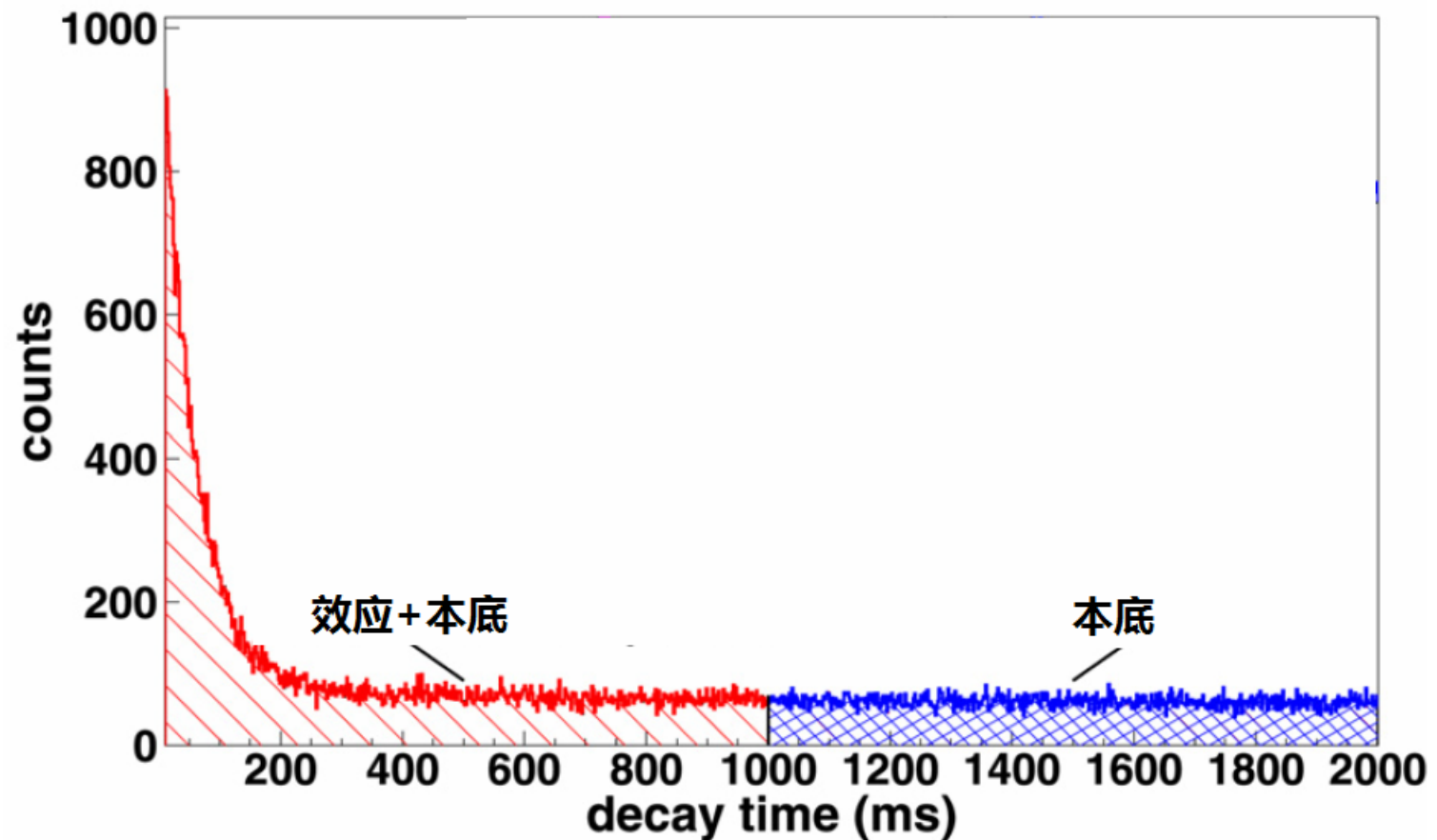
ΔE -TOF 粒子鉴别



重离子卡门



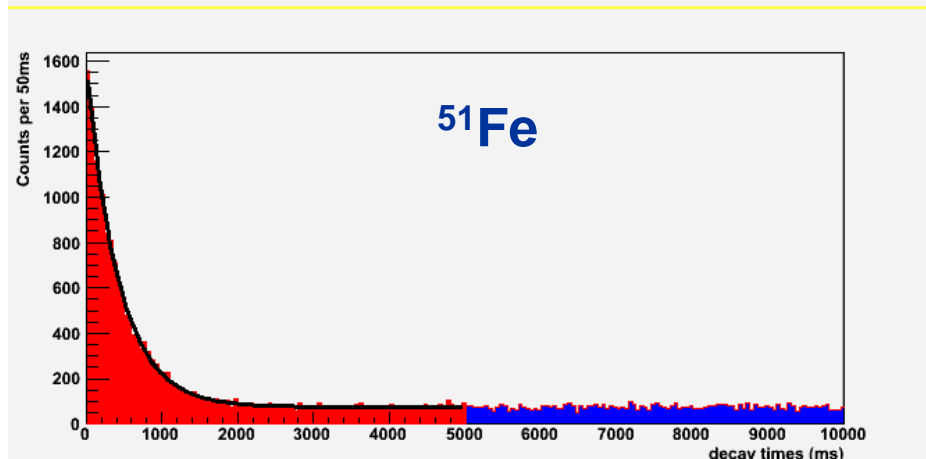
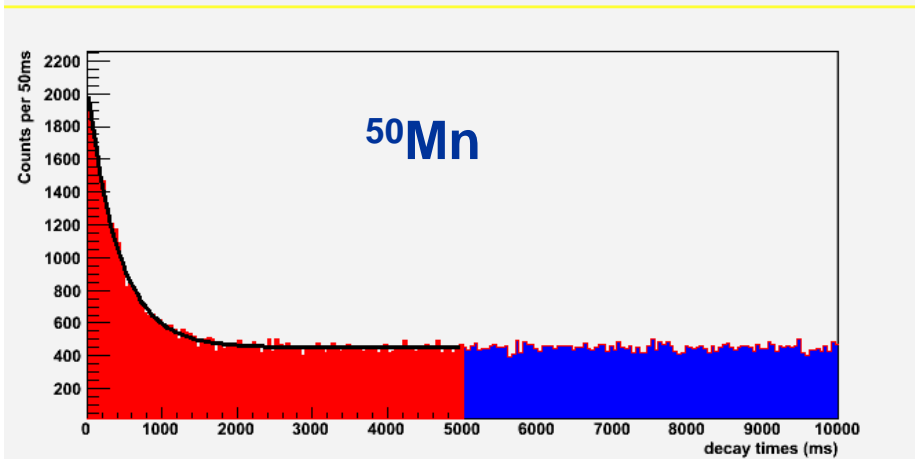
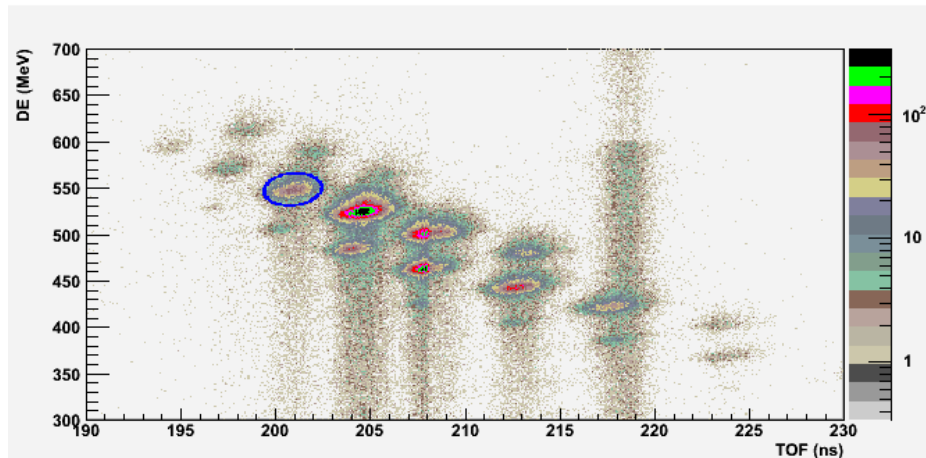
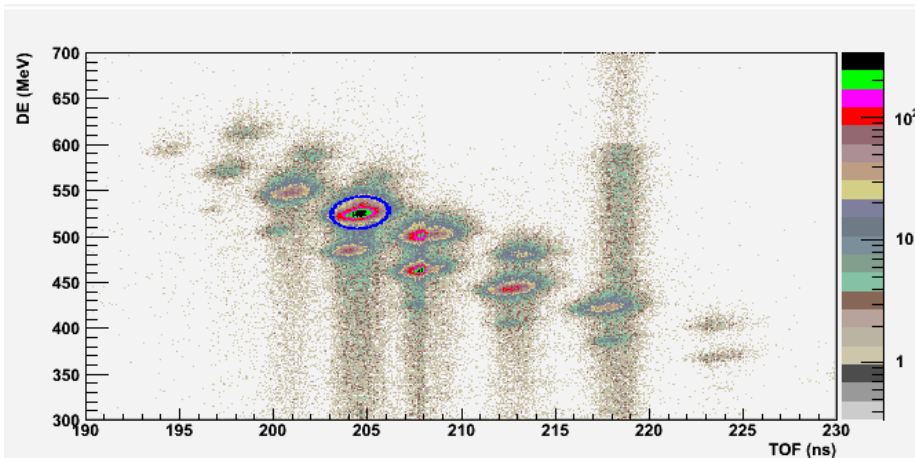
拟合公式



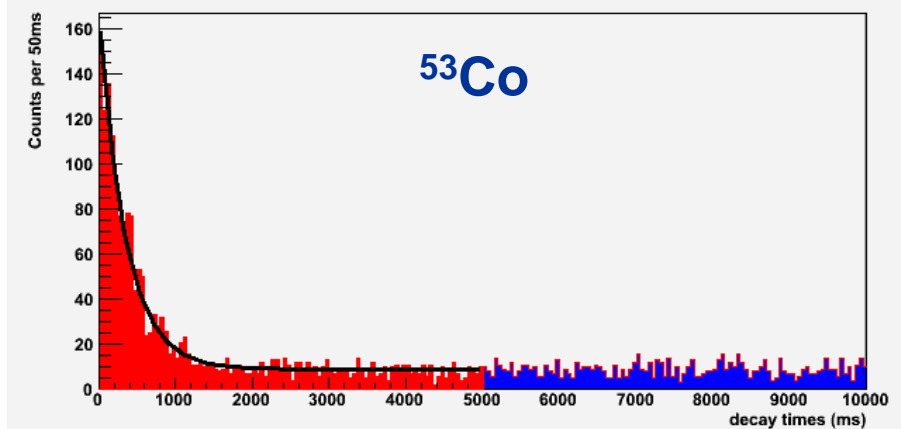
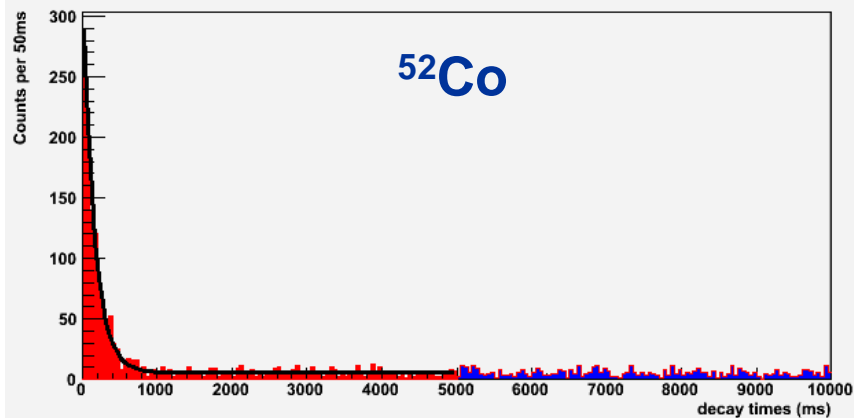
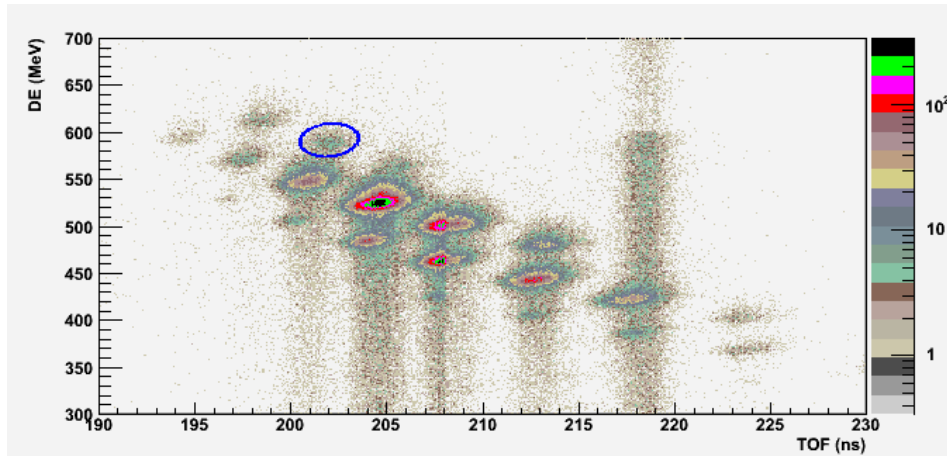
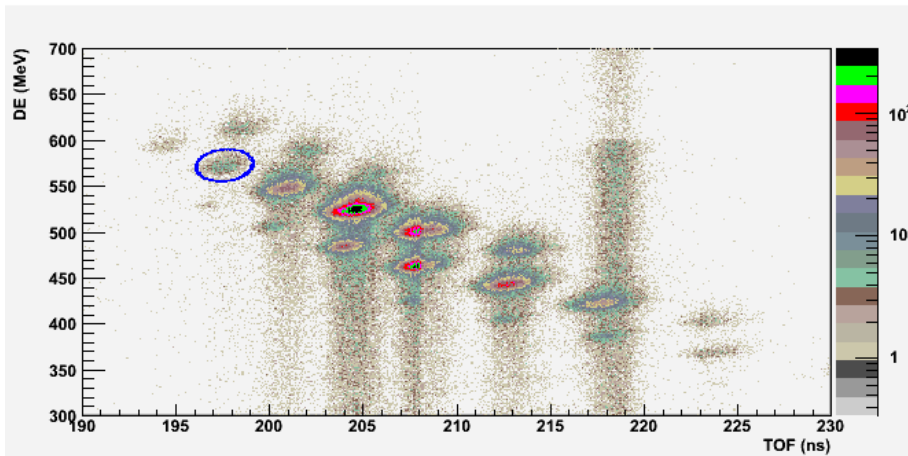
拟合公式: $A=A_0e^{-\lambda t}+B$



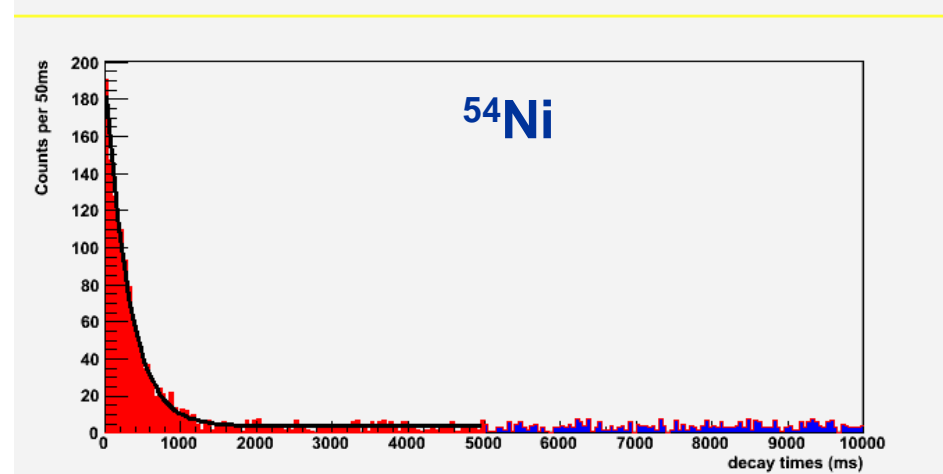
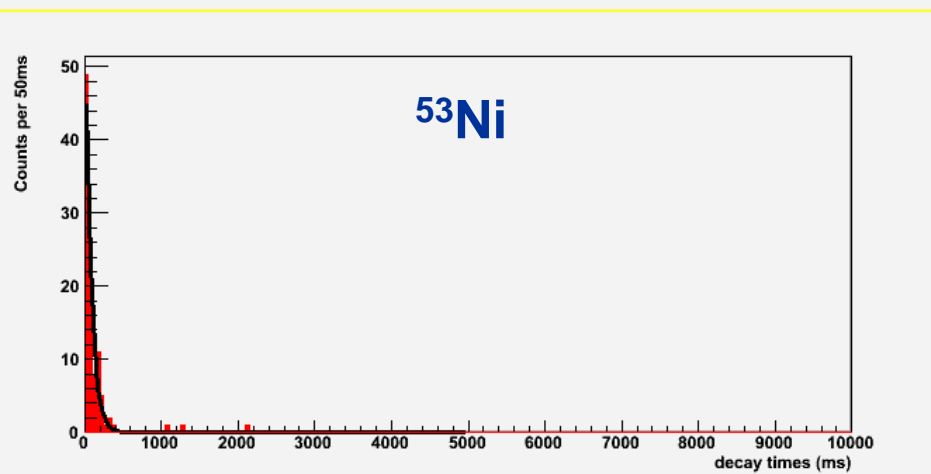
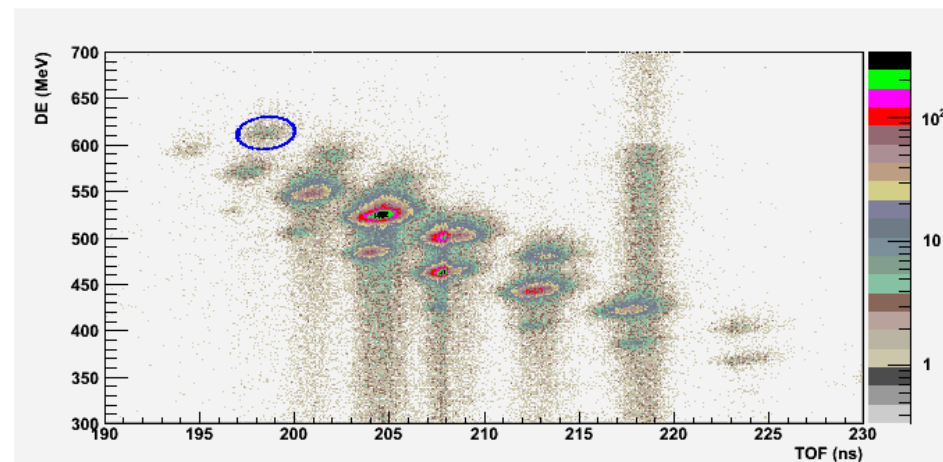
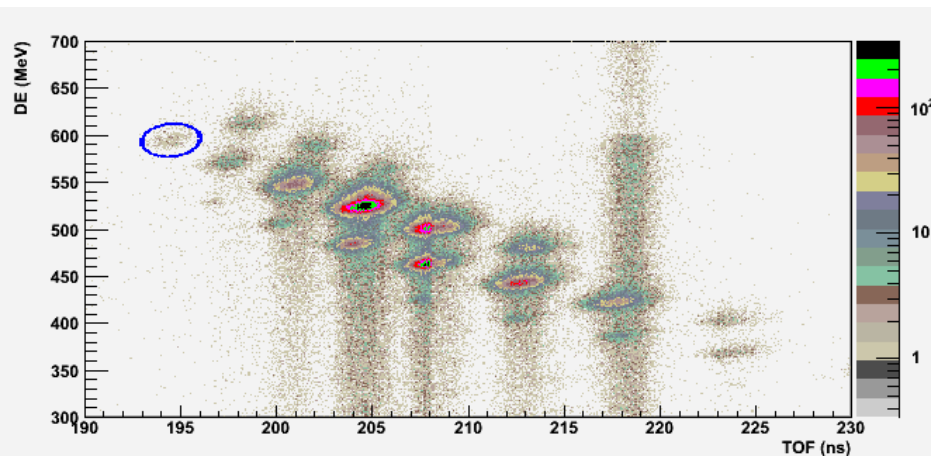
^{50}Mn 、 ^{51}Fe 衰变时间谱



^{52}Co 、 ^{53}Co 衰变时间谱



^{53}Ni 、 ^{54}Ni 衰变时间谱



结果与现有数据的比较

Isotope	T _{1/2} (ms)	
	Present Work	NNDC
⁵³ Ni	52 ± 9	55 ± 0.7 ^a
⁵⁴ Ni	111 ± 7	104 ± 7
⁵²Co	108 ± 5	115 ± 23
⁵³ Co	240 ± 11	240 ± 9 ^b 247 ± 12 ^c
⁵¹ Fe	295 ± 4	305 ± 5
⁵⁰ Mn	287 ± 6	283.3 ± 0.08

a: 来源于 NPA792(2007)18

b: ⁵³Co基态半衰期

c: ⁵³Co的3.19MeV同质异能态半衰期



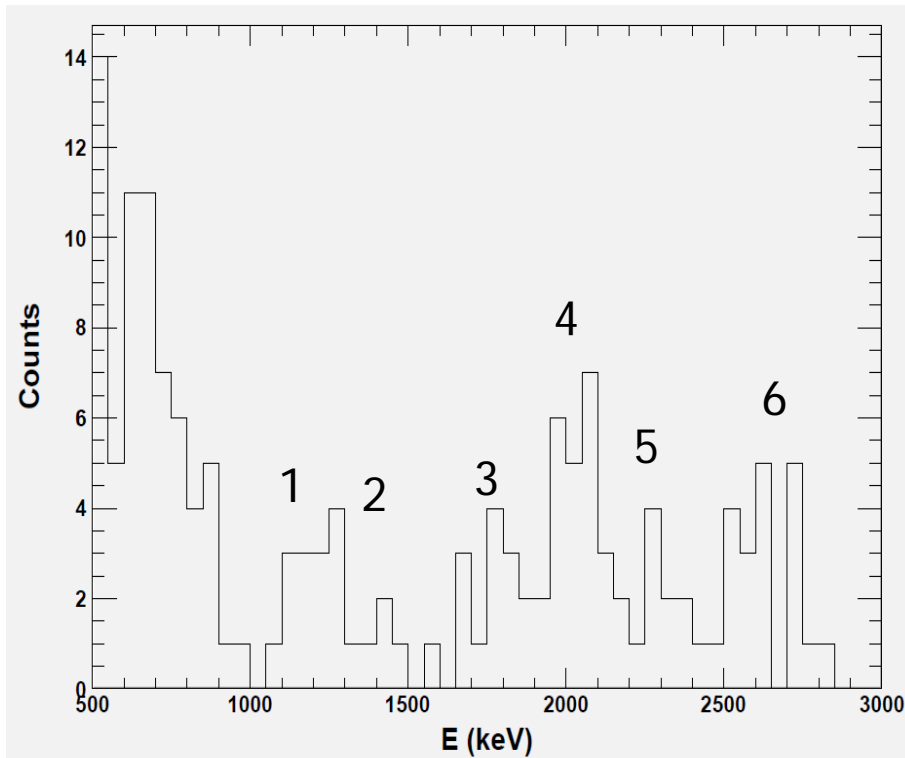
误差来源

Isotope	$T_{1/2}(\text{ms})$	误差来源(ms)			
		拟合	本底	卡门	BIN宽
^{53}Ni	52 ± 9	7		0.4	5
^{54}Ni	111 ± 7	5.9	1	0.5	3
^{52}Co	108 ± 5	4.2	1	0.5	3
^{53}Co	240 ± 11	10	2.5	1	4
^{51}Fe	295 ± 4	3.7	0.6	0.2	1.3
^{50}Mn	287 ± 6	5.3	2	0.5	0.5



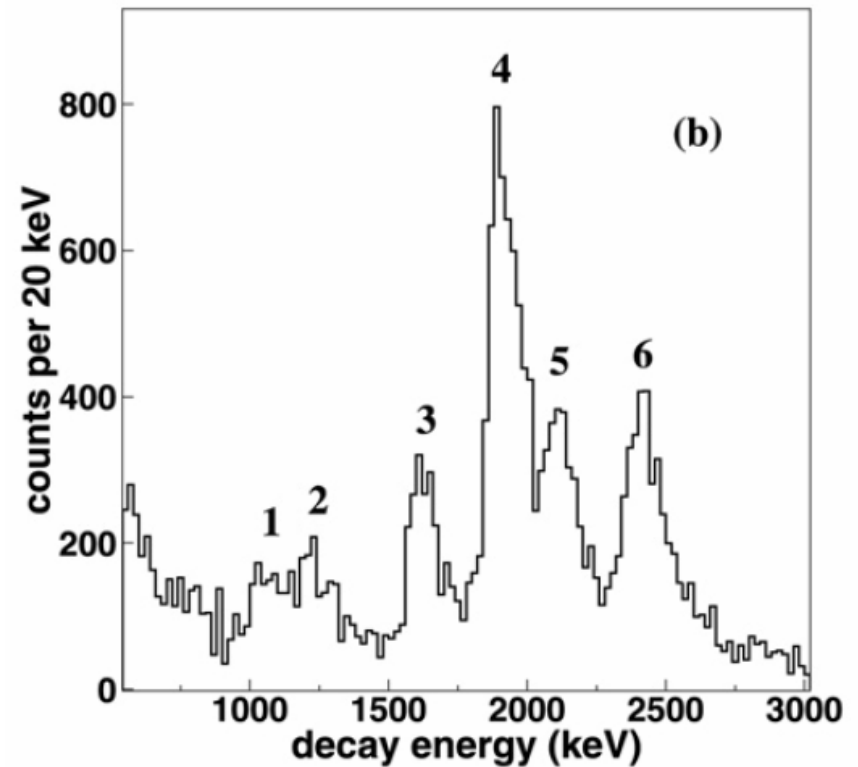
^{53}Ni β 延迟质子能谱

Present



$I_p = 20 \pm 2\%$

NPA 792(2007)18

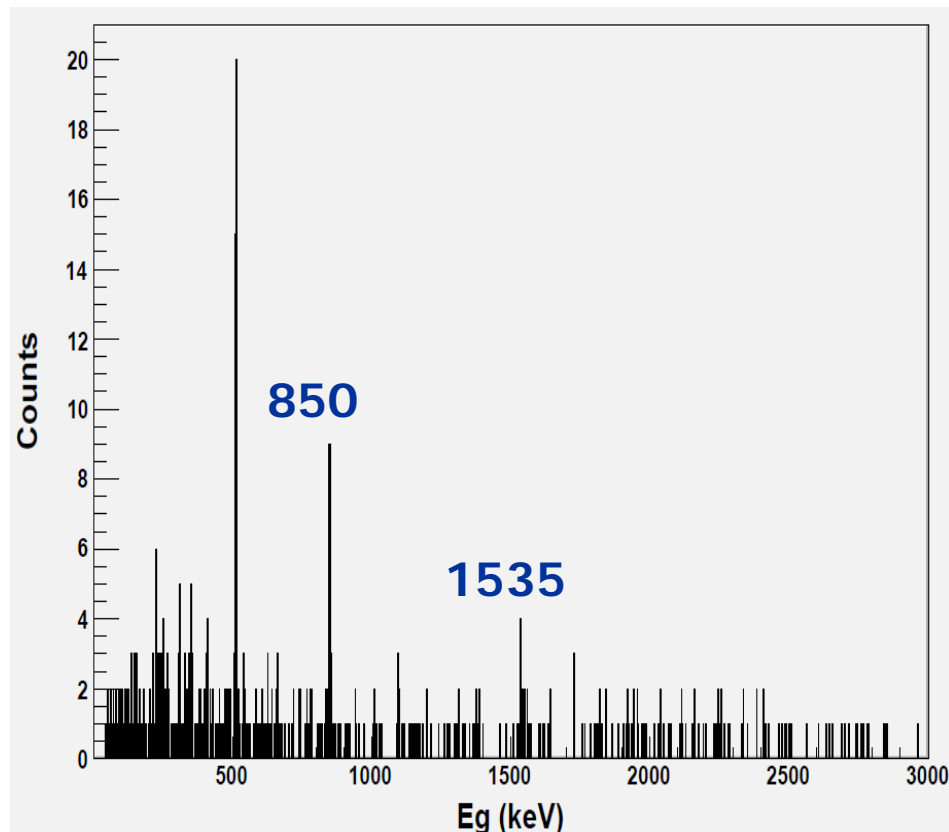


$I_p = 23.4 \pm 1\%$



创新群体2011年度会议

γ 探测结果- ^{52}Co



NPA 613(1997)183

Table 3

Gamma rays assigned to the isotope ^{52}Co

E_γ (keV)	I_γ (%)
849.43 ± 0.10	100
1328.95 ± 0.25	63 ± 7
1535.27 ± 0.15	69 ± 6
1941.65 ± 0.40	46 ± 10
Average	

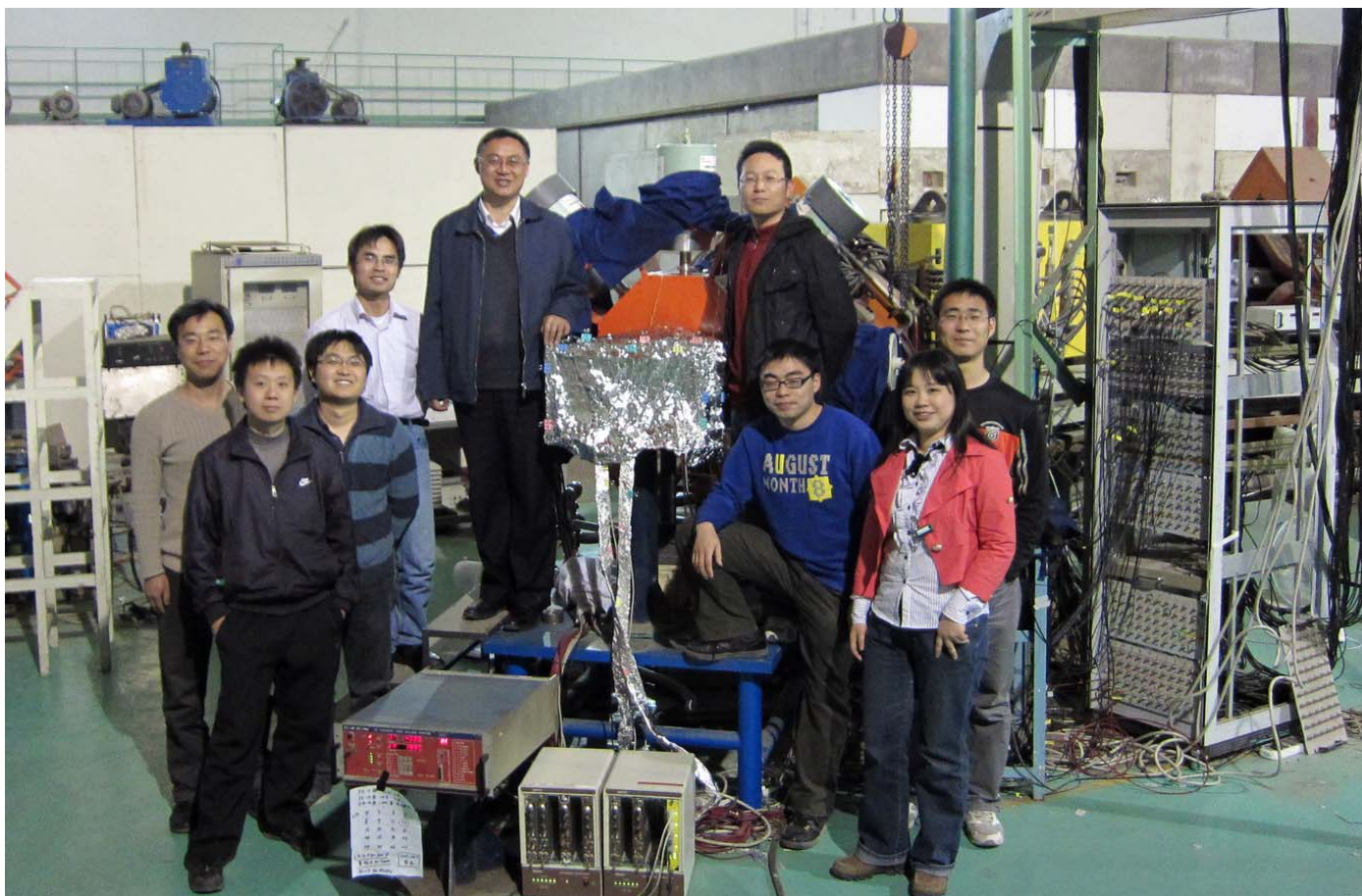


总结

- 利用中科院近物所RIBLL束流线产生了 ^{53}Ni 等rp-过程相关核素, 注入到DSSSD探测器中对其衰变产生的轻粒子进行了测量, 得到了这些核素的半衰期, 结果与现有数据符合, 其中 ^{52}Co 测量精度有所提高;
- 利用DSSSD测量到了 ^{53}Ni β 延迟发射质子, 能谱和质子衰变分支比与现有数据符合, 利用CLOVER探测器测量到了部分核素的特征 γ 射线;
- 掌握了衰变测量实验技术以及数据分析方法, 为下一步在国外(如日本理化研究所、法国GANIL)大型装置上开展此类实验打下了基础;



谢 谢



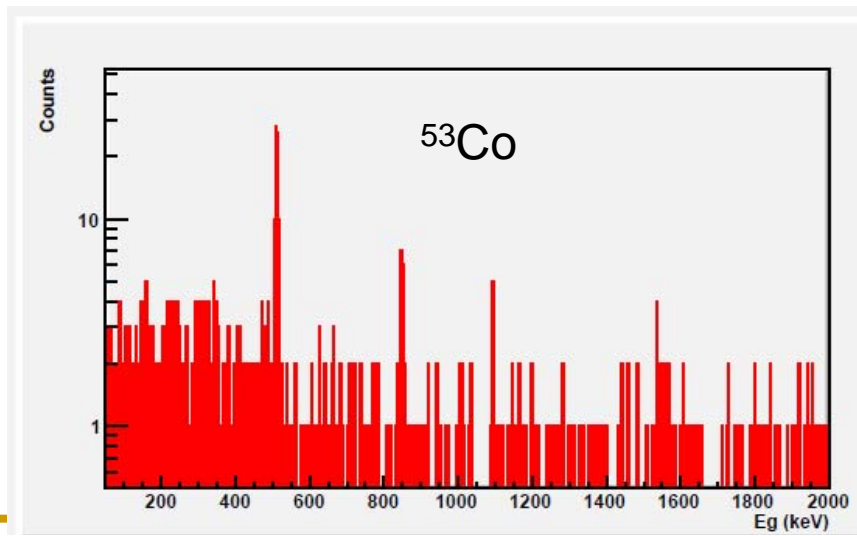
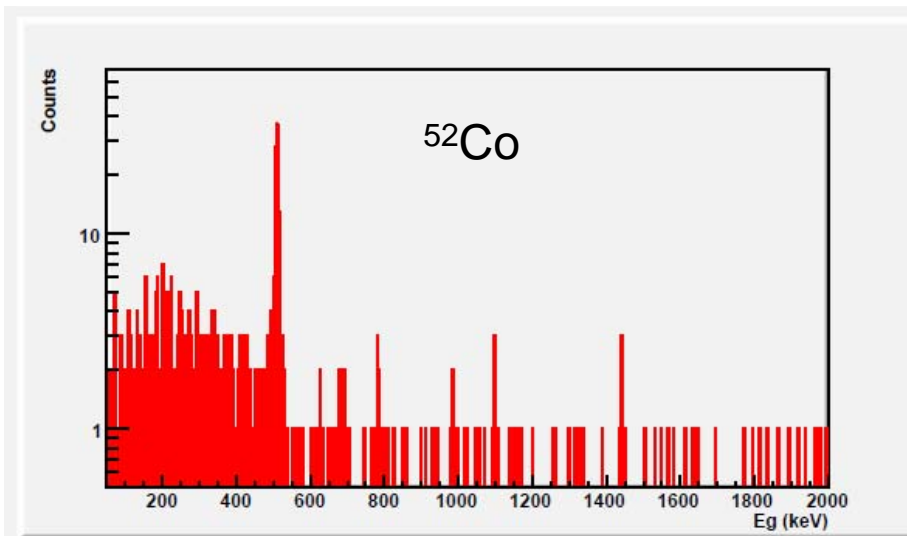
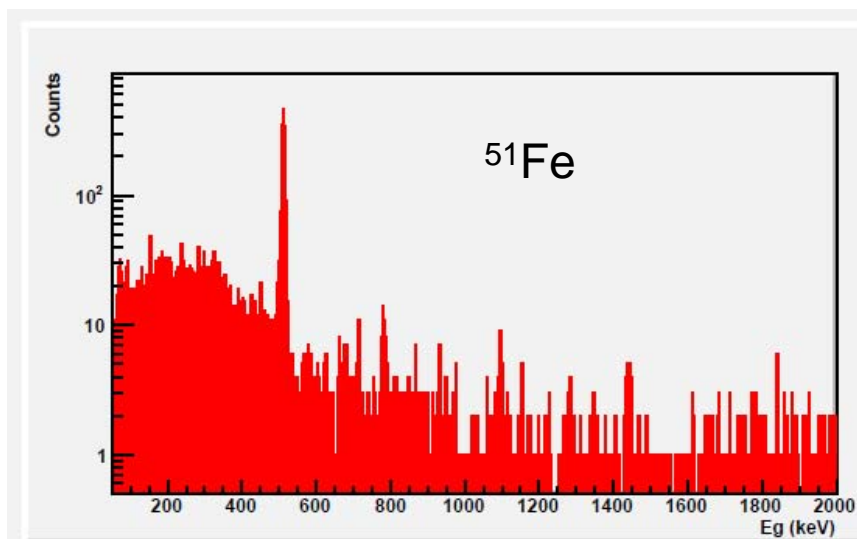
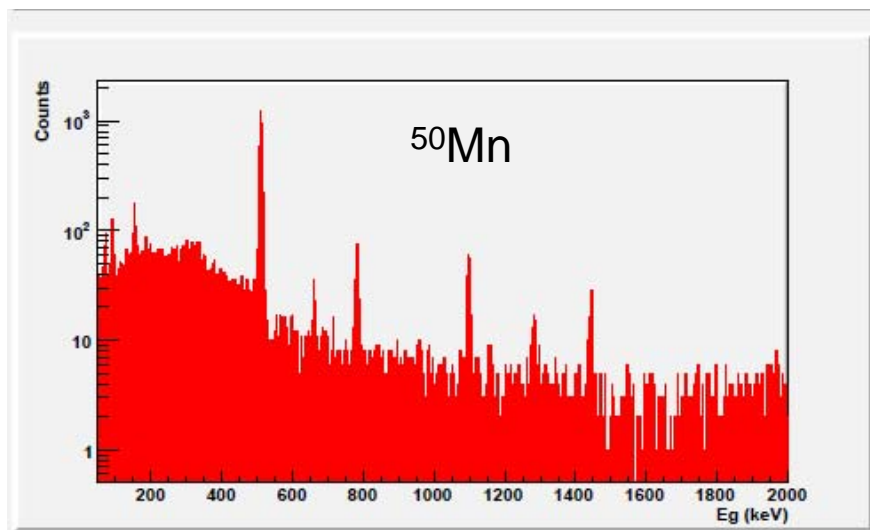
创新群体2011年度会议

特别感谢

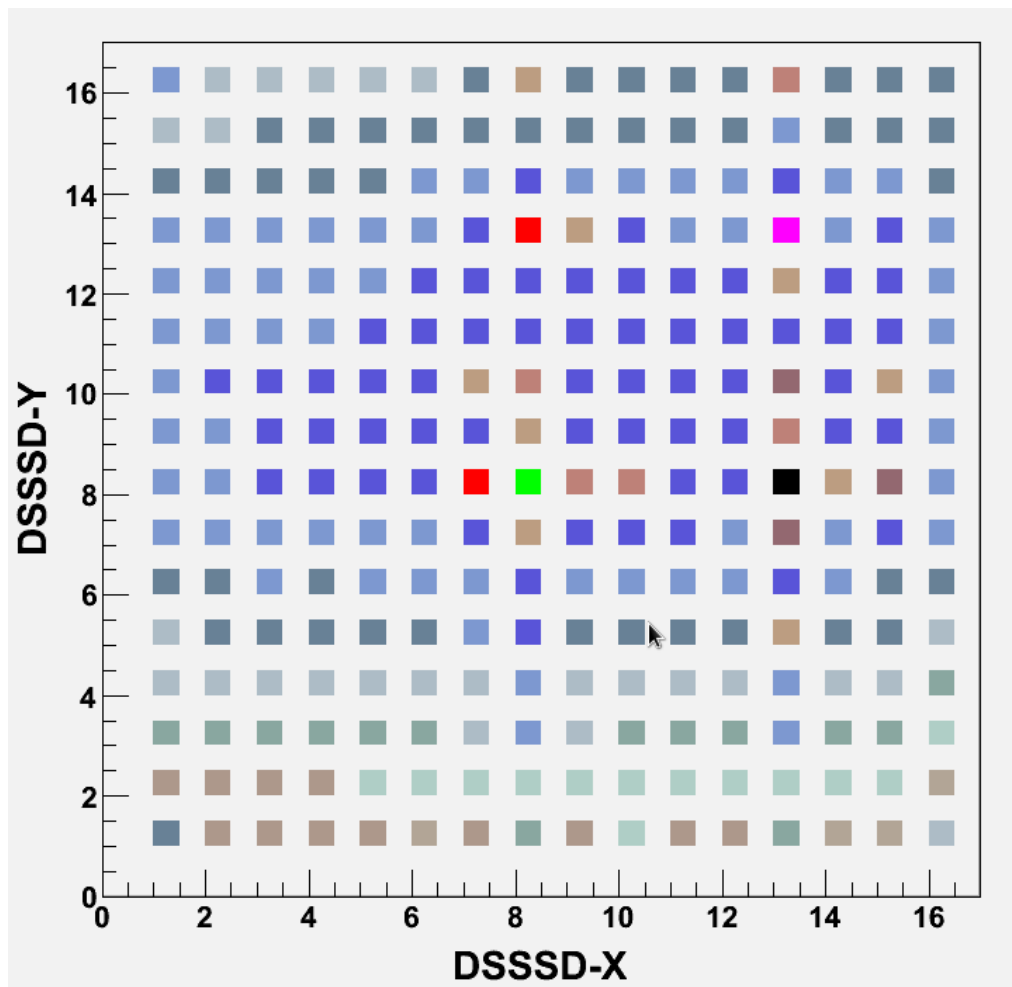


创新群体2011年度会议

γ 探测结果



束流在DSSSD上的分布



本底- ^{58}Ni 衰变时间谱

