在束伽玛探测技术的进展与展望

吴晓光
中国原子能科学研究院

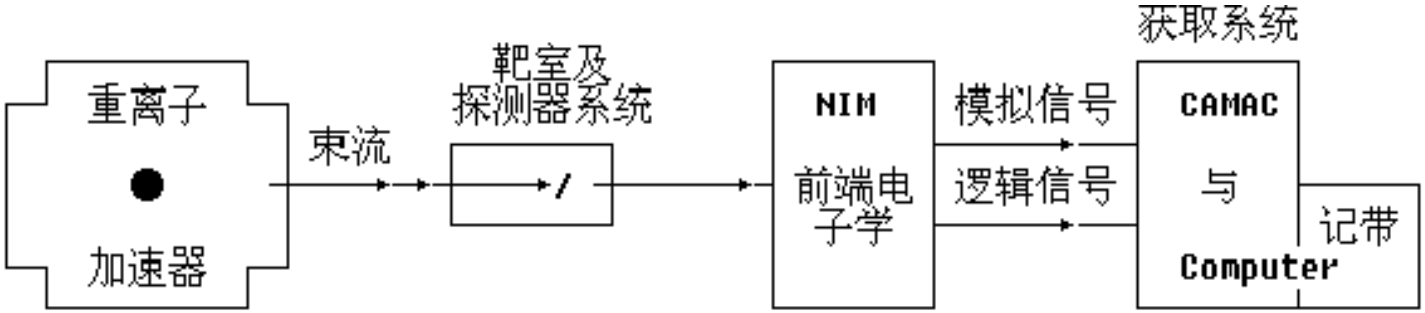
2012年8月16日,四川绵阳

Contents

- 在束伽玛探测技术简介
- HI-13串列加速器上的在束伽玛实验终端
- 在束伽玛探测技术最新进展
- 前景与应用

在束伽玛谱学实验的一般性介绍

在束伽玛谱学实验是指采用重粒子加速器来加速比α粒子重的离子束去轰击靶核而产生的核反应，先通过探测器系统来收集剩余核和出射粒子的有关信息，比如；能量，电荷，质量，飞行时间等参量，然后再通过前端电子学系统把这些参量变换为电信号后送往在线数据获取系统进行记录，最后通过离线数据分析系统推断出参与该反应的物理机制。



◆ 重离子反应实验系统图

在束伽玛谱学实验技术

在束伽玛谱学是粒子加速器、核探测技术、核电子学和计算机技术进步的结晶。

粒子加速器:重离子加速器

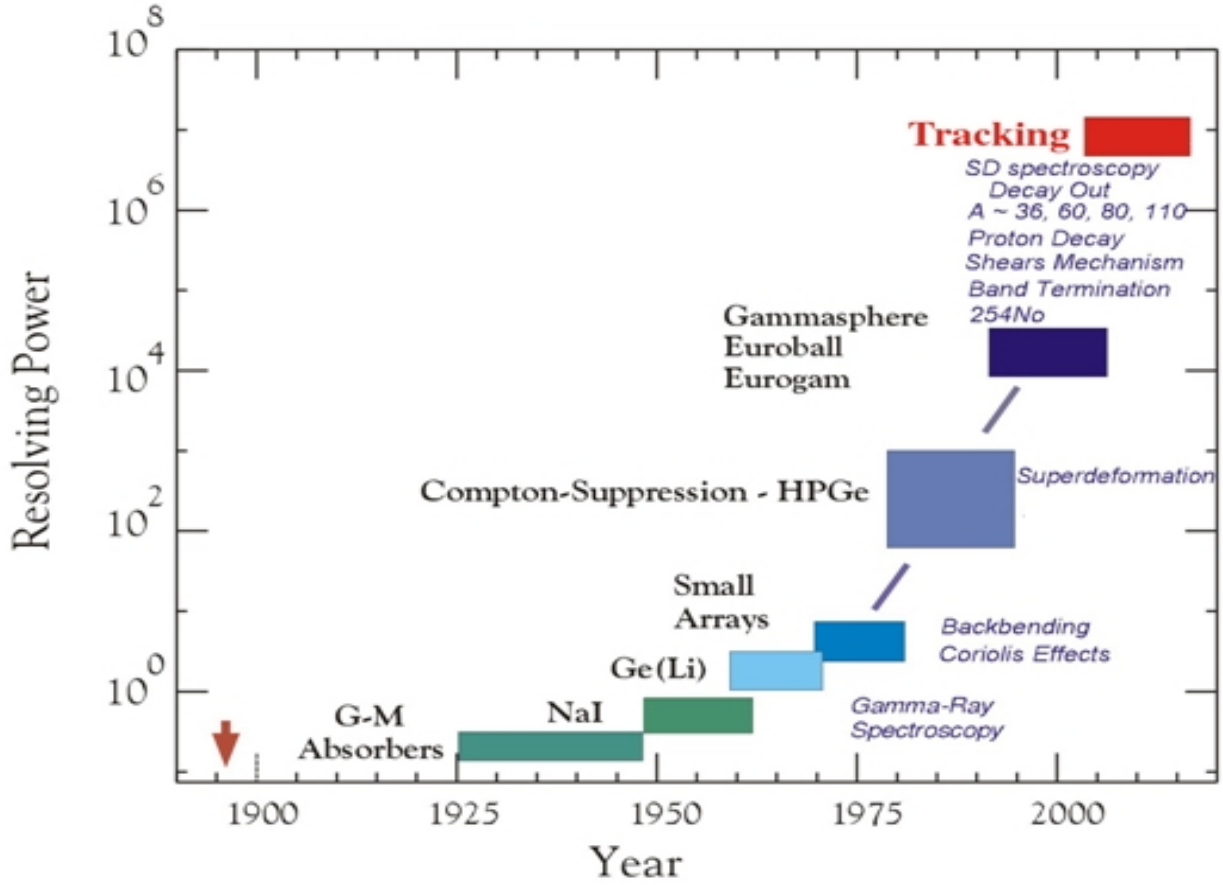
核探测技术：高纯锗(HPGe)γ探测器阵列

核电子学技术：γ-γ符合电子学

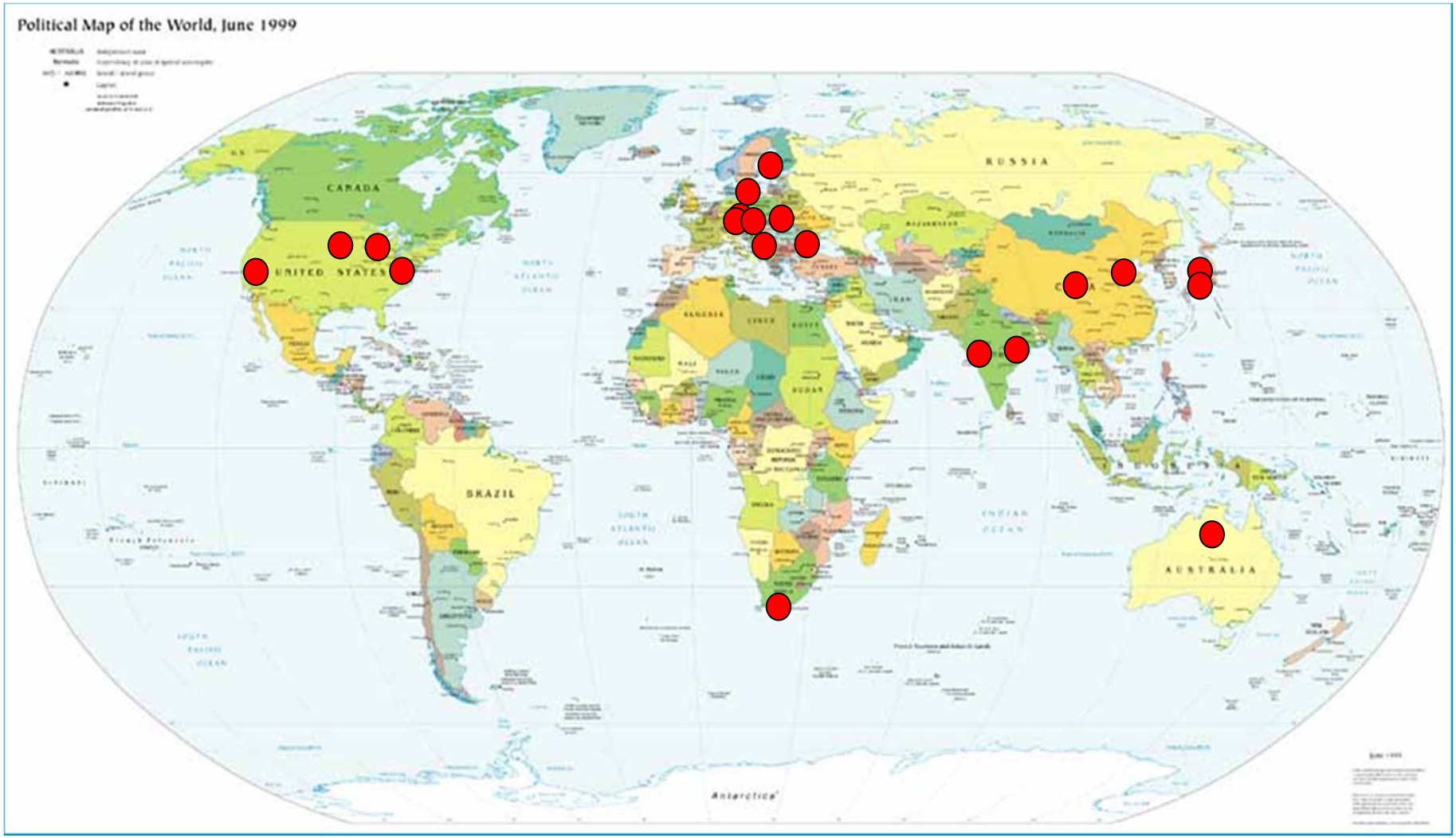
计算机技术：多参数的符合测量获取系统

在束伽玛探测器发展情况

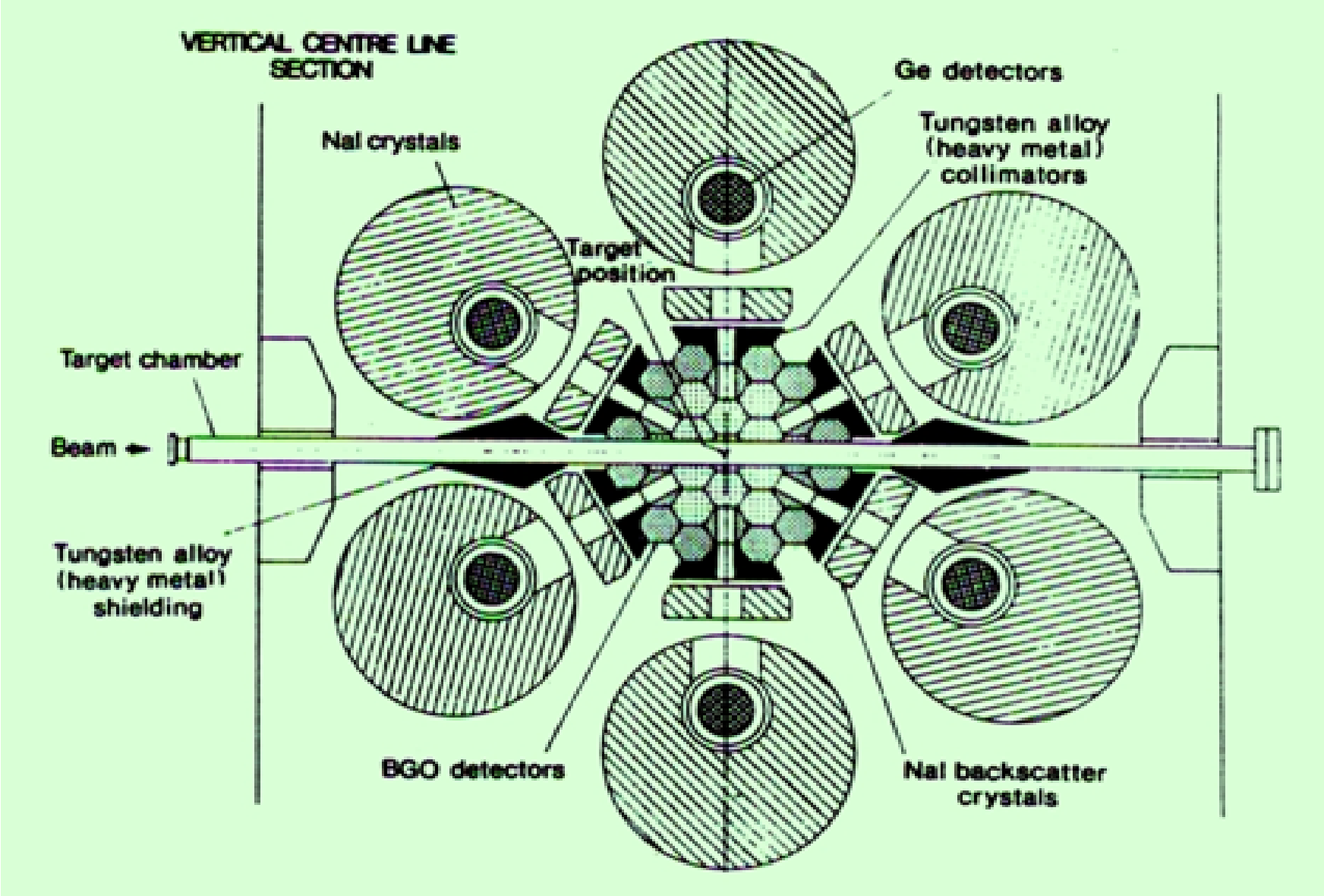
Gamma-ray tracking advances resolving power by three orders of magnitude

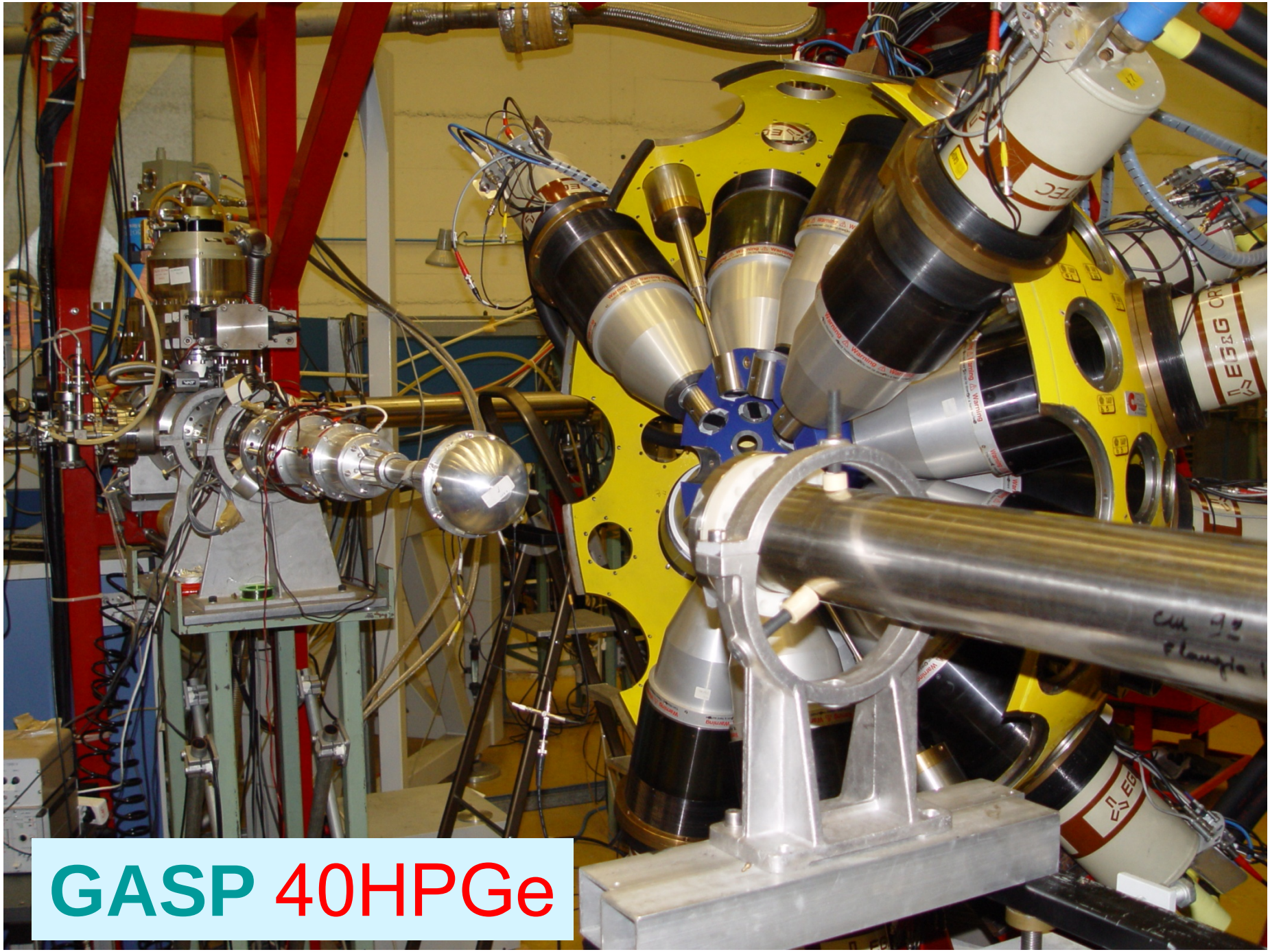


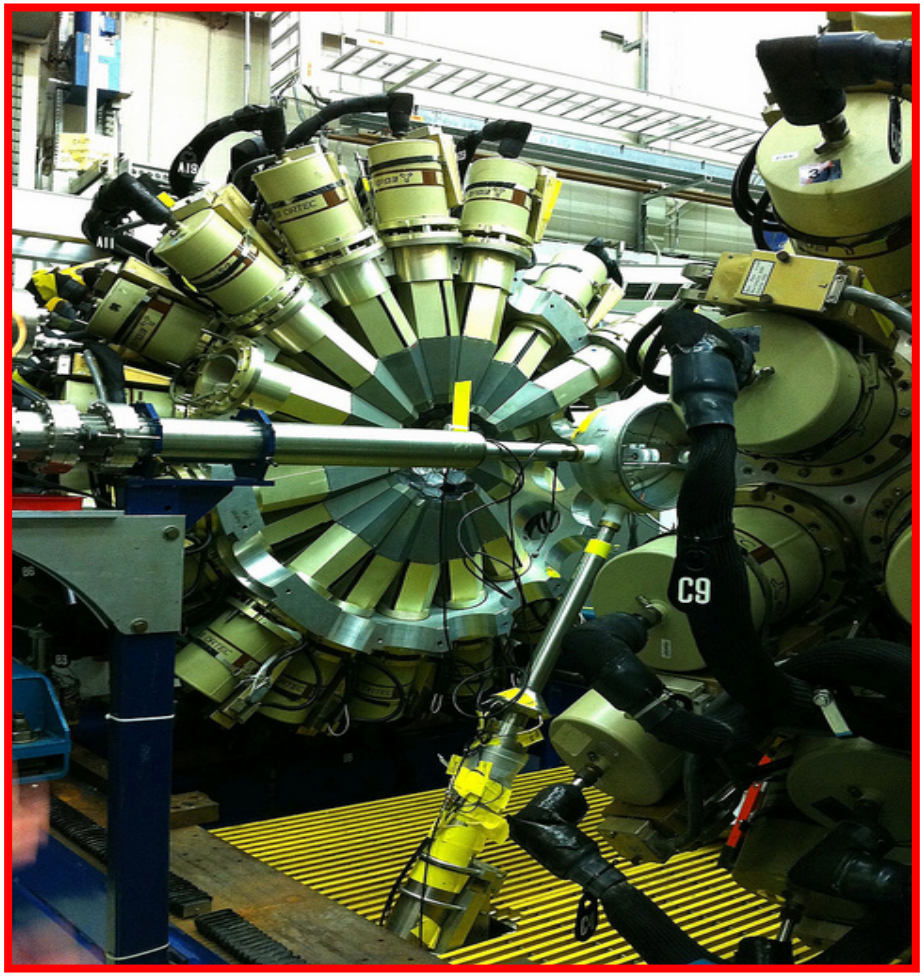
目前国际上研究γ谱学的主要实验室

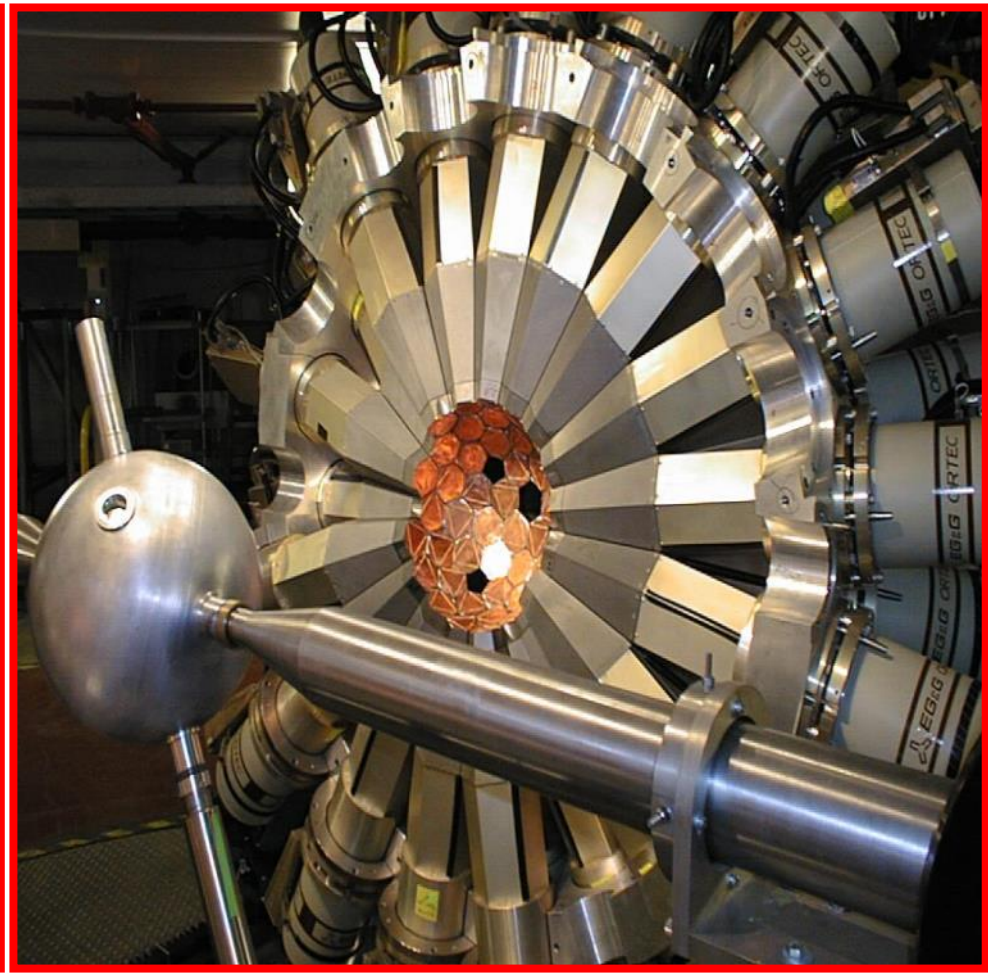


TESSA装置


VERTICAL CENTRE LINE SECTION
Ge detectors
NaI crystals
Tungsten alloy (heavy metal) collimators
Target position
Target chamber
Beam
Tungsten alloy (heavy metal) shielding
BGO detectors
NaI backscatter crystals

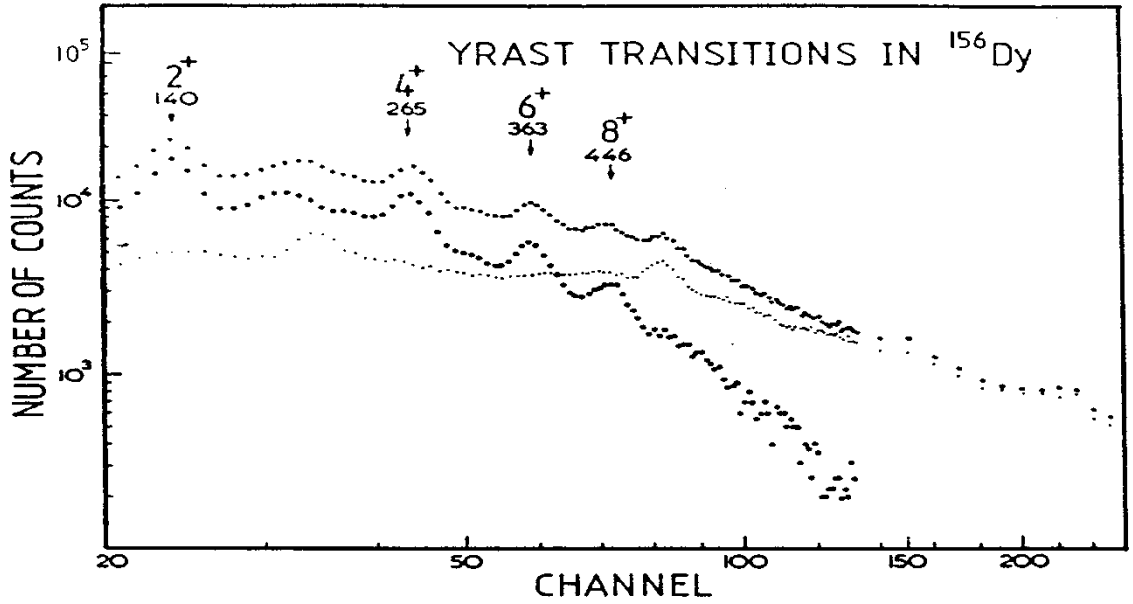

GASP 40HPGe



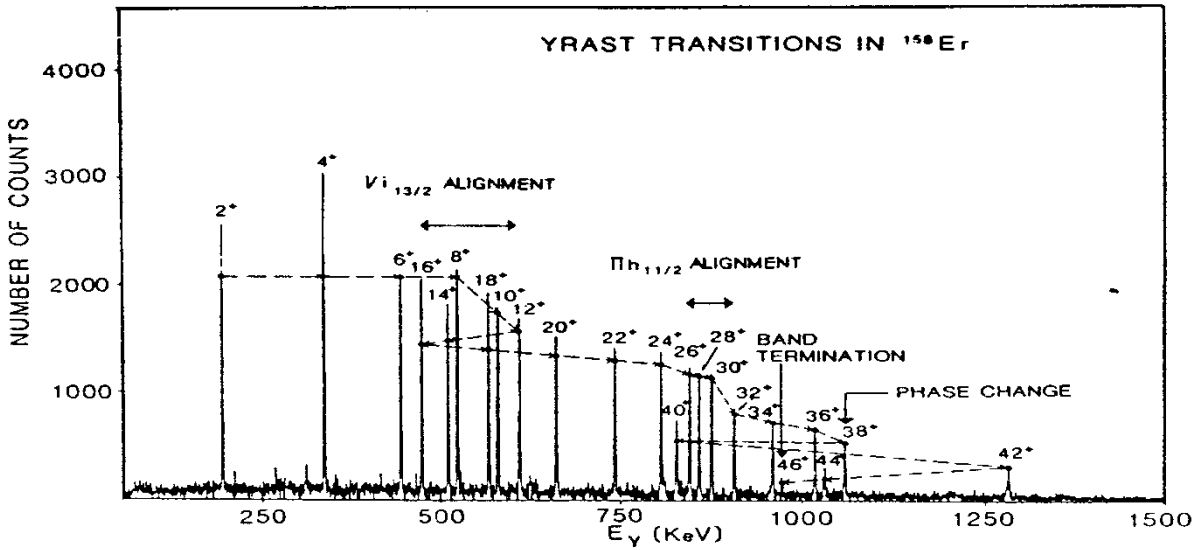


Gammaspere- 110 反康高纯锗

这批实验装置的建立取得了大量优秀实验成果，改变了核谱学的面貌。如下：

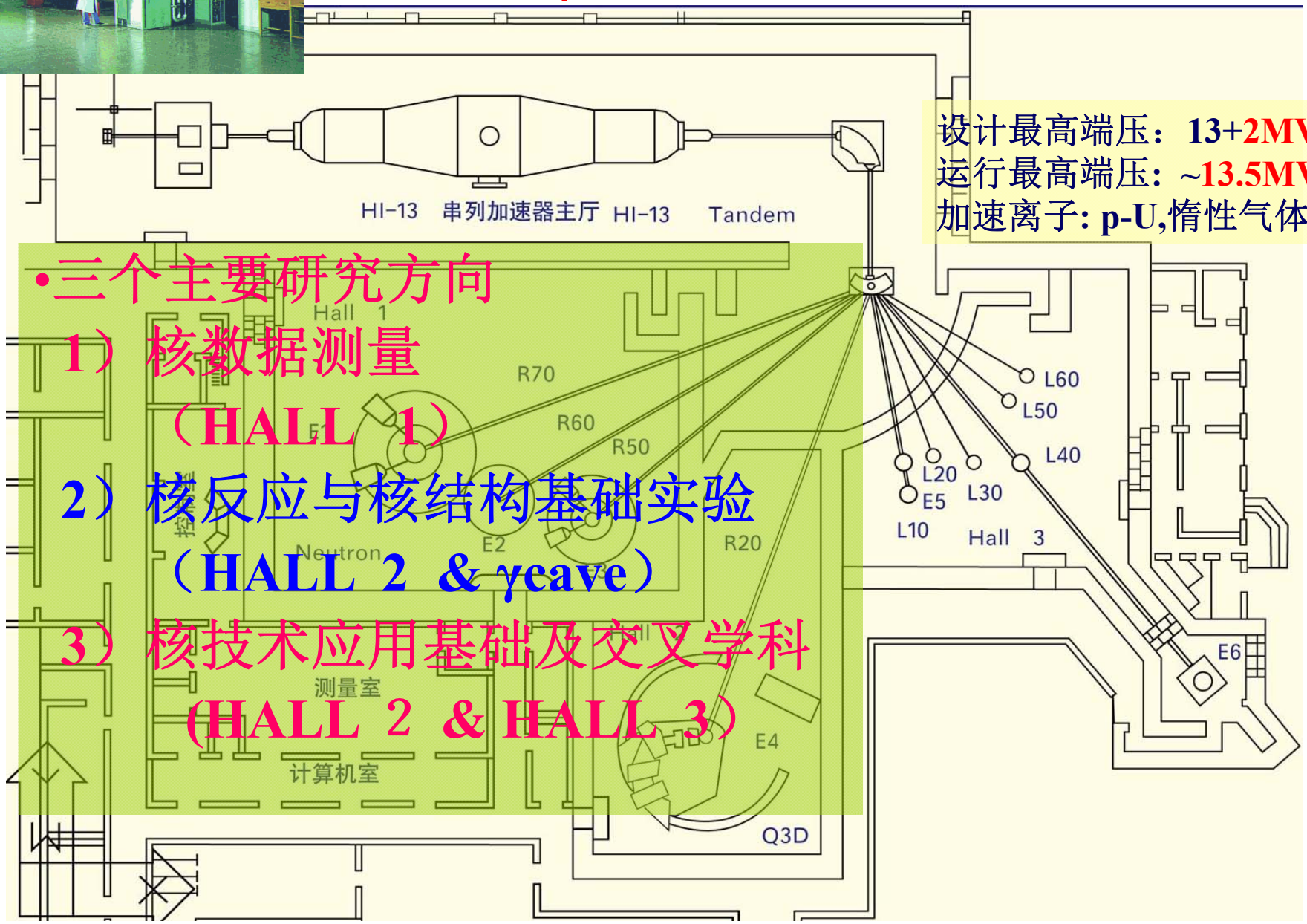


上图：1963年 H.Morinaga等在回旋回速器上测量的156Dy在束γ谱(1个NaI)只观测到^{156}Dy的基态带的0^+到8^+四条能级间的γ跃迁



下图：1987年 J.Simpson等人在TESSA上测量的^{158}Er核的高自旋态γ谱（由6台HPGe-NaI(Tl)反康谱仪和BGO中心球组成）不仅观测到^{158}Er的基态带，还看到了一对$i_{13/2}$中子折对顺排的第一回弯，看到了一对$h_{11/2}$质子折对顺排的第二回弯，还看到了从集体转动到单粒子运动的相变和带终结

二,HI-13串列加速器上的在束γ谱学实验终端



设计最高端压：13+2MV
运行最高端压：~13.5MV
加速离子: p-U,惰性气体除外

•三个主要研究方向

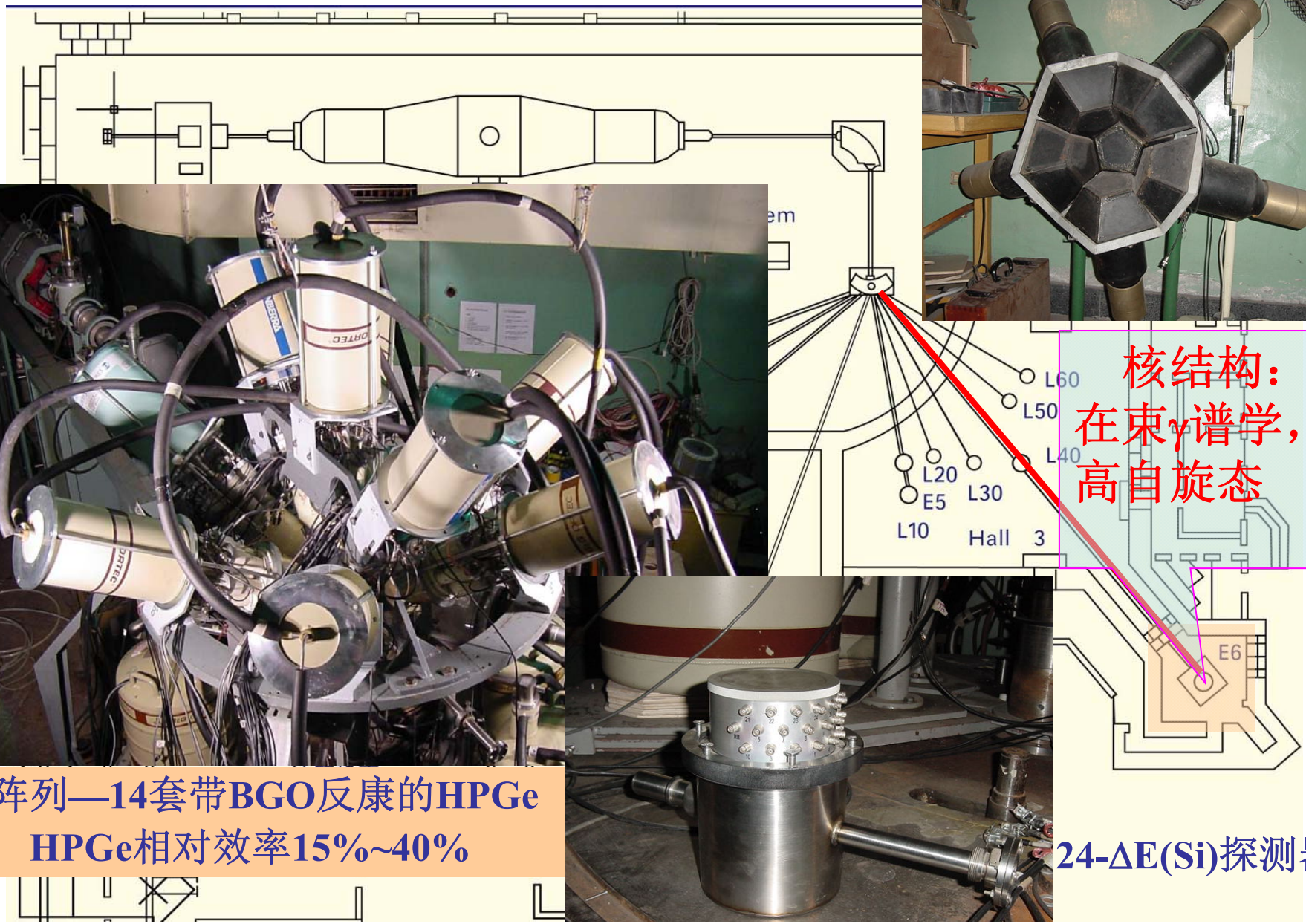
1）核数据测量（HALL 1）

2）核反应与核结构基础实验（HALL 2 & γcave）

3）核技术应用基础及交叉学科（HALL 2 & HALL 3）

在束γ实验终端

中子过滤器—6个液闪

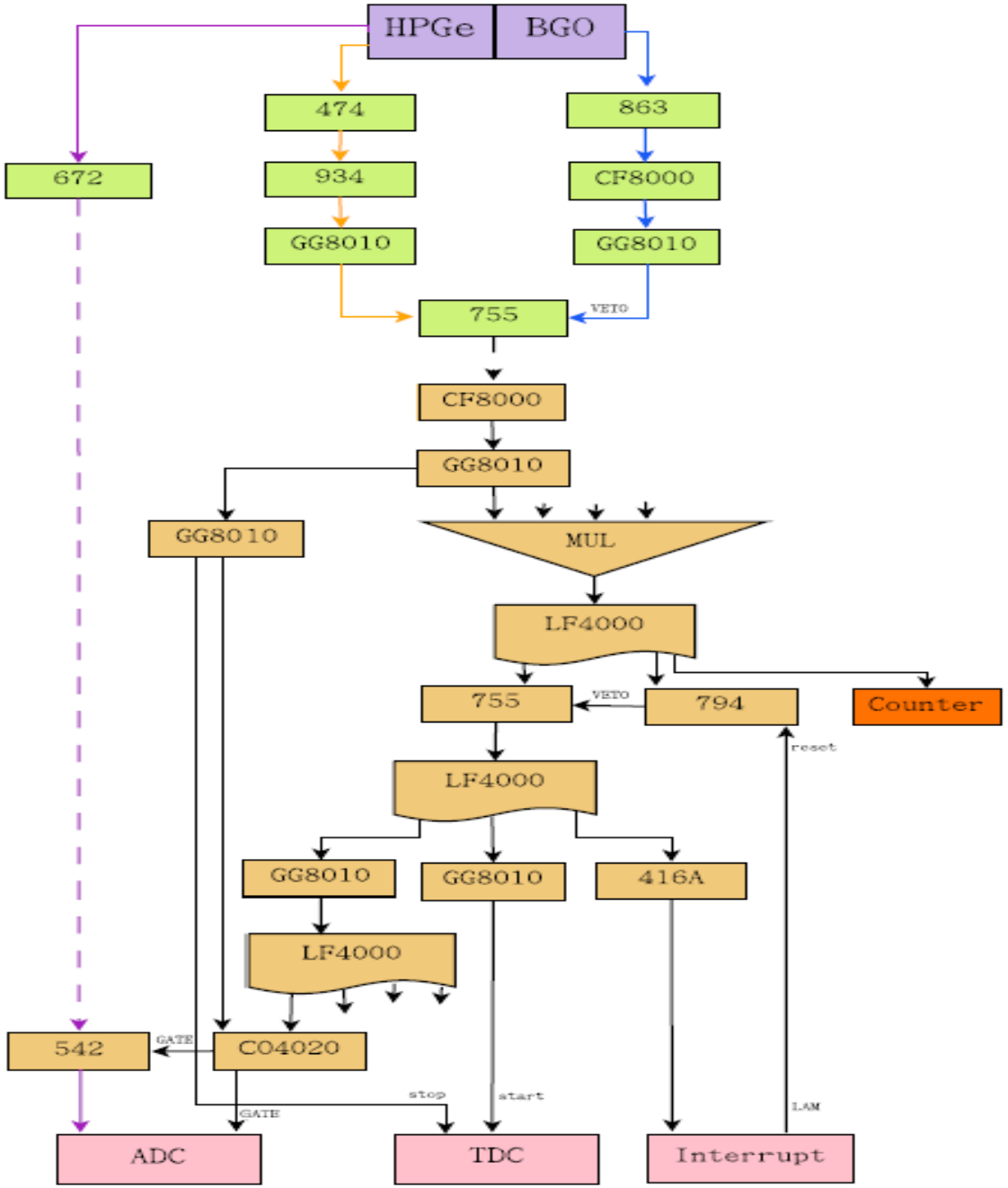


核结构：
在束γ谱学，
高自旋态

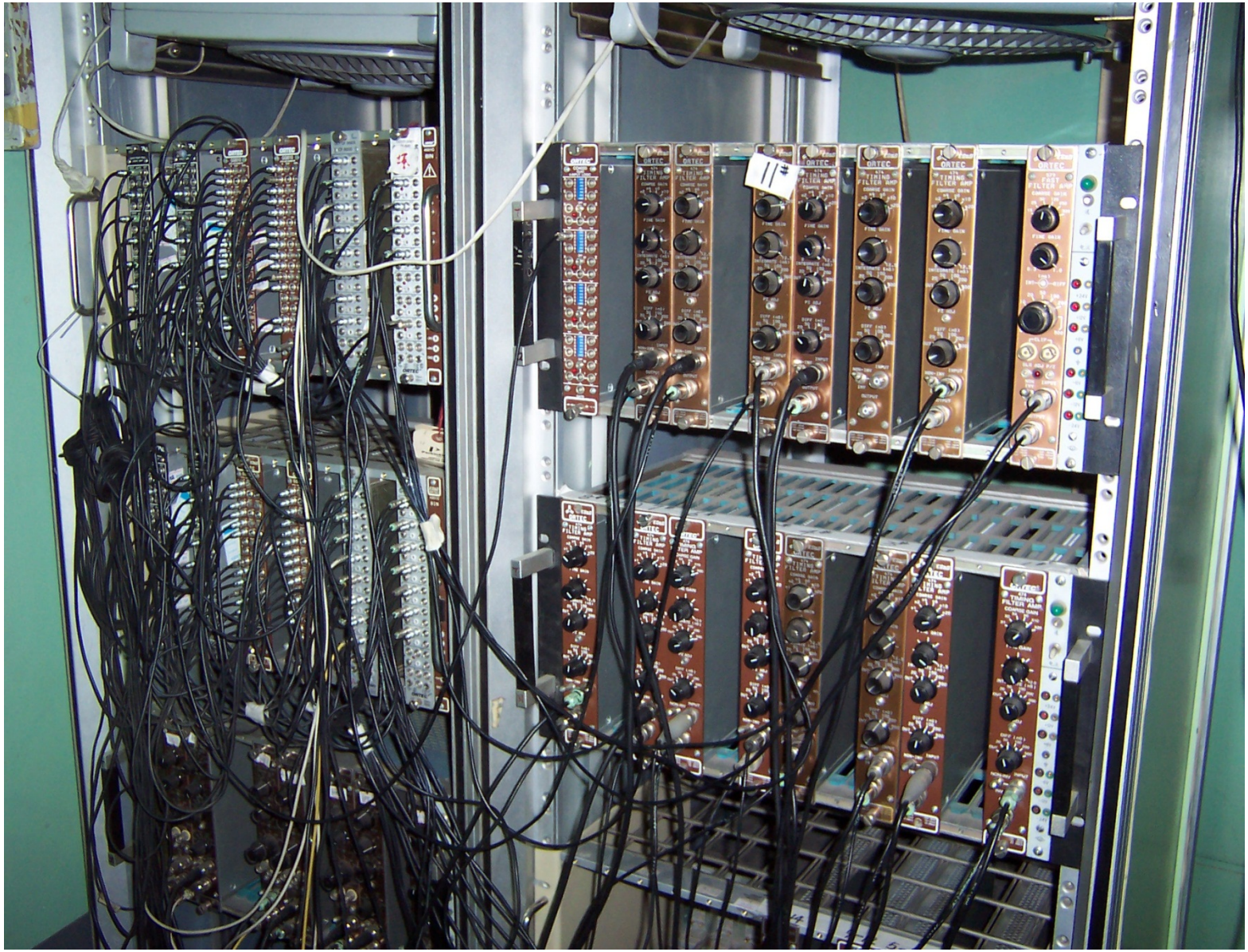
• γ阵列—14套带BGO反康的HPGe
HPGe相对效率15%~40%

24-ΔE(Si)探测器

- γ-γ符合实验的电子学线路

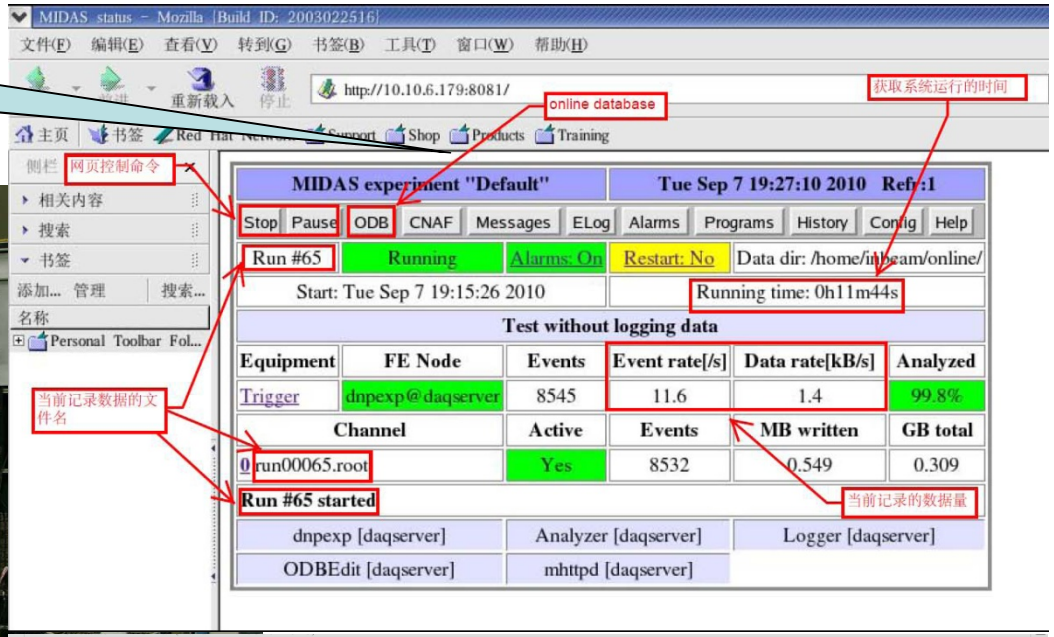


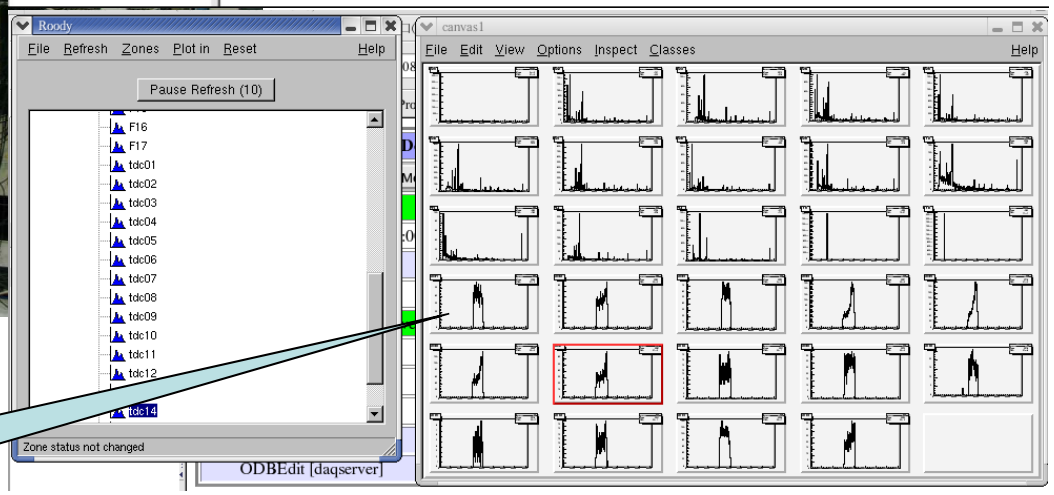
电子学线路



数据获取系统

操作界面





获取的能谱与时间谱

在束伽玛实验

合作　交流　平台

在束γ实验终端-合作单位：

1) 中国原子能科学研究院
2) 中科院近物所
3) 吉林大学
4) 清华大学
5) 北京大学
6) 山东大学（威海）
7) 北京航空航天大学
8) 深圳大学
9) 东北师范大学

在束伽玛谱学终端上取得的成果

长期以来，在HI-13串列加速器上，我们利用不断完善的实验条件，利用在束伽玛谱学技术开展了核结构，核数据测量等研究工作，先后完成973项目和多项国家自然科学基金资助项目，前些年已完成的主要科研工作及成果有：

1, ^{169}Ta和^{175}Ta奇质子稀土核转动带交叉频率研究，发现了交叉频率的反常现象；

2,观测到^{167}Lu的三轴超形变带，为国际上的第3例三轴超形变；

3,轻稀土核的B(E2) 异常和形状变化的研究，通过寿命测量揭示了核子数对形状变化的影响；

4,A=90 核区高自态研究，发现了^{90}Mo的B（M1）增大，可能存在八极关联，发现近球形核90Nb高自旋中粒子的跨壳激发；

5,^{171}Ta的能级寿命测量，研究形状驱动效应对交叉频率的影响；

6,^{129}Ce核旋称劈裂和三轴性检验，验证了旋称劈裂与三轴形变的关系；

……

这些研究成果已在国内外学术会议上进行了交流，并在国内外核心刊物上发表，其中部分成果获得了吴有训物理奖、部级一等奖等。

和国外同类实验室的比较

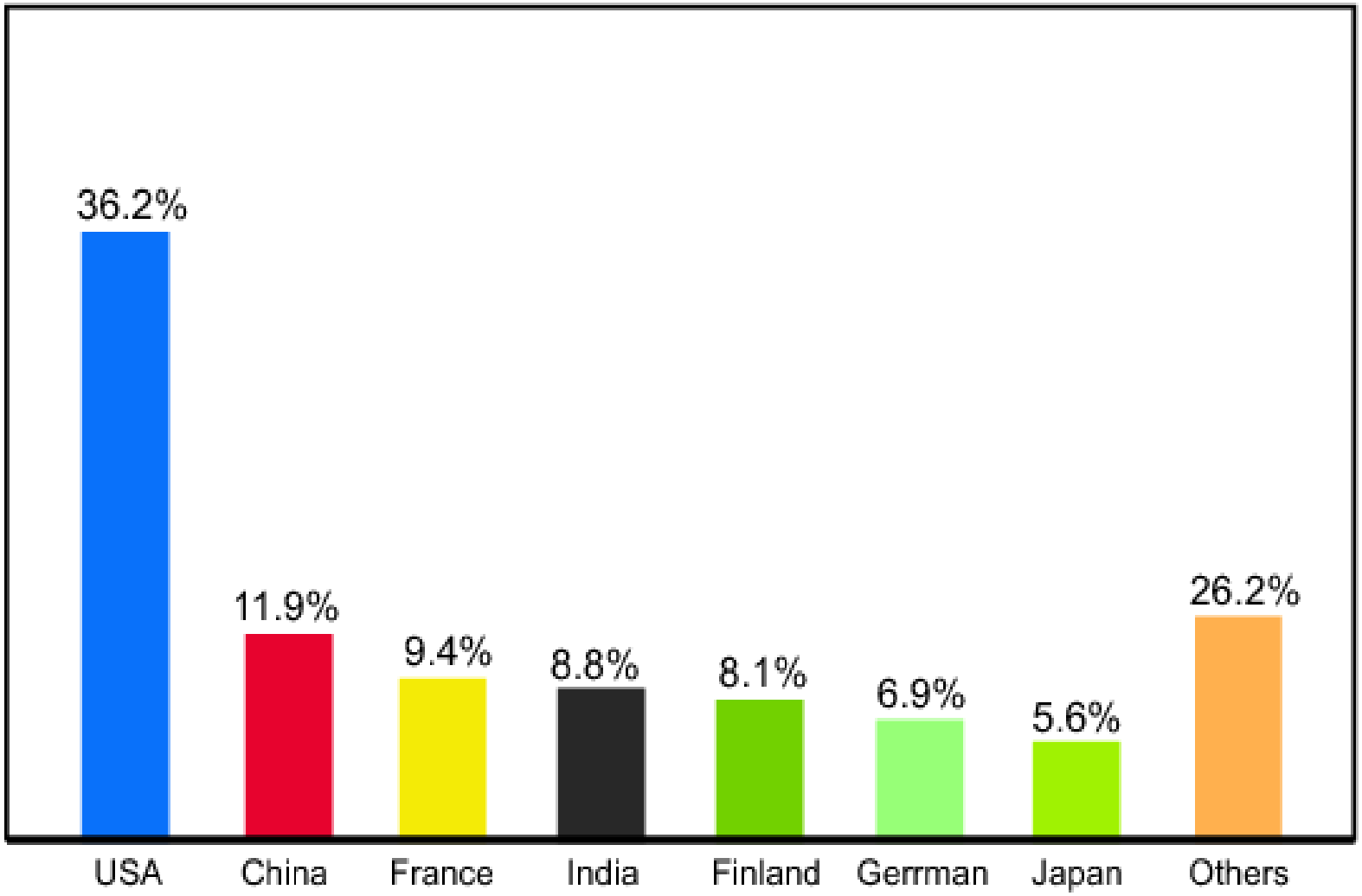
国家	实验室	加速器	γ探测器	其它探测器
美国	ANL	ATLAS	Gammasphere, 110 HPGe	Other detectors
	LBNL	88-Inch Cyclotron	Gammasphere, 110 HPGe	Other detectors
	MSU	Superconducting Cyclotron	Segmented Ge Array (SeGA)	Other detectors S800, A1900。
	Yale University	ESTU Tandem accelerato	RAST, 10 HPGe Clover detectors	

国家	实验室	加速器	γ探测器	其它探测器
意大利	Nazionali di Legnaro	Tandem XTU-ALPI	GASP array，40 HPGe，	Other detectors
CERN	CEAN	ISOLDE facility	MINIBALL γ-ray spectrometer	Other detectors
法国	Institut Laue-Langevin	High flux reactor	GAMS4，and GAMS5	
	GANIL	GANIL facility	2 clover Ge detectors	Other detectors
	Orsay	Orsay Tandem accelerator	8 large Ge detectors	Other detectors
	Strasbourg	Vivitron accelerator	Euroball, 71 HPGe+ 26 clovers	
德国	GSI	SIS-18 synchrotron	EUROBALL，105 Ge Det.	Other detectors SHIP
	Cologne	FN Tandem accelerator	13 HPGe detectors	
芬兰	University of Jyväskylä	K-130 cyclotron	JUROGAM 43 HPGe	
丹麦	Risø	Tandem Accelerator	NORDBALL array, 20 HPGe	
波兰	Univ. of Warsaw.	U200P cyclotron	OSIRIS II array, 12 HPGe	
罗马尼亚	Bucharest,	A ccelarator	13 theHPGe detectors	

国家	实验室	加速器	γ探测器	其它探测器
日本	JAEA	Tokai tandem accelerator	GEMINI-II array 18 HPGe detectors	
	RIKEN	A ccelarator	4 clover Ge 2, LaBr3 detectors,	Other detectors
中国	CIAE	H-13-Tandem accelarator	14 HPGE	
	Lazhou IMP	HIRFL	10HGe Clovers	Other detectors
印度	Inter Univ. New Delhi.	15UD Pelletron Accelerator	INGA 18 Clover detectors	
	TIFR, Mumbai	14-UD Pelletron Accelerator	8 clover Ge detectors	
南非	Themba LABS	cyclotron	AFRODITE array 9 clover detectors	Other detectors
澳大利亚	Australian Nat. Univ.	14UD tandem accelerato	CAESAR array, 6 HPGe	

各国实验室成果产出统计（2010-2011）

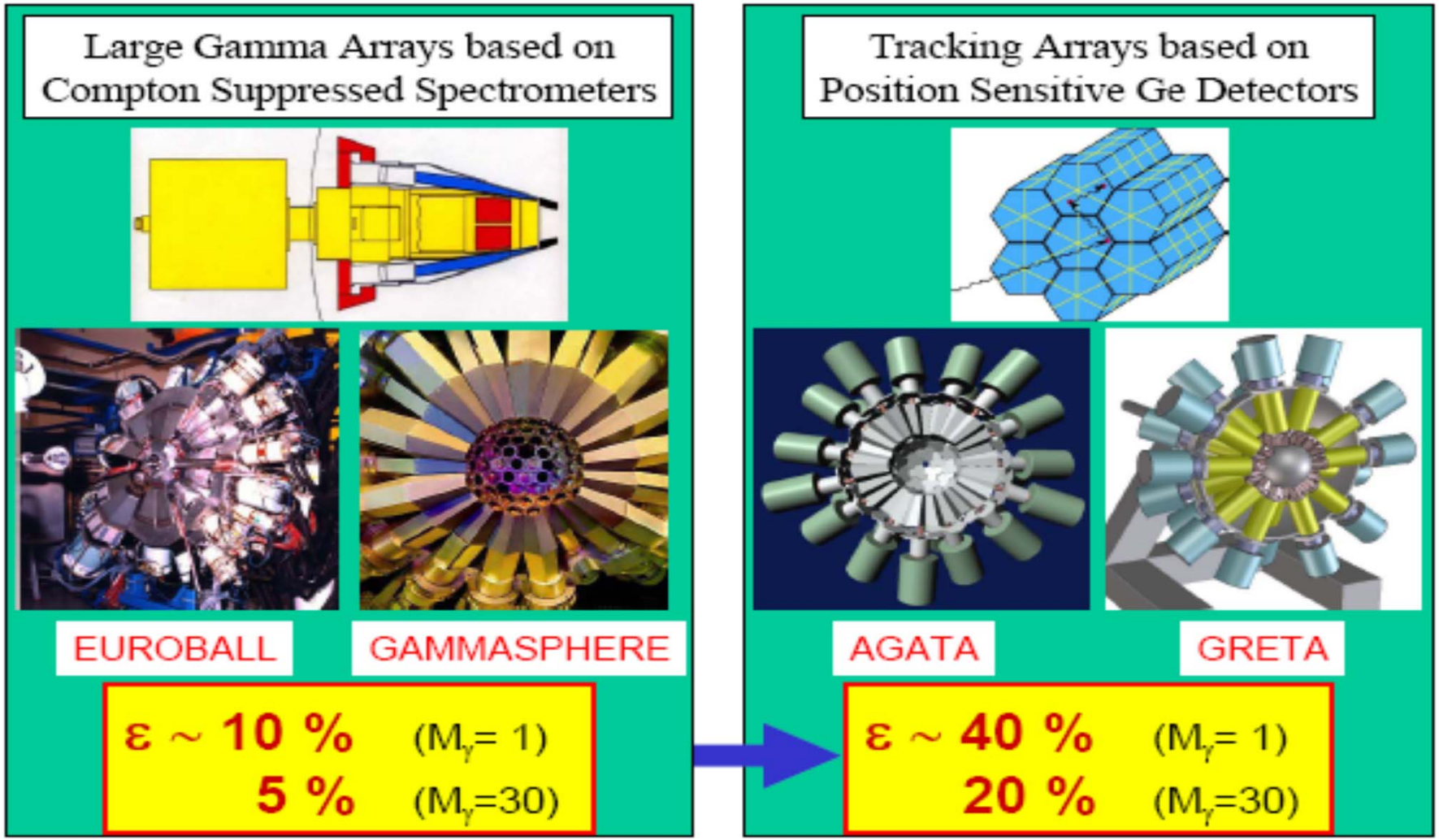
成果统计出自：PRL，PRB，PRC，NPA，JPG，EPJA



三,在束伽玛探测技术最新进展

- 利用能量跟踪技术研制新一代晶体球
- $LaBr_3$(Ce)探测器应用于在束伽玛谱学研究

新一代伽玛探测阵列

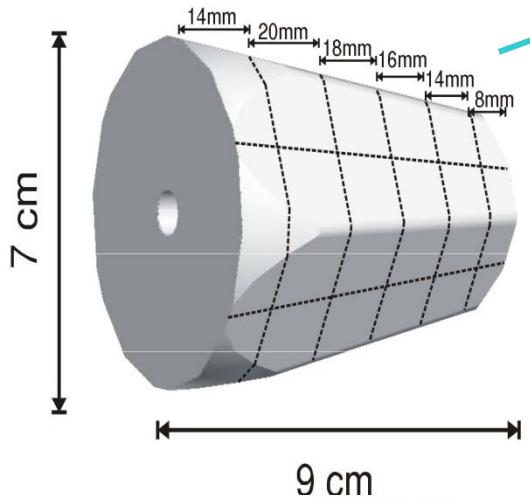


Intermediate step : Exogam, Miniball, SeGa → optimized for Doppler correction but restricted to low γ-multiplicities

新一代γ球

——能量跟踪探测器阵列

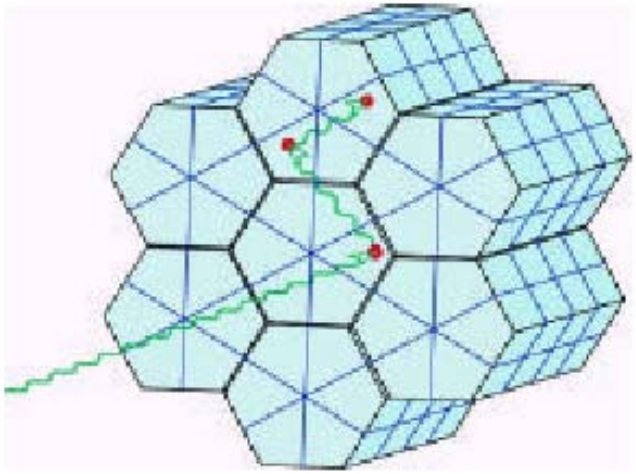
（Gamma-Ray Energy Tracking Array）

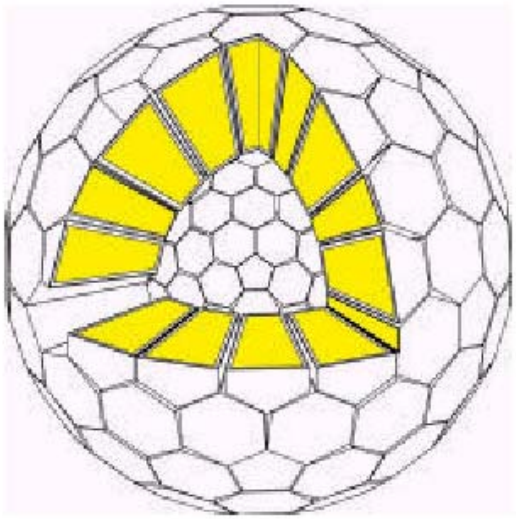


高纯锗晶体沿径向和轴线方向电分割成很多小单元

每个单元单独作为能量和位置灵敏探测器

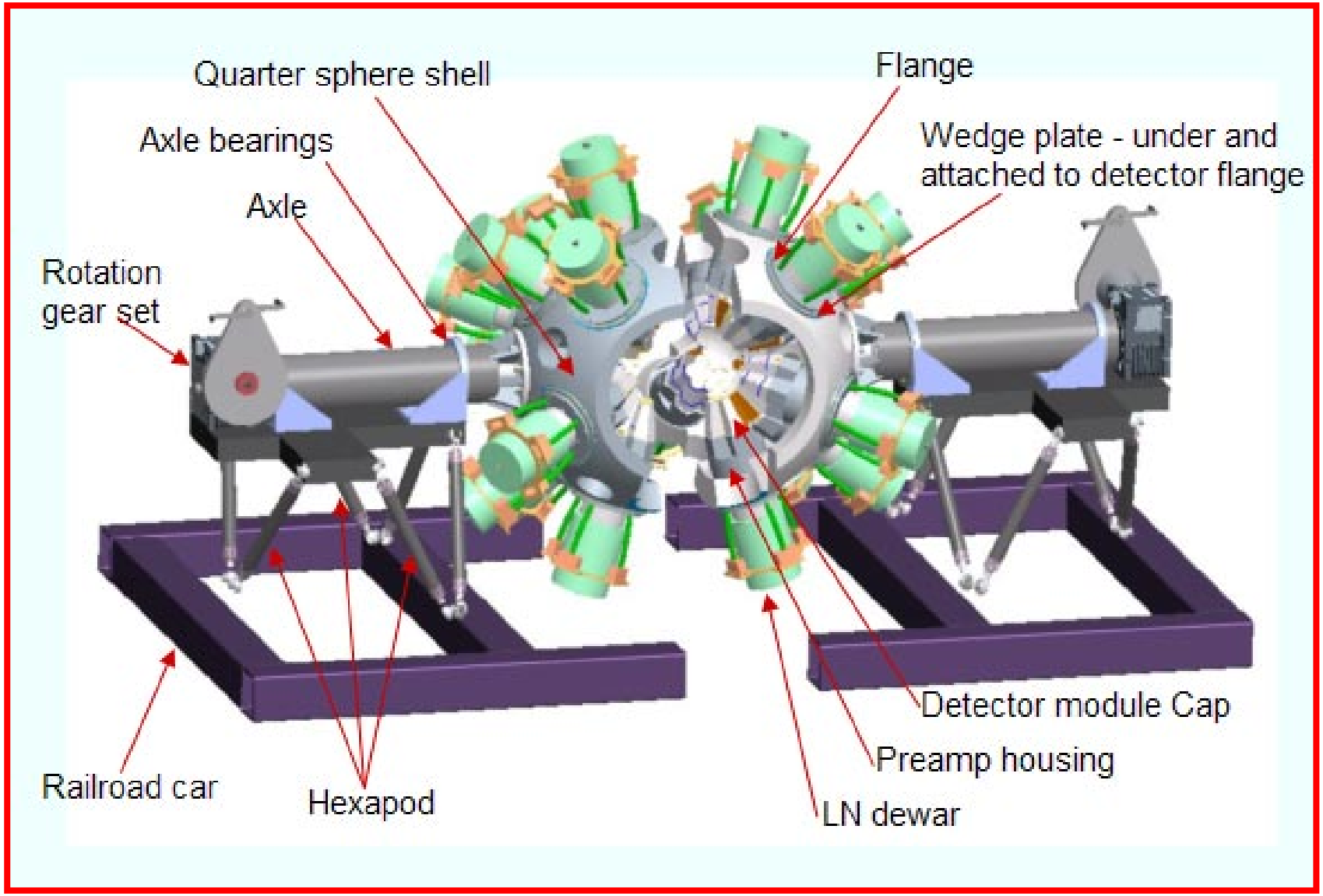
根据每个单元给出的能量和位置信号，来重构源初γ射线能量





120个单元，
2千4百万美圆

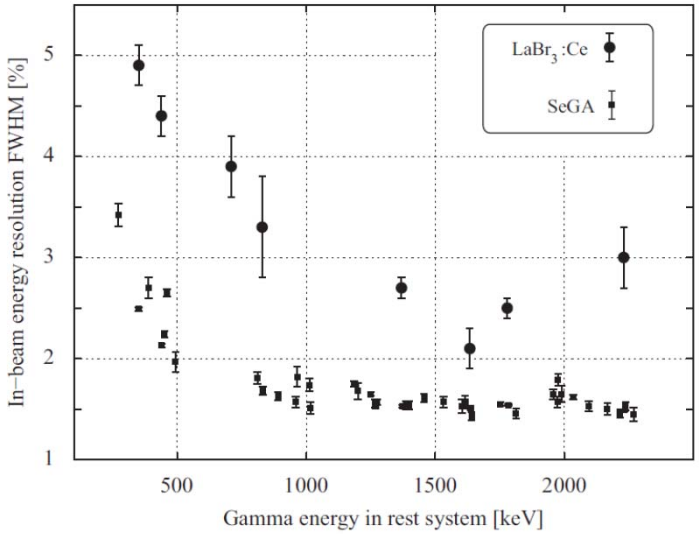
与GAMMASPHERE
造价相当



1π--GRETINA-2836个晶体

4π--GRETA > 10000个晶体

新一代伽玛探测器LaBr3(Ce)

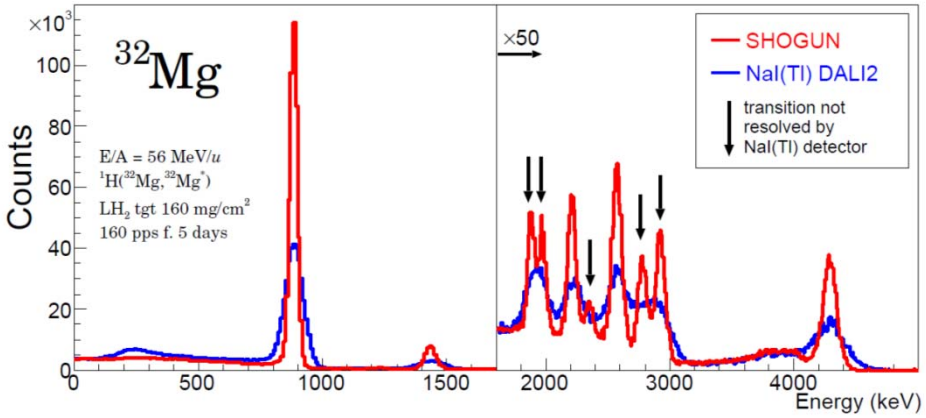


LaBr3(Ce)闪烁体与分割式的高纯锗分辨比较。

LaBr3(Ce)闪烁晶体具有光产额高、能量分辨率好、衰减时间短、非线性响应小等优点，可广泛应用于核物理研究，以及国际防恐反恐、核材料控制、安全检查、能源、核医学、工业计量、石油测井等多个领域。

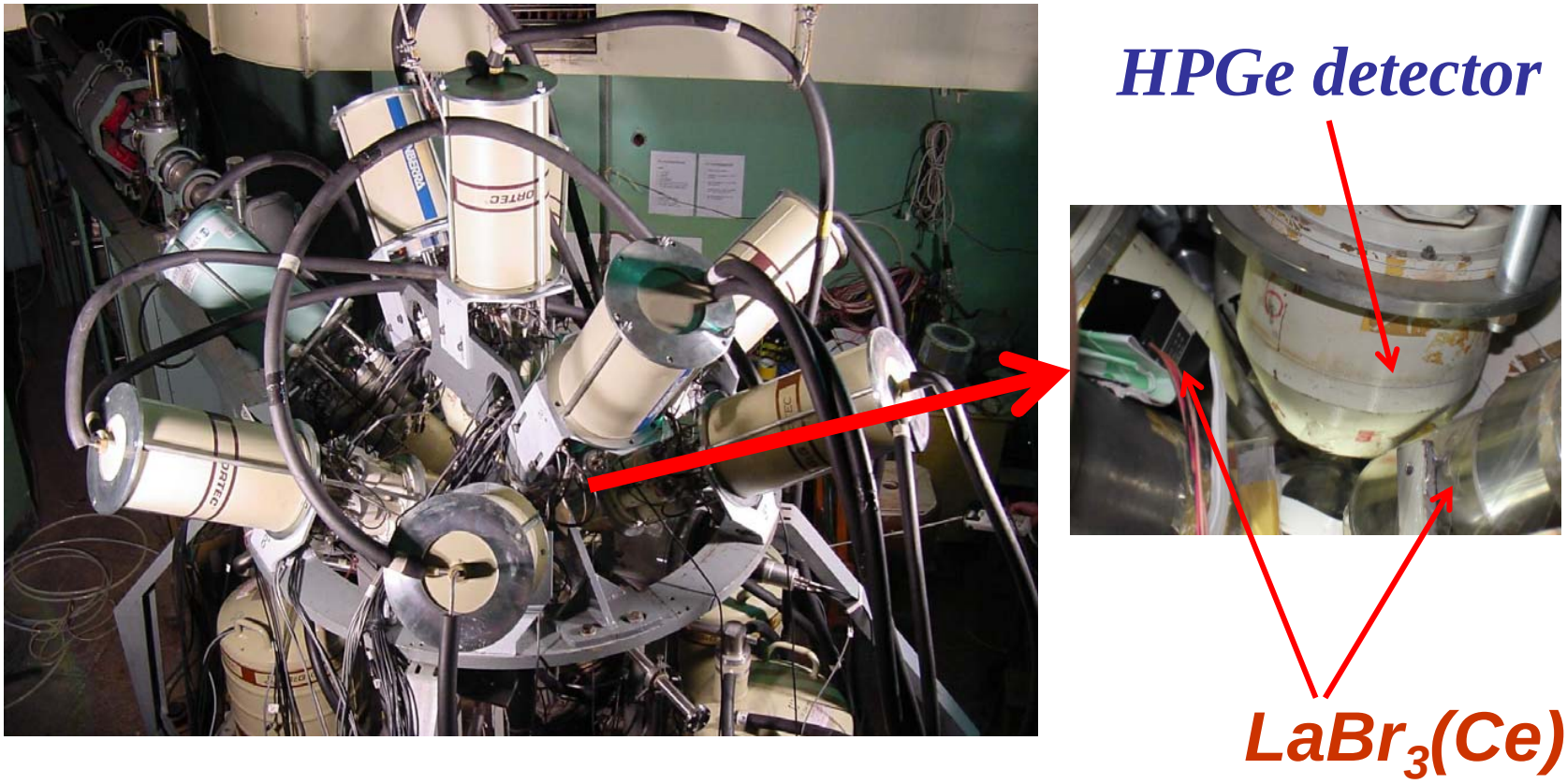
主要性能指标

- 能量分辨率：相对于662keV γ射线的分辨率可以达到3%
- 时间分辨率：能达到0.3ns
- 探测效率：1MeV能达到30%



由LaBr3(Ce)探测器组成的探测阵列SHOGUN与由NaI(Tl)探测器组成的探测阵列性能比较

应用$LaBr_3$(Ce)探测器进行的在束γ谱学实验工作简介



- *γ array detectors—14 HPGe+7 $LaBr_3$(Ce)*

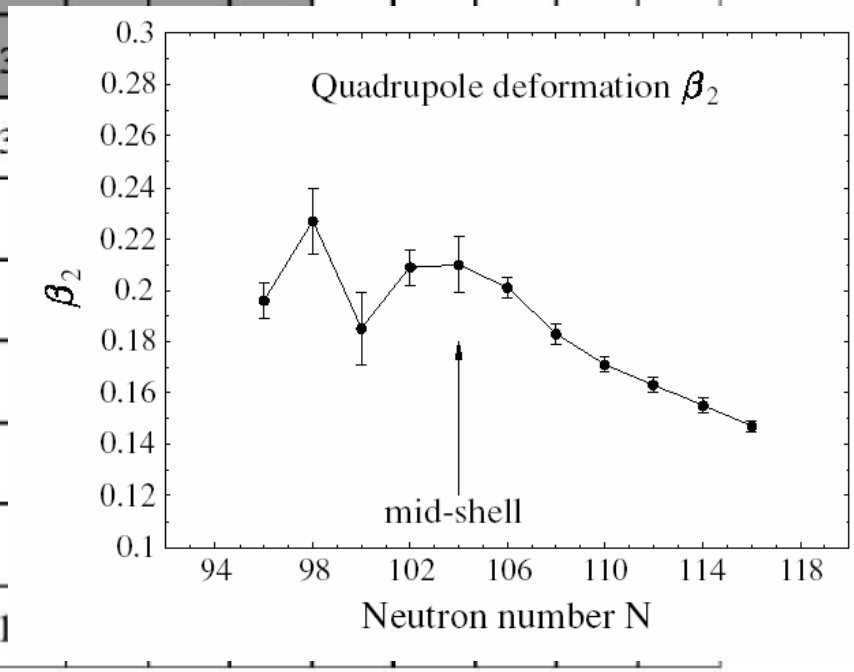
• X(5) criteria & candidates

For X(5) nucleus: $R_{4/2}=2.91\pm0.10$

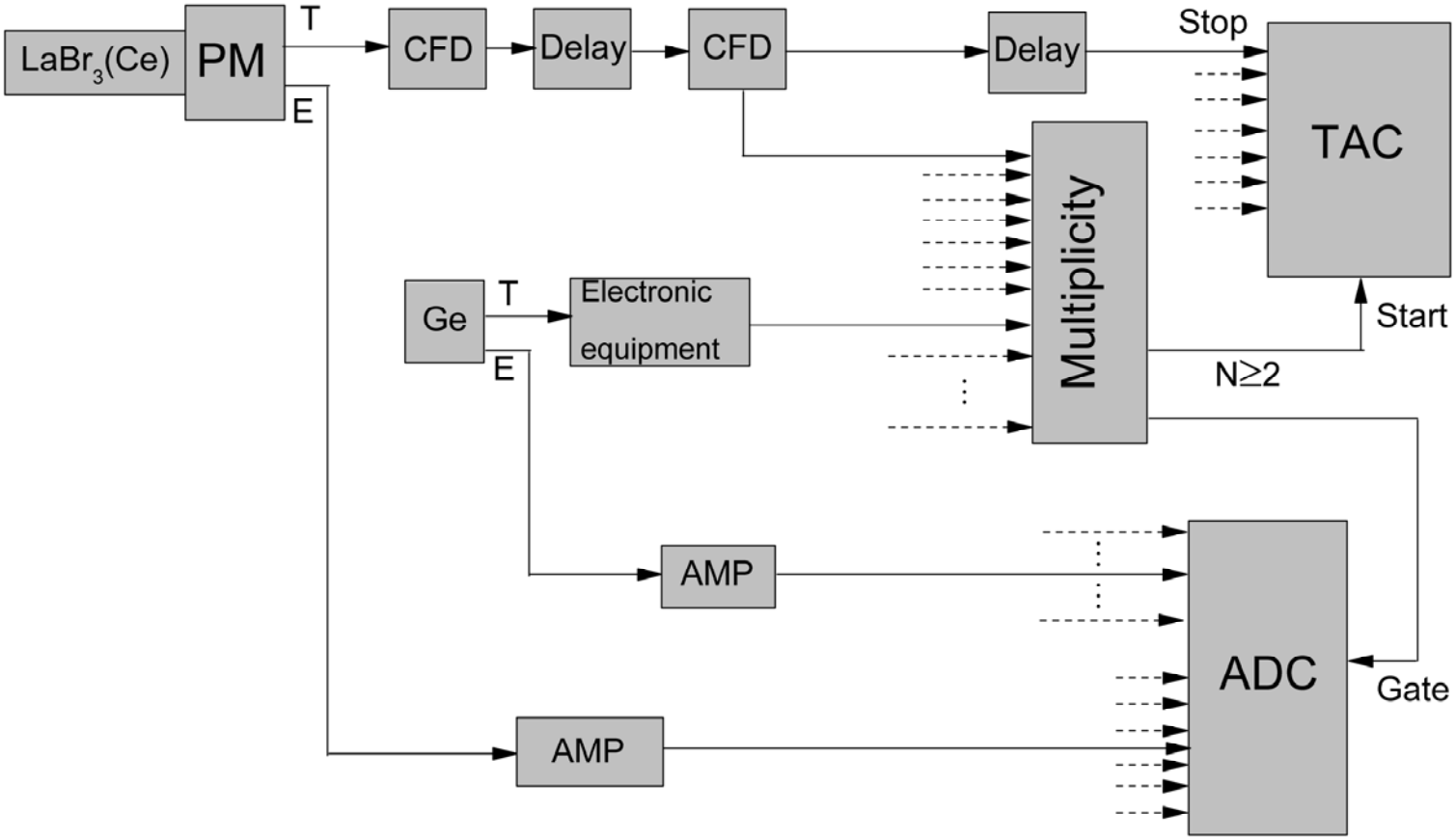
Ref: R.F Casten, 1987 PRL

^{174}Os

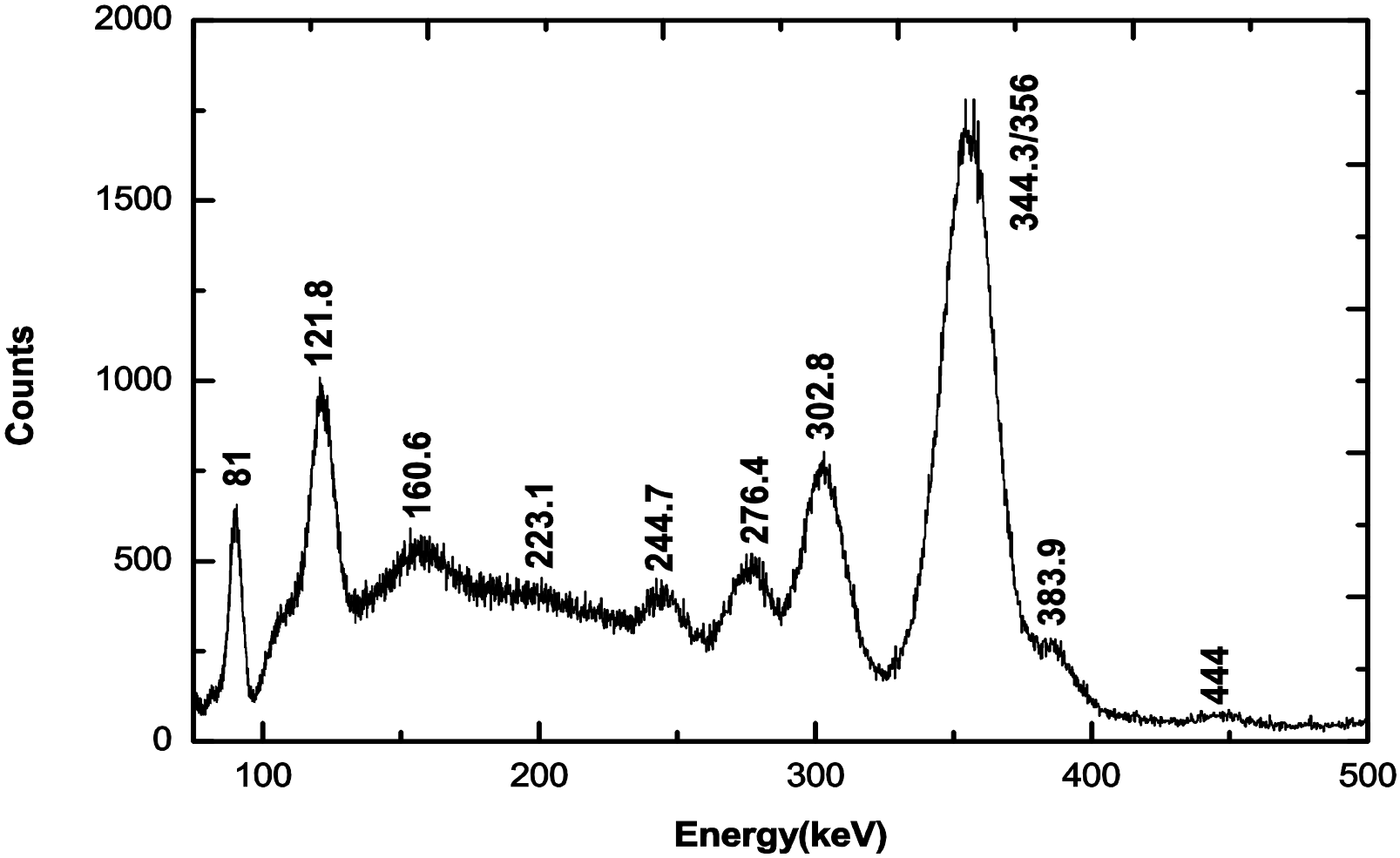
Z \ N	88	90	92	94	96	98	1								
78			2.30		2.26	2.44	2.51	2.70	2.68	2.56	2.53	2.49	2.48	2.48	Pt
76				2.62	2.66	2.74	2.93	3.02	3.09	3.15	3.20	3.17	3.08	2.93	Os
74		2.48	2.68	2.82	2.95	3.07	3.15	3.22	3.24	3.26	3.29	3.27	3.24	3.09	W
72	2.31	2.56	2.79	2.97	3.11	3.19	3.25	3.27	3.28	3.29	3.31	3.30	3.26		Hf
70	2.33	2.63	2.93	3.12	3.23	3.27	3.29	3.31	3.31	3.31					Yb
68	2.32	2.74	3.10	3.23	3.27	3.29	3								
66	2.23	2.93	3.21	3.27	3.29	3.30	3								
64	2.19	3.01	3.24	3.29	3.30	3.30									
62	2.32	3.01	3.25	3.29	3.30	3.30									
60	2.49	2.93	3.27	3.29	3.32										
58	2.59	2.86	3.15												
56	2.66	2.84	2.99												



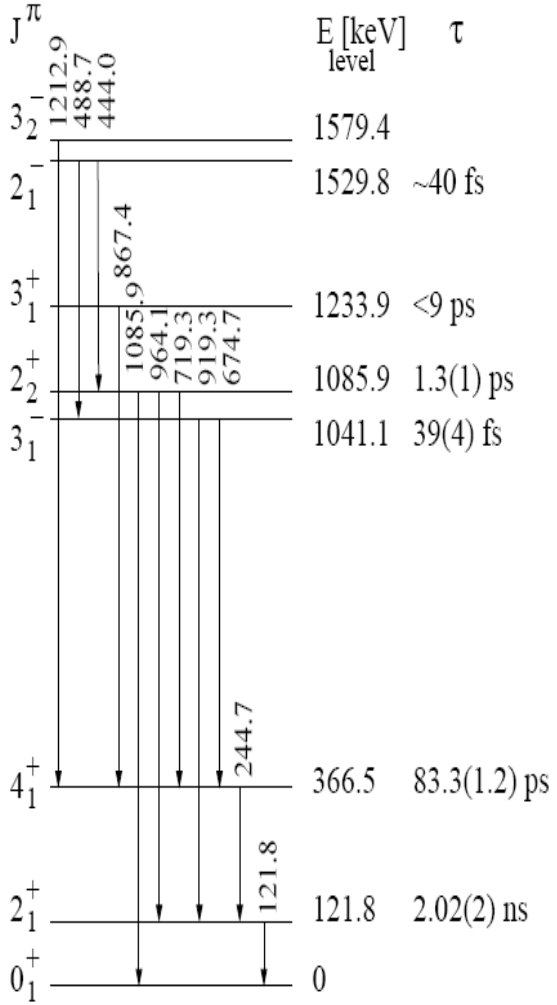
电子学线路

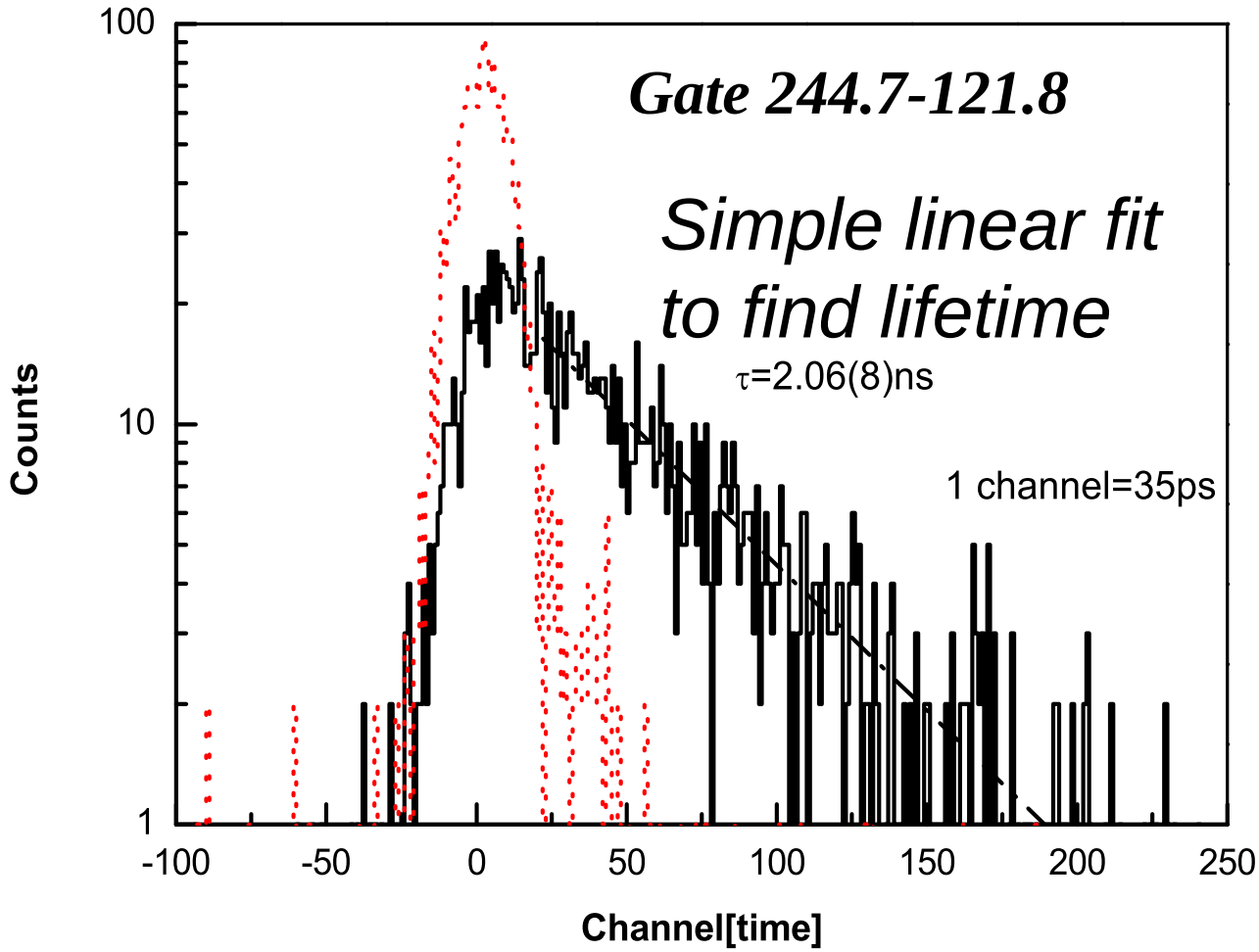

LaBr3(Ce)
PM
T
E
CFD
Delay
CFD
Delay
Stop
TAC
Multiplicity
Start
N≥2
Ge
T
E
Electronic equipment
AMP
AMP
ADC
Gate

Off-line Test with ^{152}Eu



152Eu Source Test

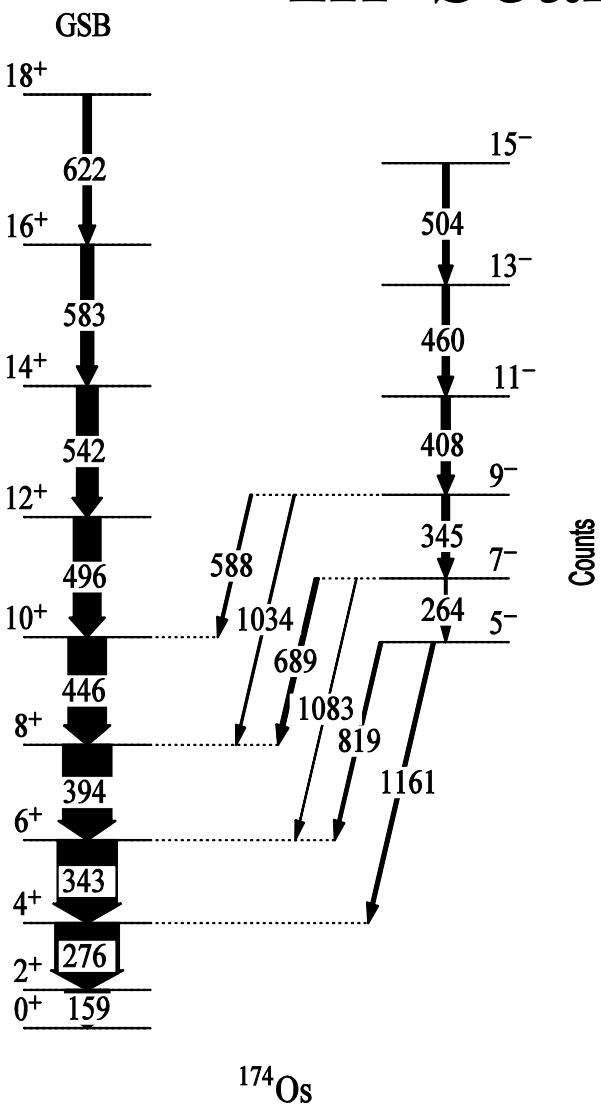


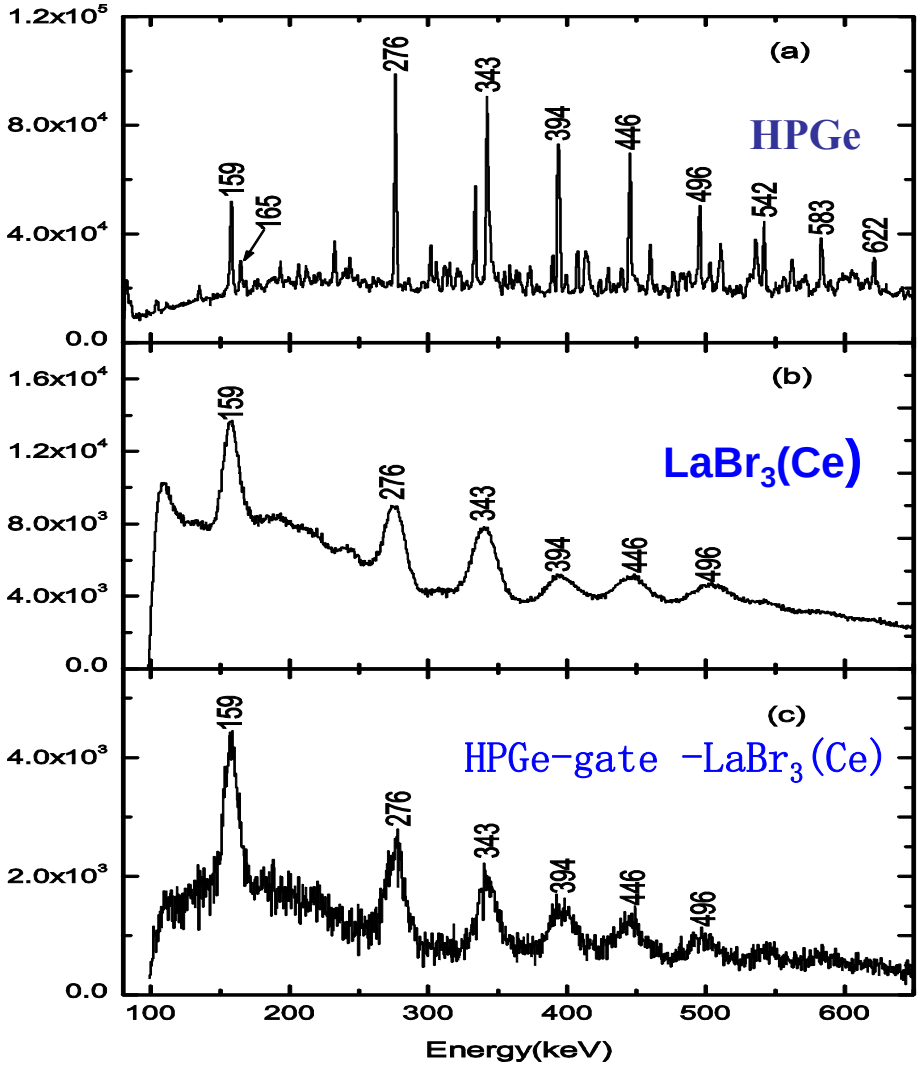


Partial level scheme of ^{152}Sm obtained electron capture decay of ^{152}Eu.

www.nndc.bnl.g

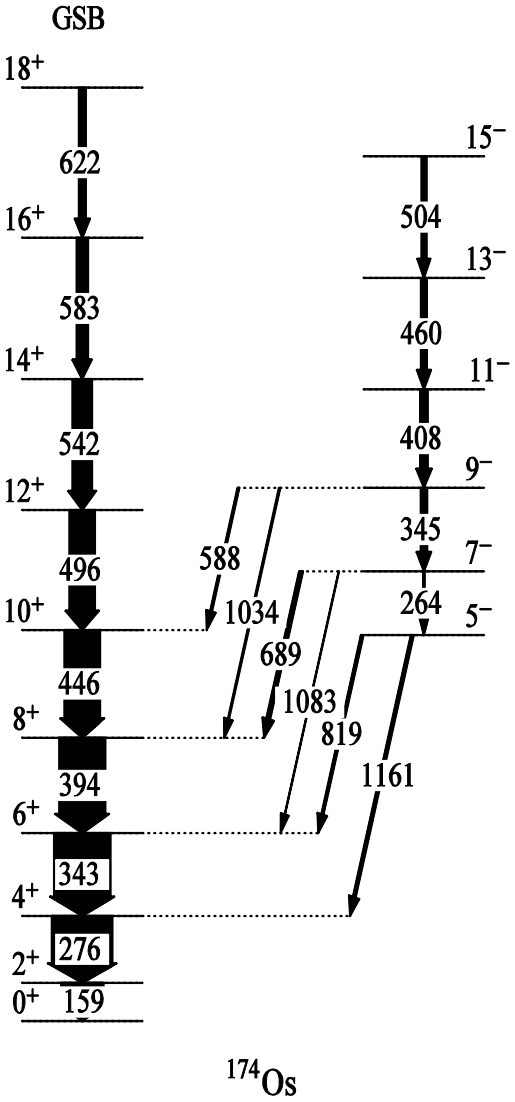
In-beam Experiments

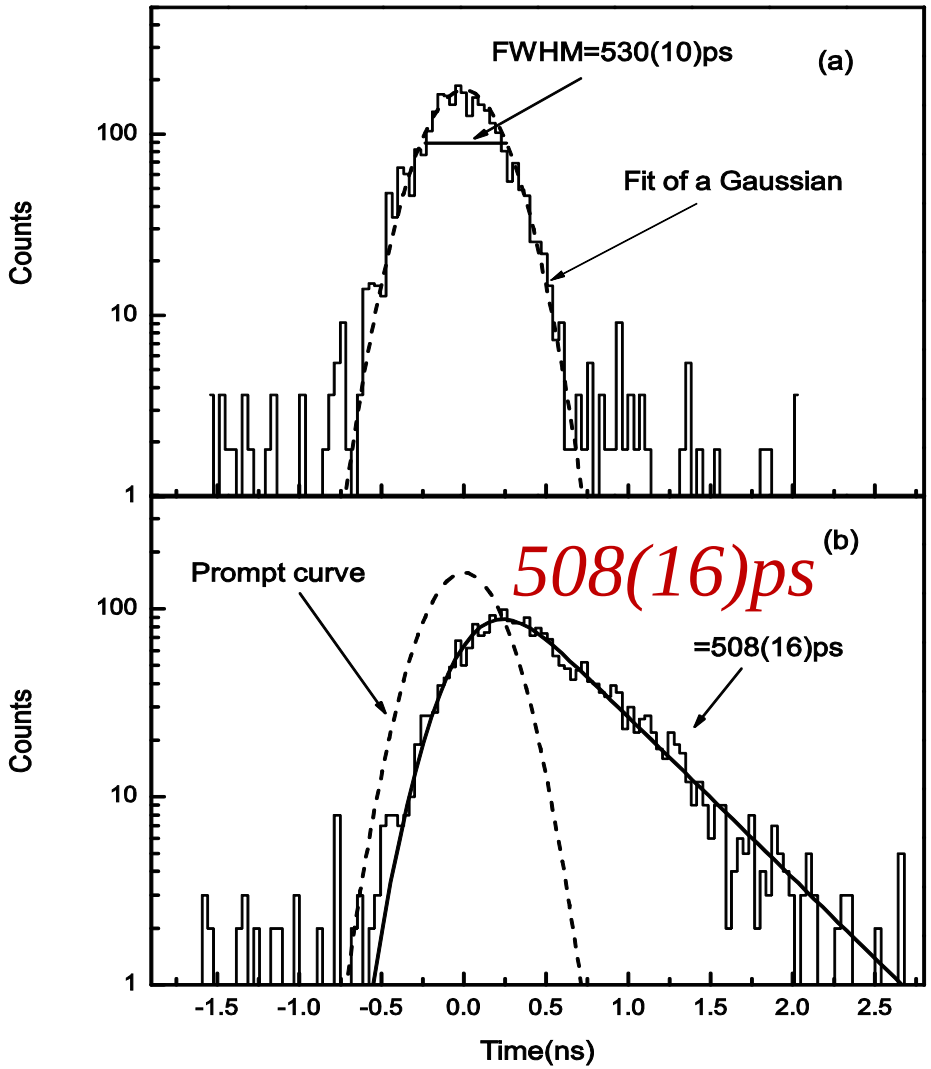




J.L. DURELL et al. Phys. Letter. B115 367(1982)

In-beam Experiments

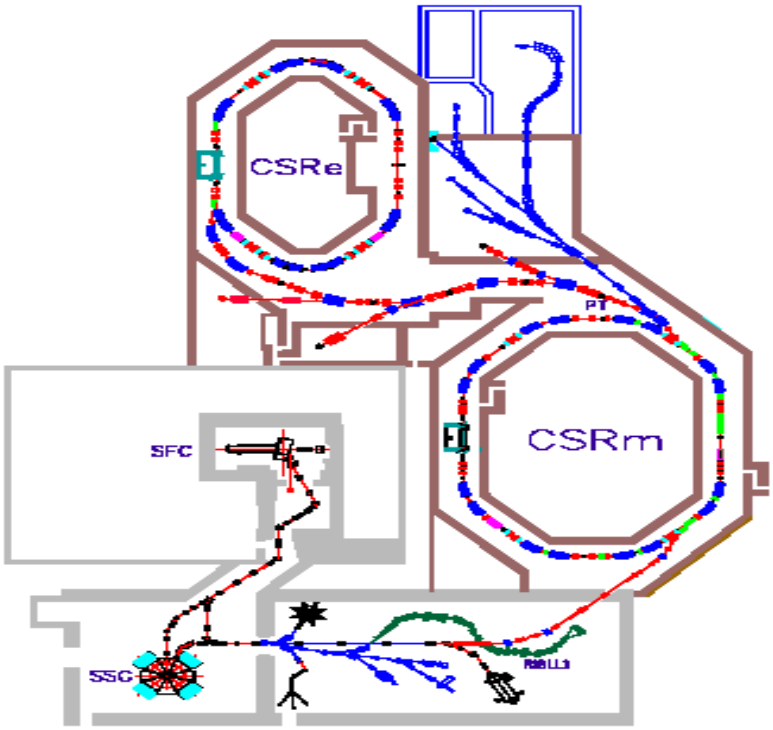




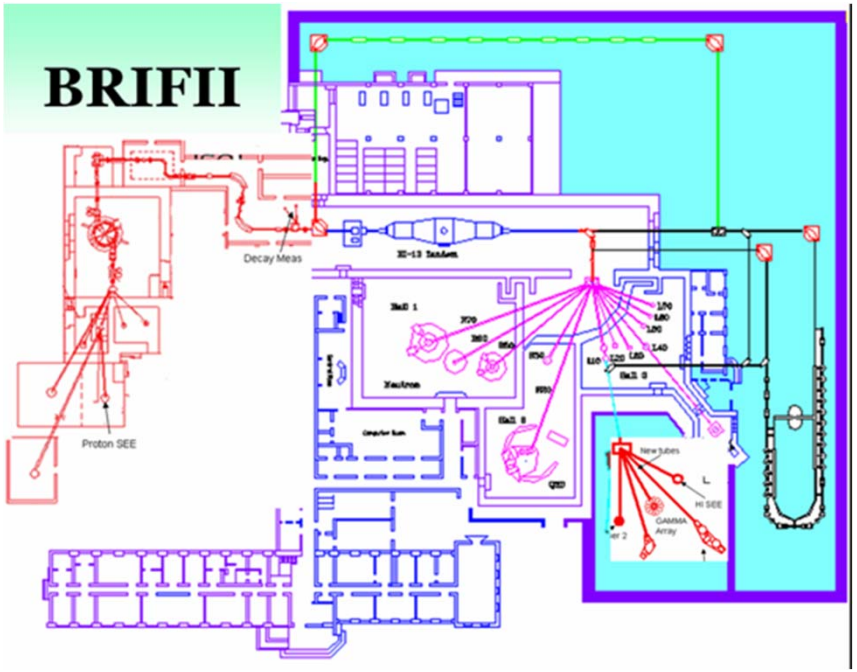
四，前景与应用

1),大科学装置上的在束谱学研究

我国在中科院近代物理所新近建成的冷却储存环大科学装置（CSR）以及在中国原子能科学研究院正在建设的北京放射性束装置（BRIF），提供了未来继续大力开展放射性核束物理研究的国内基础。

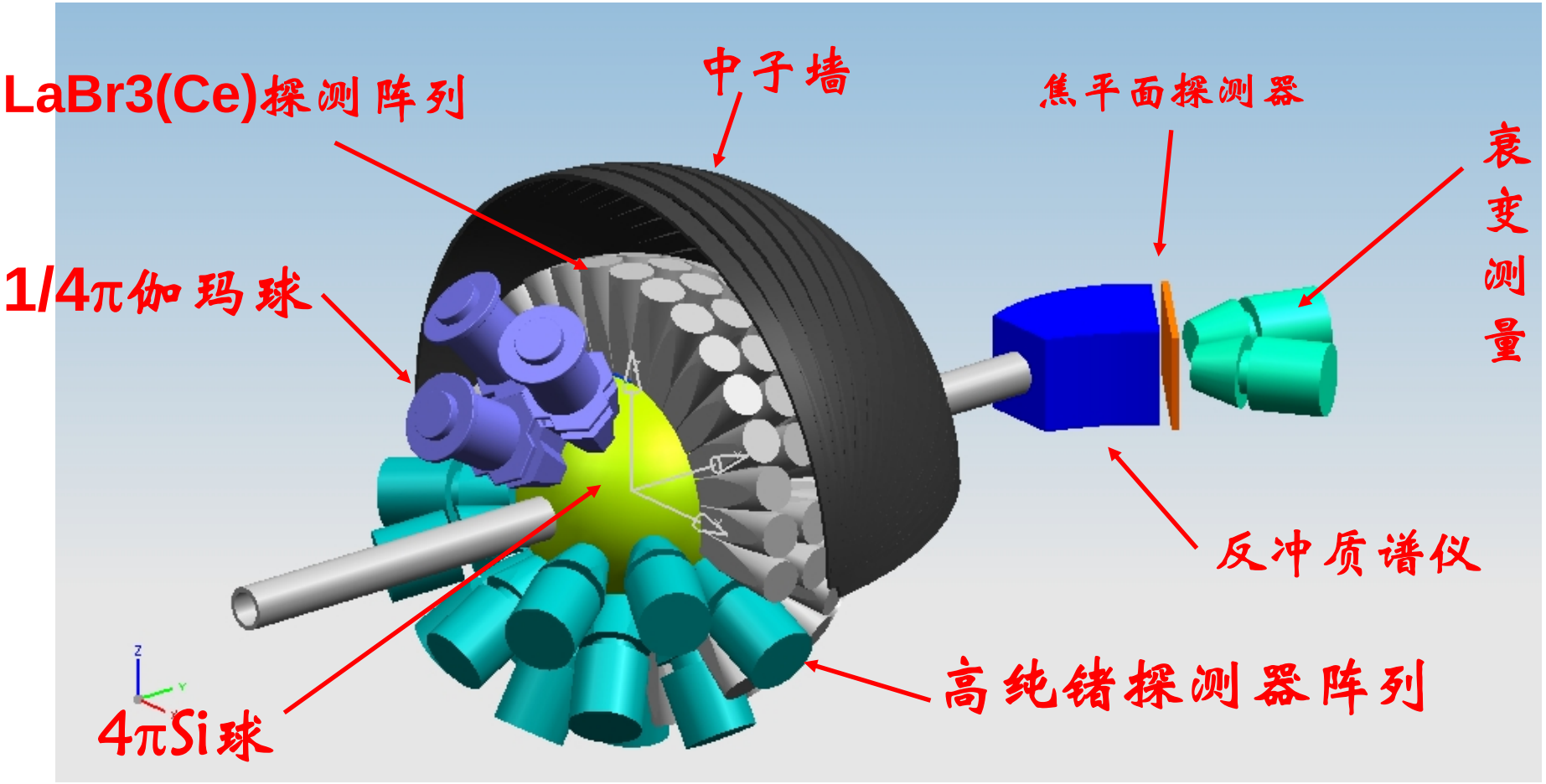


Lanzhou, CSR
Med E HI, RIB, 2008

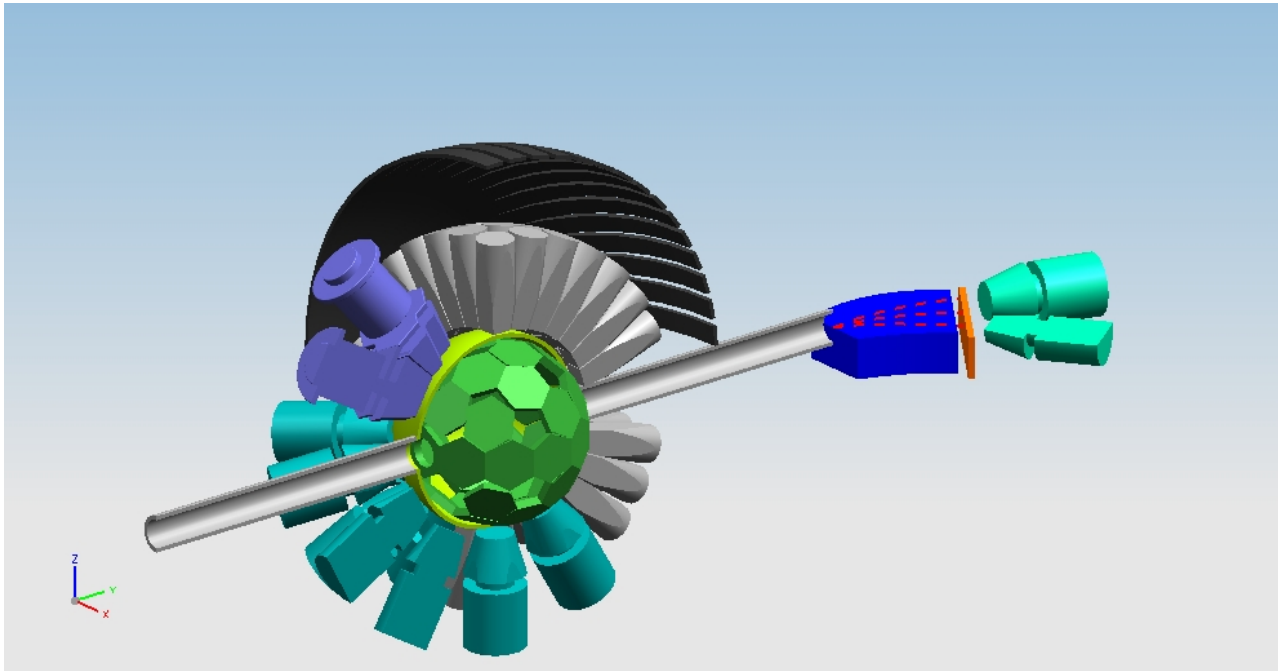


BeijingBRIF, BRIF II ,
Low E HI, RIB

在束谱学联合探测装置设想



主探测器阵列+辅助探测技术



主探测器阵列：

γ阵列—8个分割 Clover

+15个常规型(现有)

+ LaBr3(Ce)探测阵列

+1/4π伽玛球

4πSi球

中子墙

反冲质谱仪

辅助探测技术：

1) 内转换电子测量(微桔谱仪)

2) 裂变碎片探测器

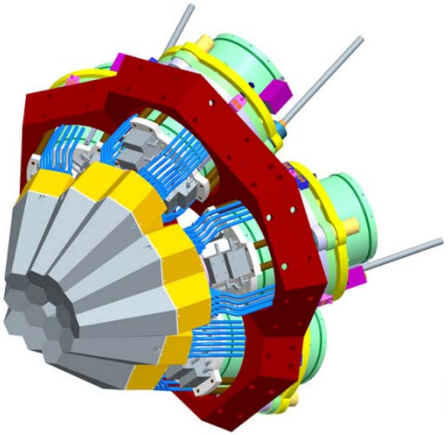
3) Plunger装置：寿命测量

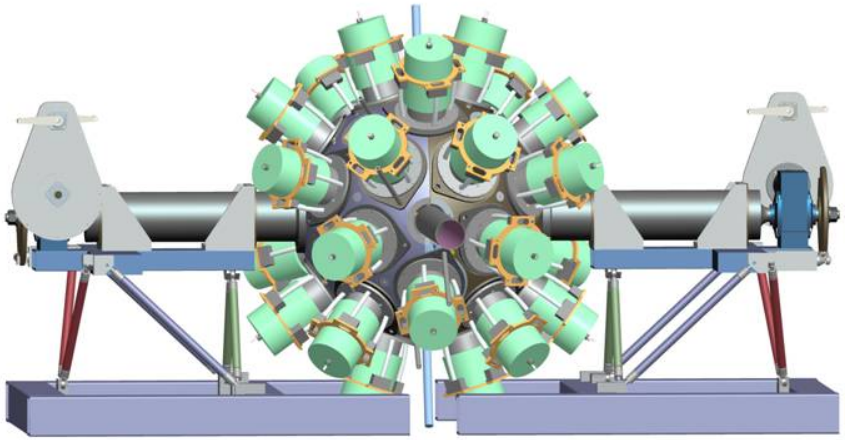
4) 高能γ探测器：GDR…

5)衰变测量： Moving tape

6)γ多重过滤(inner ball)

2),新一代伽玛探测阵列的应用前景





核物理基础研究：

- 远离稳定线的核结构研究（新的幻数？）
- N=Z，滴线核
- 原子核的奇异形变
- 丰中子、丰质子核衰变
- 双质子发射

……

其他应用：

- *核技术*
- *核数据测量*
- *高能物理*
- *天体物理*
- *核医学*
- *核安全*

……

谢谢！