

白光中子源核数据测量平台建设

阮锡超

核数据重点实验室

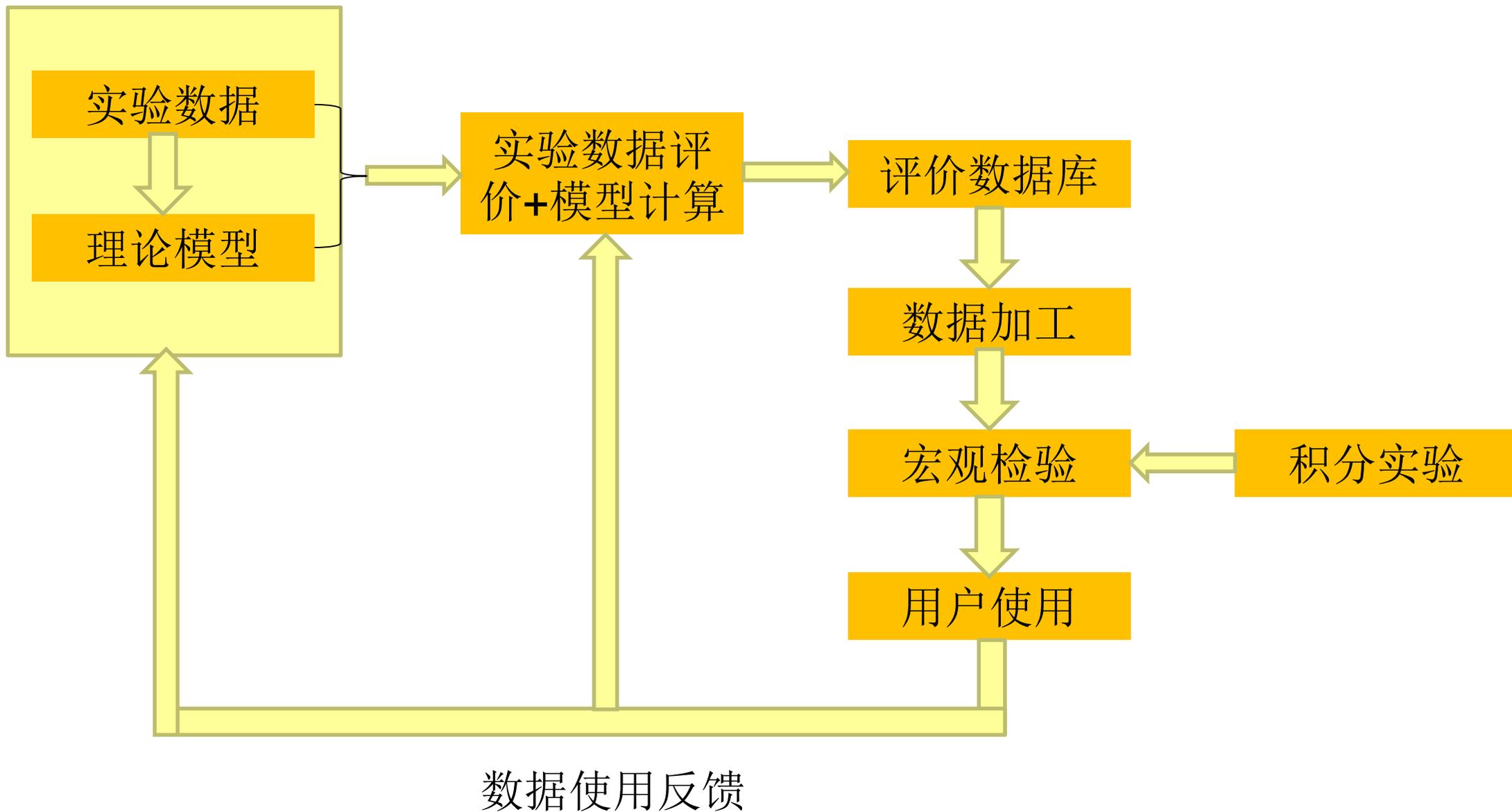
TPC研制讨论会，2019.9.17，北京

内 容

1. 项目背景
2. 项目主要建设目标及内容
3. 预期成效
4. 进度安排
5. 经费预算

1. 项目背景

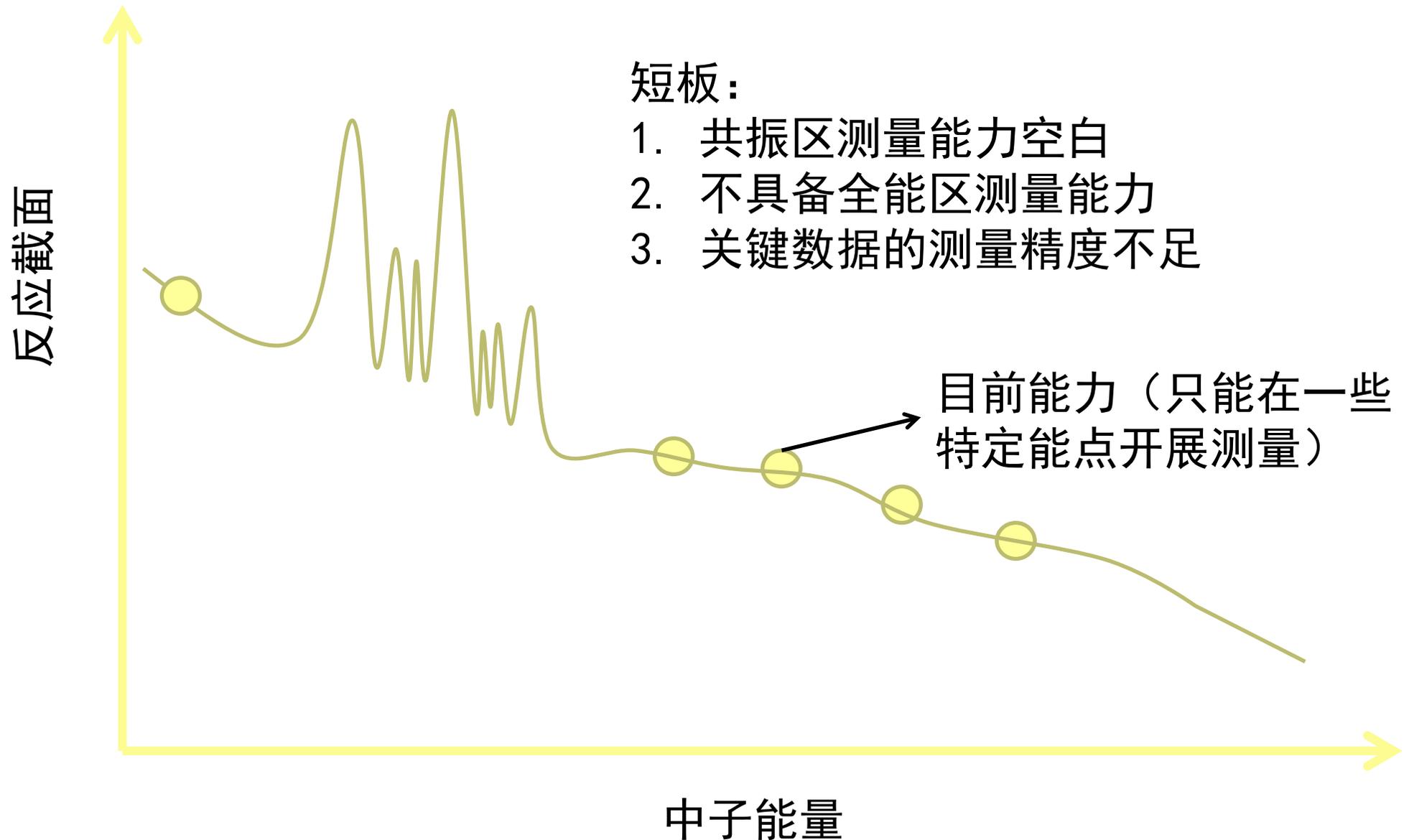
实验测量是核数据工作的基础



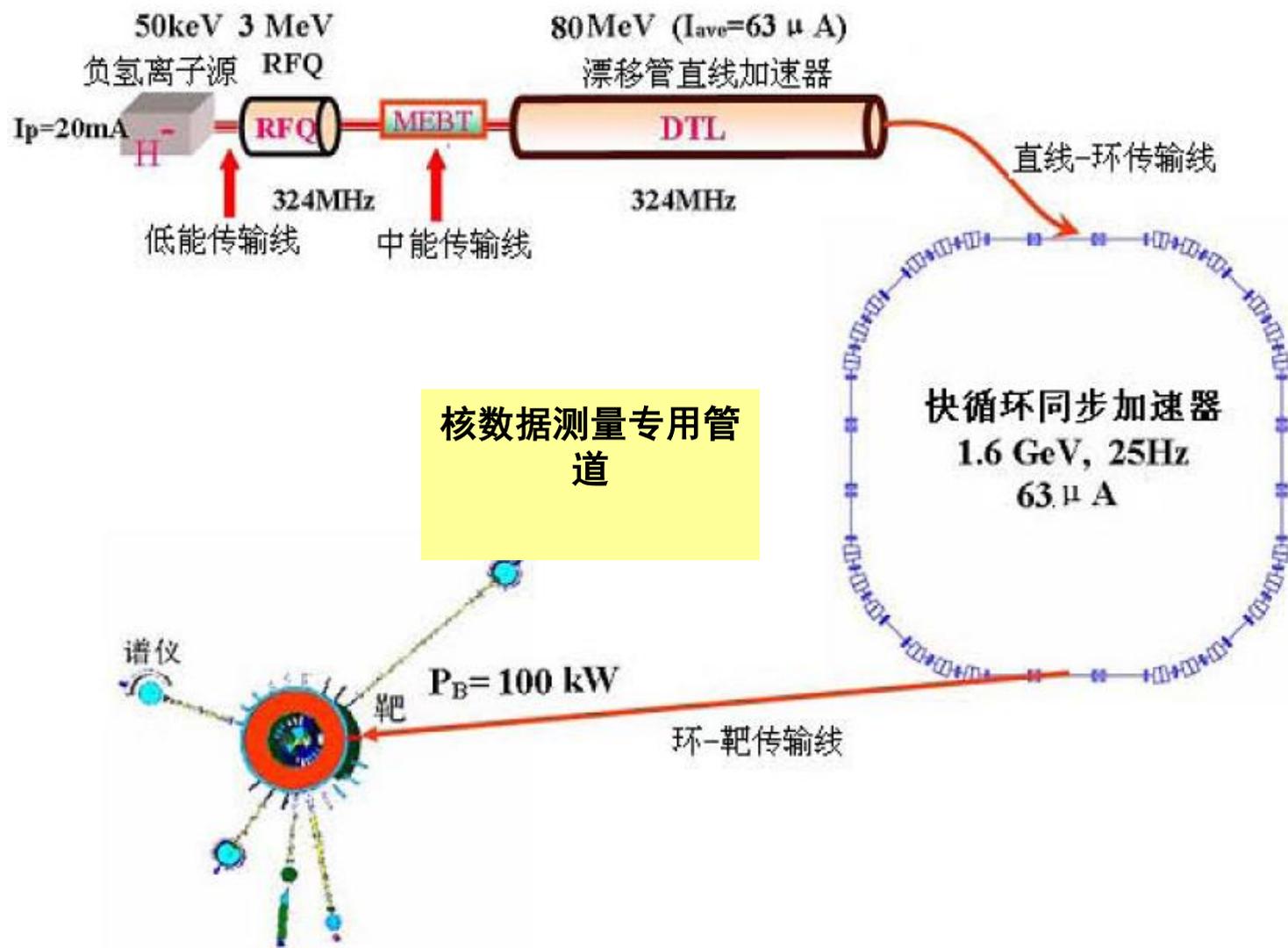
没有实验测量，核数据工作无从谈起！

长期以来我国核数据测量面临的瓶颈问题：

缺乏白光中子源及相应的核数据测量平台！



中国散裂中子源及串列升级工程的建成为我国建设基于高性能白光中子源的核数据测量平台奠定的基础



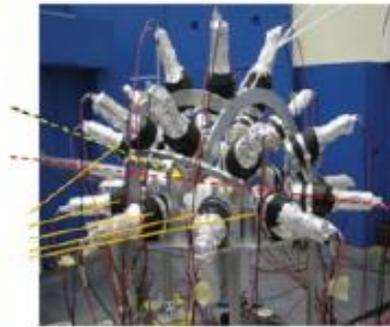
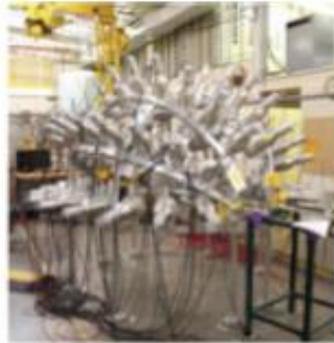
目前急需解决的问题：

- 白光中子源已经建成，但缺乏相应的高水平核数据测量设备，无法发挥先进中子源平台的作用，导致一些关键数据仍然无法满足相关用户的需求。

DANCE (n, γ)



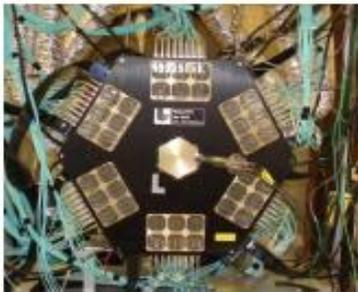
Chi-Nu – PFNS and (n,xn)



LENZ



TPC



SPIDER



Double gridded ion chamber (IRMM)



Lead Slowing-Down Spectrometer



美国洛斯阿拉莫斯国家实验室白光中子源上的各种核数据测量平台

2. 建设目标及内容

项目目标

- 针对影响我国核数据发展的瓶颈问题，即缺乏基于白光中子源的核数据测量平台问题，利用串列升级工程及中国散裂中子源的现有条件，建设多套物理测量设备，形成我国首个基于白光中子源的高水平中子核数据测量平台，大幅度提升我国的中子核数据测量能力，填补我国自主的共振区中子数据的空白，首次实现一些重要数据的全能区高精度测量，满足JG用户对中子核数据的需求。

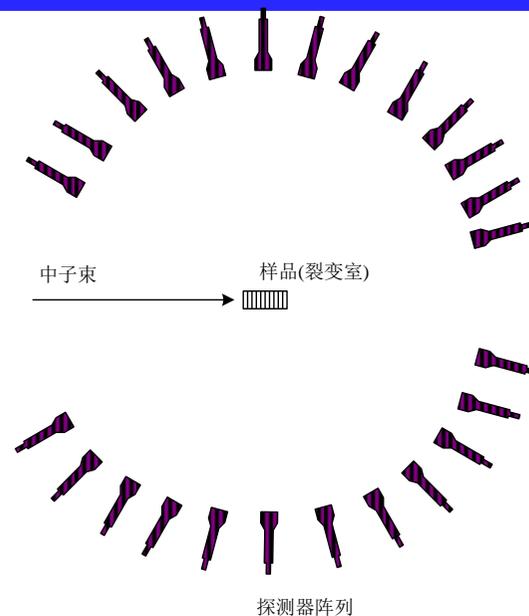
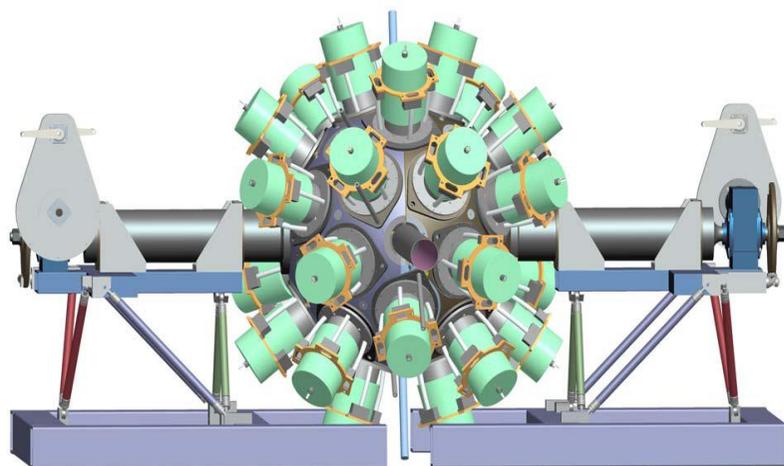
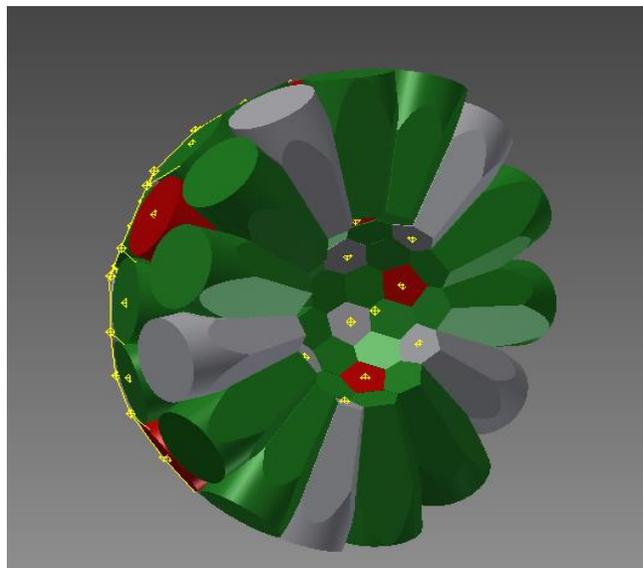
- 共建设7台/套设备
- 白光中子束线相关：2套
 - 束线真空系统
 - 束流监测系统
- 物理设备：5台/套

伽马全吸收型氟化钡探测器阵列

完
IGY

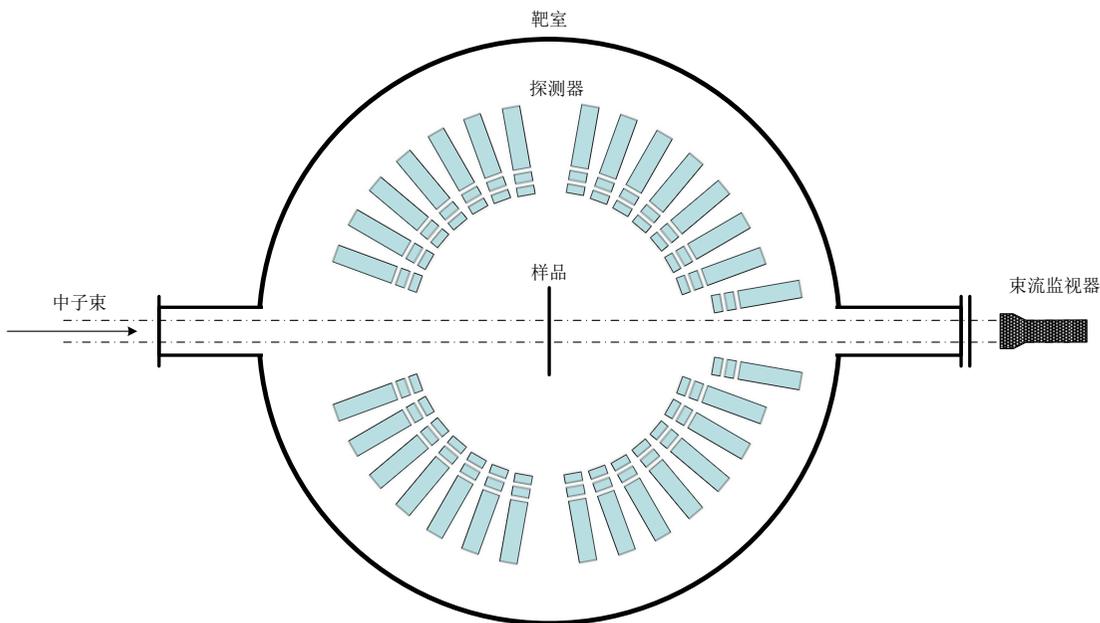
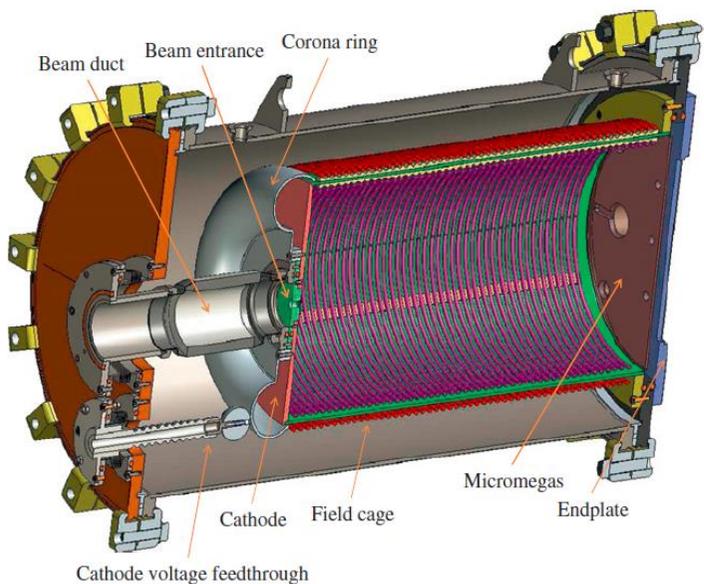
高分辨伽马阵列谱仪

多用途中子探测器阵列

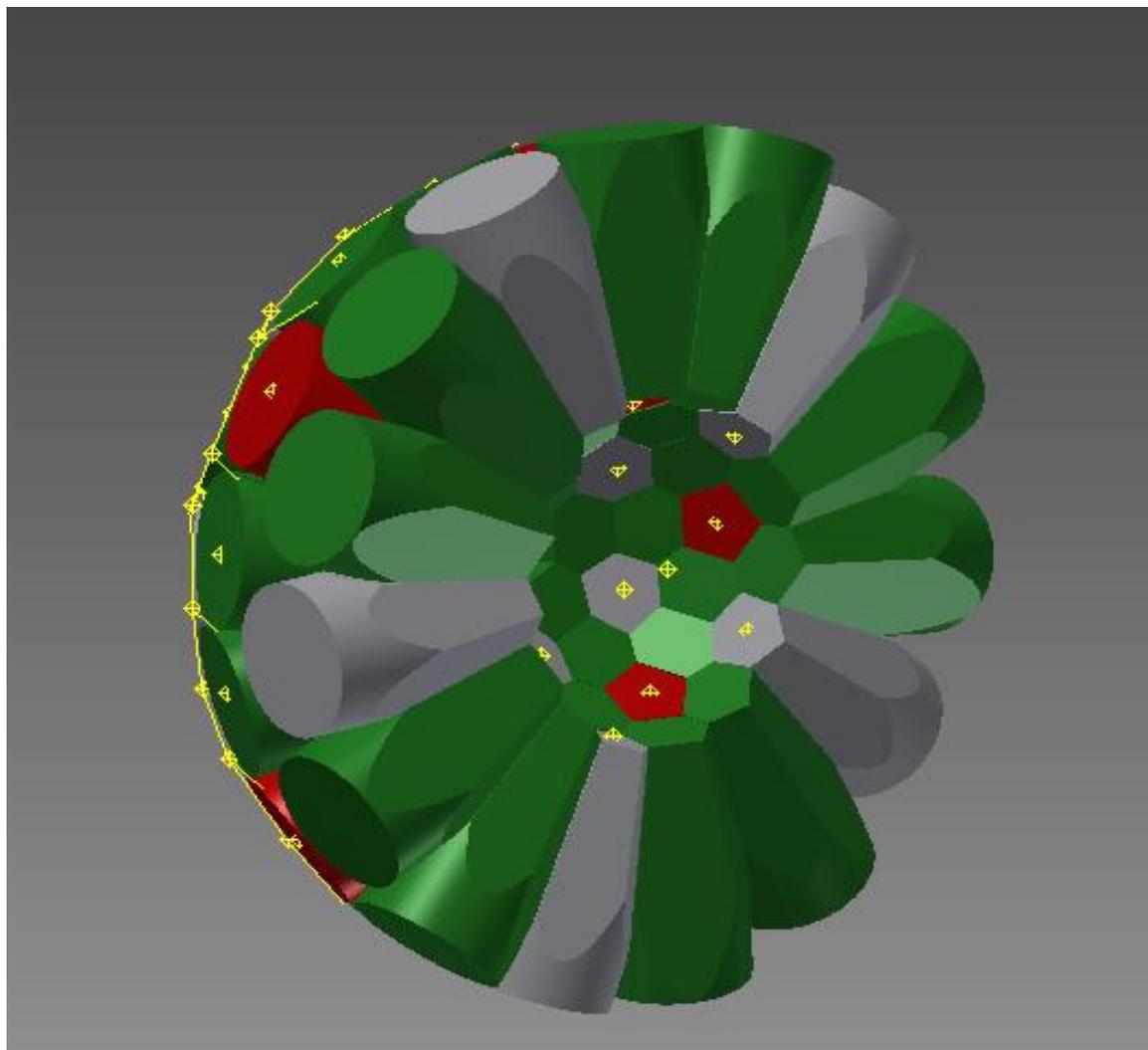


多功能时间投影室

带电粒子靶室改造升级



1-伽马全吸收型氟化钡探测器阵列



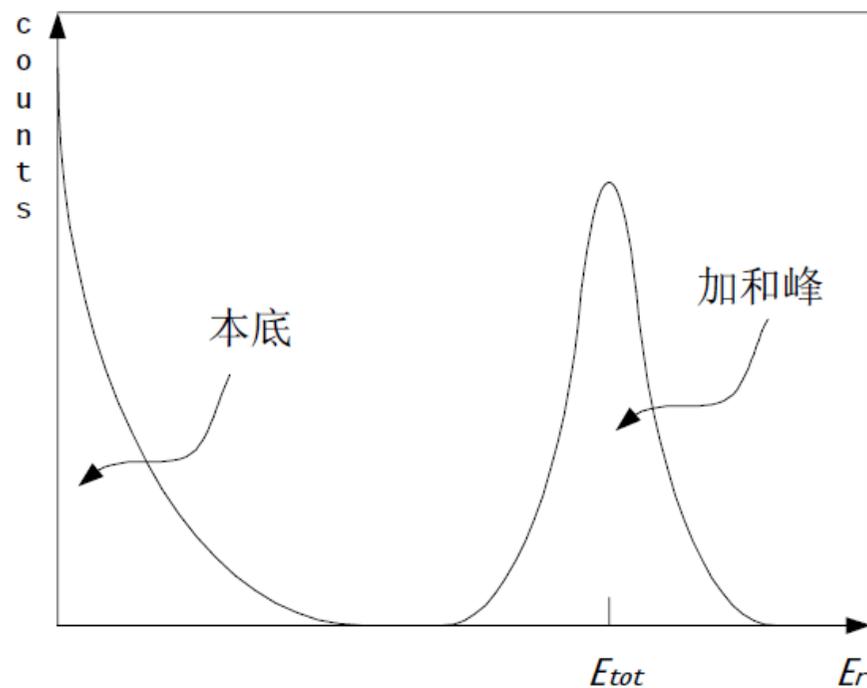
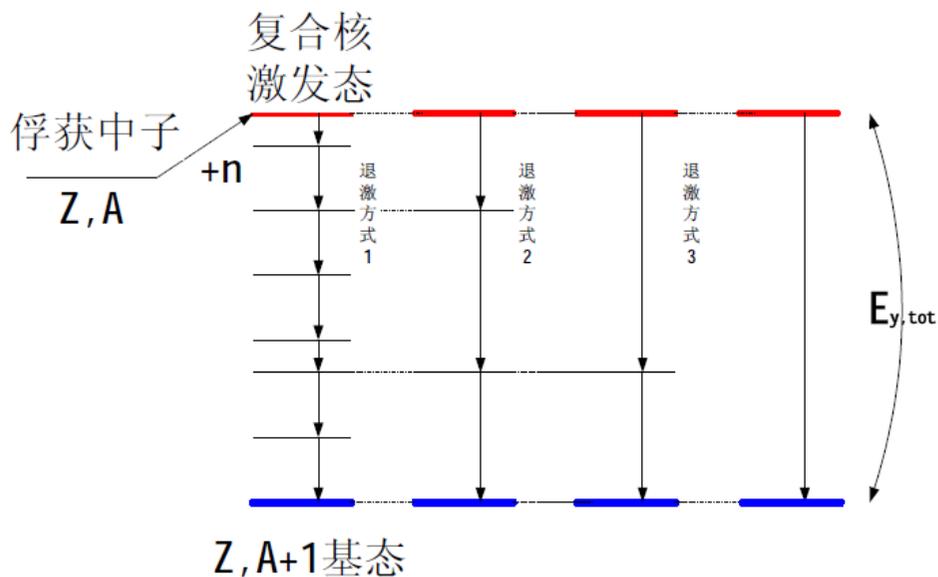
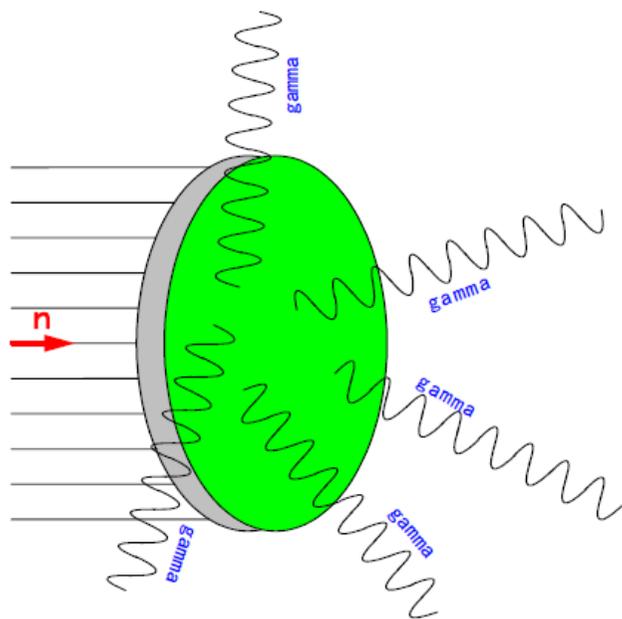
90个BaF₂组成的伽马全吸收型探测器阵列；

基于波形数字化的数据获取系统。

拟开展的工作

- (n, γ) 反应截面测量；
- (n, γ) 反应及裂变反应的伽马能谱及多重数测量；
- 其他。

(n, γ)反应过程:



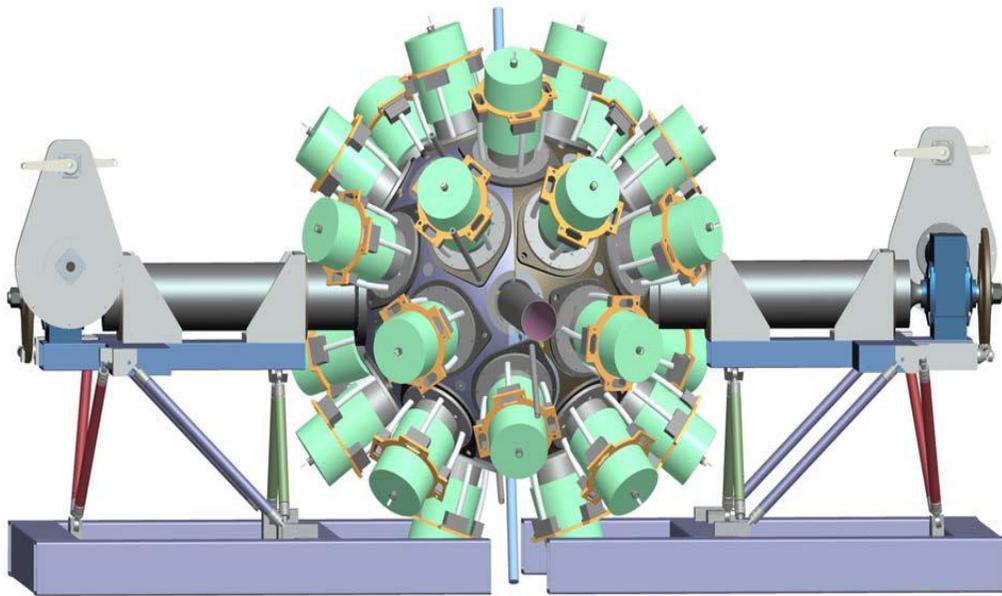
量能器原理测量(n, γ)反应截面

系统组成

- **BaF₂探测器阵列：**由90个BaF₂探测器、探测器支架、样品室、中子管道及中子吸收体等组成。
- **电子学系统：**由高压电源、读出电子学等组成。
- **数据获取系统：**波形数字化数据获取。

- 覆盖立体角 $>90\%$
- 谱仪对 ^{60}Co 的探测效率 $>90\%$
- 谱仪的时间分辨好于 5 ns

2 – 高分辨伽马阵列谱仪



96个同轴型高纯锗

10个CLOVER

10个小平面Ge

30个LaBr₃(Ce)探测器

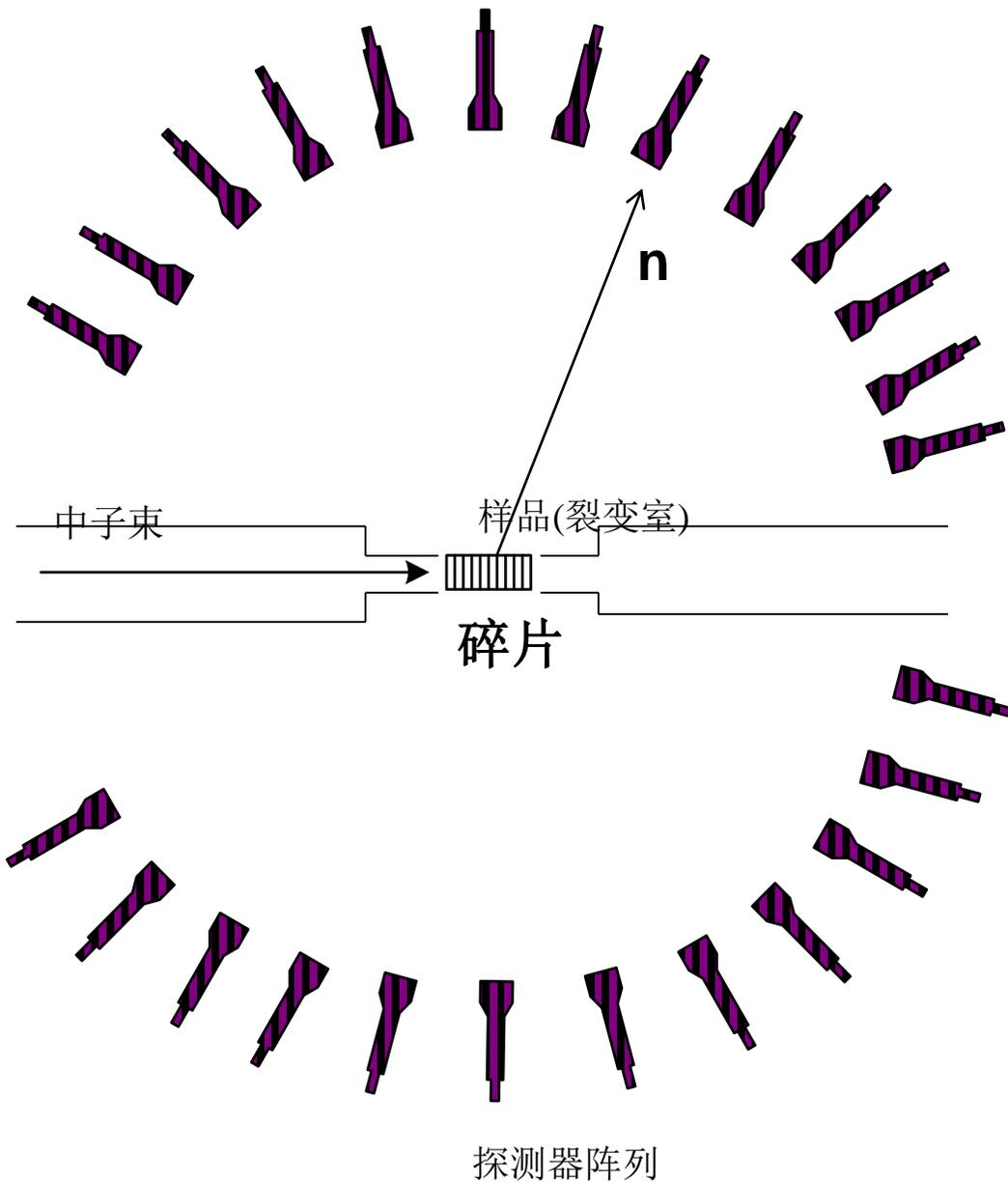
3个Si(Li)探测器

- 裂变核、结构材料核等的 $(n, 2n\gamma)$ 及 $(n, n'\gamma)$
- 丰中子核核结构研究
- 衰变纲图
- (n, γ) 反应截面
- ...

- 探测器阵列：由90个HPGe谱仪、10个CLOVER、10个小平面高纯锗探测器、30个LaBr₃(Ce)探测器、3个Si(Li)探测器、再加上探测器支架、靶室、中子管道及中子吸收体等组成。
- 电子学系统
- 数据获取系统

- 探测阵列对 ^{137}Cs γ 的探测效率>10%
- 探测阵列的时间分辨好于30纳秒

3 - 多用途中子探测器阵列

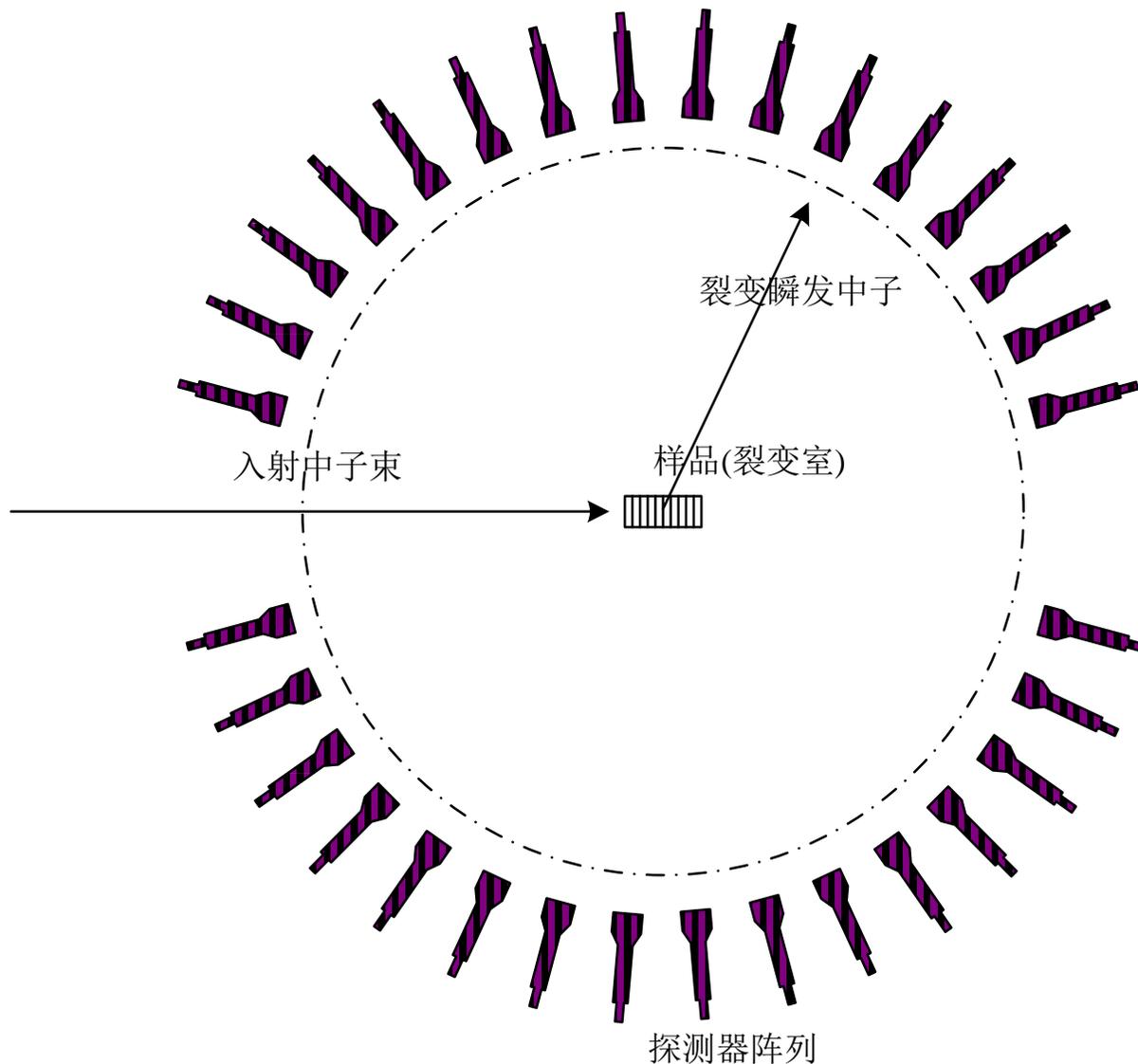


**64个闪烁体中子
探测器阵列（液
闪48个，⁶Li玻璃
16个）**

拟开展的工作

- 主要燃料核的裂变瞬发中子谱测量(尤其是关注高能段)
- 非弹性散射截面（需配伽马探测器）
- 中子与氙核的反应（配一个氙代液闪）
- 准积分实验

工作原理



中子引起裂变核裂变时：
碎片和瞬发中子同时发射出来；

用裂变室标记裂变碎片及
裂变时间

出射的中子及能谱由中子
探测器阵列通过飞行时间
法测量

48个液体闪烁体（快中子）

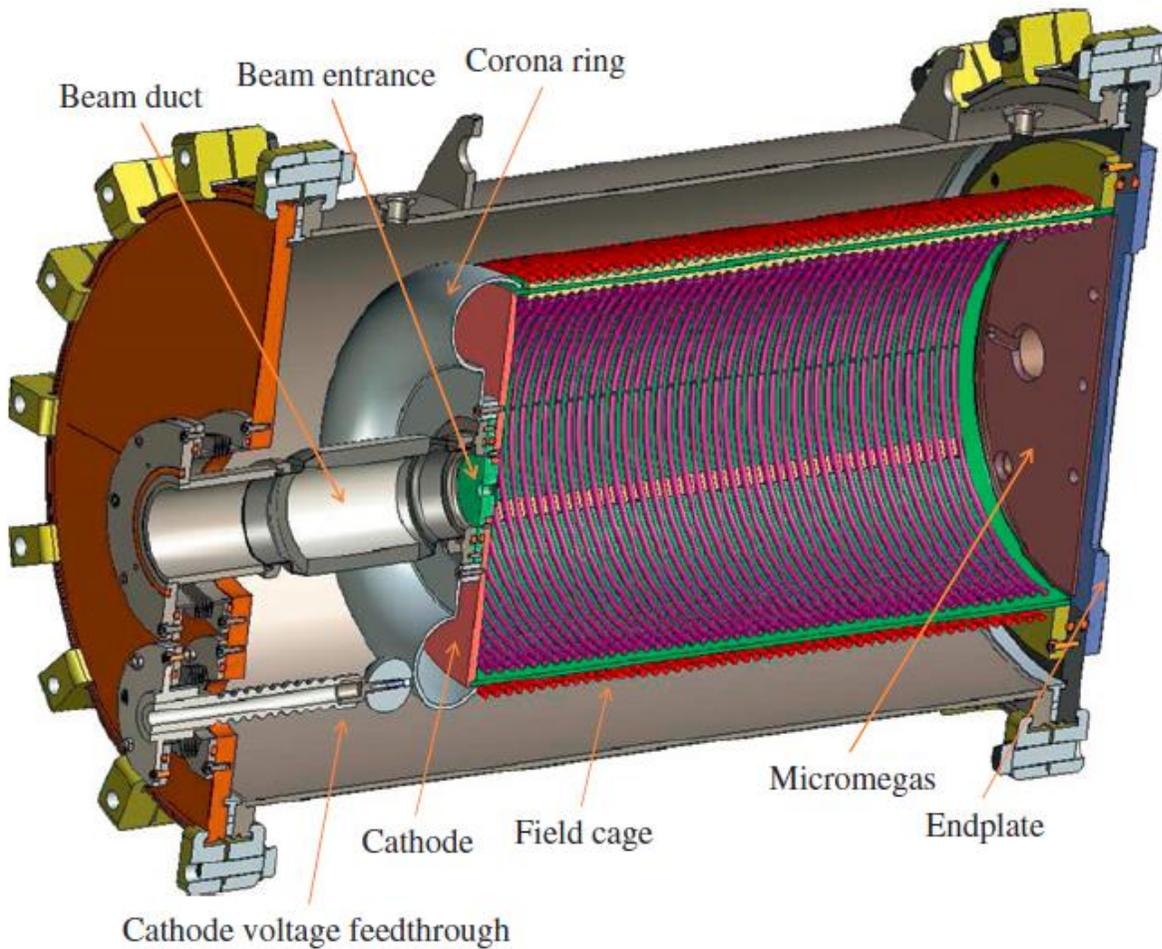
16个 ^6Li 玻璃探测器（1
MeV以下中子）

- 由**64**个中子探测器组成的中子探测器阵列，包括中子探测器以及探测器支架。
- 电子学系统，含多层裂变室的前放、主放，中子探测器阵列的前放、主放、脉冲形状甄别线路以及相应的时幅转换、符合、门产生器、机箱电源等。
- 数据获取系统，将电子学处理后的探测器信号进行**AD**变换，转化为数字信号后保存到计算机中，供后面的分析使用。

主要指标

- 液闪中子探测器的n/ γ 鉴别能力低于1 MeV，对1-15 MeV中子的探测效率高于10%
- 多层裂变室可承载的样品量大于50 mg
- 系统时间分辨好于5 ns

4 - 多功能时间投影室



有效面积: **10×10 cm**
20000路读出电子学

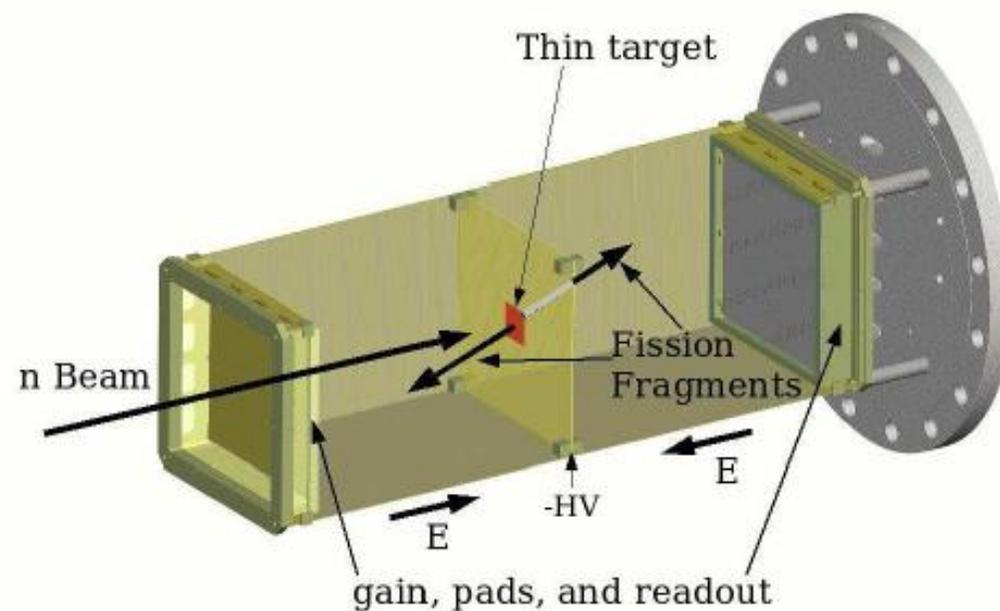
- 裂变截面测量
- 裂变碎片角分布测量
- (n,x) 反应截面测量

传统方法的缺点：

Alpha的干扰，尤其是次锕系核

改进思路：

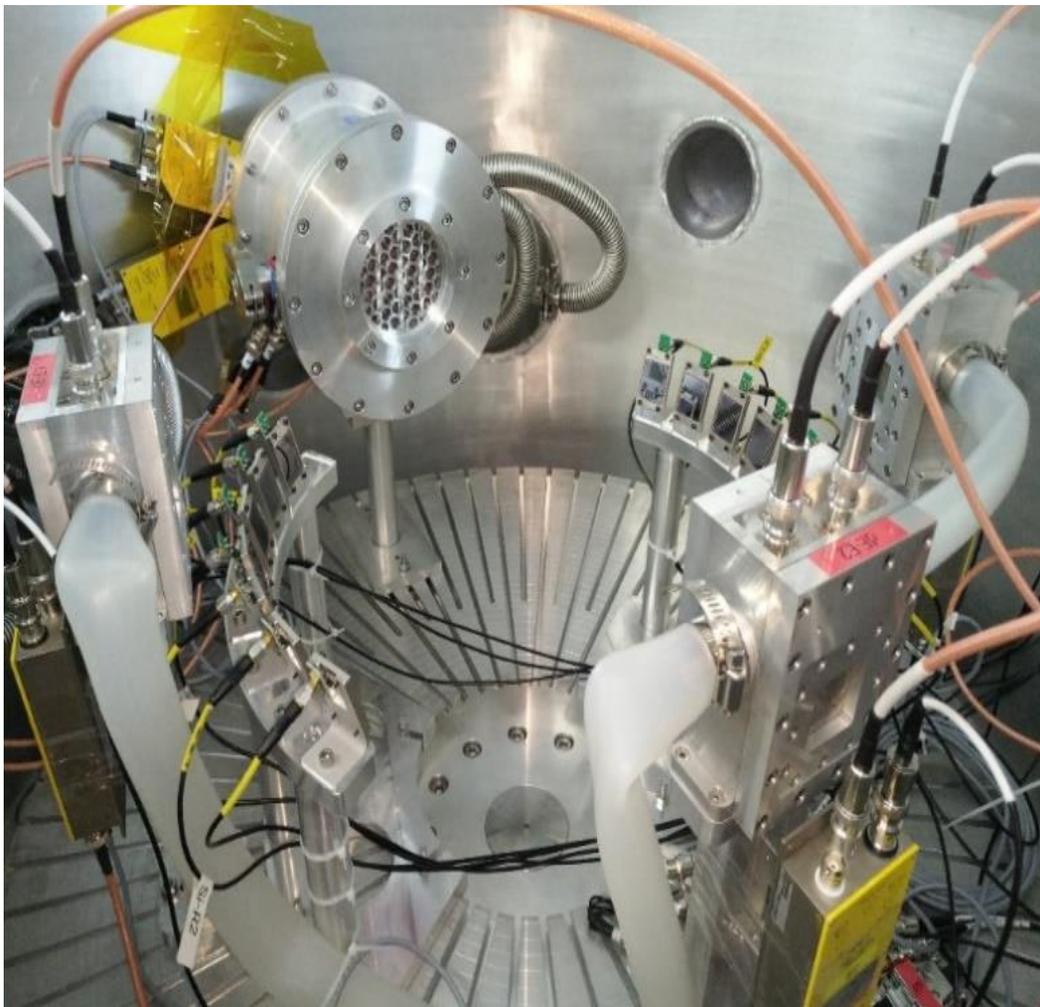
两个碎片的符合测量+径迹测量 (TPC)



- 探测器系统：两块覆盖面积为 $10*10\text{cm}^2$ 的二维读出电极板；雪崩区为100微米左右的Micromegas微结构气体放大装置；包含电场均压环系统的探测器漂移电场区。
- 电子学系统：20000路读出电子学。
- 数据获取系统。
- 支持系统。

- 灵敏区覆盖面积 $100\text{mm}\times 100\text{mm}$
- 读出通道数 2×10^4
- 系统的时间分辨好于 30 ns

5 – 带电粒子测量系统升级改造



对现有的**LPDA**设备进行适当改造；

提高性能。

- (n,x) 反应截面测量；
- 出射带电粒子的能谱及角分布测量。

- 气路控制系统，拟采用**MTPC**谱仪系统。通过地面配气间进行配气，并隧道内近探测器端使用气压控制柜进行气压调整和控制。
- 机械系统，计划重新设计靶室顶盖，增大换样装置面积及承重。并增加吊装工装，以便于靶室内更换探测器等操作。重新设计支撑结构，减少支撑结构占地面积，并增加可拆卸承物平台充分利用空间。
- 探测器，计划使用溴化镧(**LaBr₃(Ce)**)晶体取代现有**CsI (TI)**晶体。使用双面硅条探测器取代现有的**PIN**型硅探测器作为 **ΔE** 探测器，同时需要采购**16**路集成前置放大器与波形数字化数据获取等电子学插件来进行双面硅条探测器的信号读出及记录。

3. 预期成效

- 新建伽马探测器阵列2套：伽马全吸收型氟化钡探测器阵列和高分辨伽马阵列谱仪；
- 新建中子探测器阵列一套：多用途中子探测器阵列；
- 新建带电粒子探测系统1套（多用途时间投影室），改造1套（带电粒子测量系统）；
- 涵盖中子、伽马和带电粒子的测量；
- 大幅度提高测量能力。

对我国核数据测量能力
体系建设具有重要作用

核数据测量

中子反应数
据测量

衰变数据测
量

裂变数据测
量

核数据测量
支撑技术

激发函数

次级中子能谱

伽马产生截面

积分实验

半衰期

分支比

裂变截面

裂变产额

裂变中子及伽马

先进中子源

新型探测器

新的实验方法

同位素样品

- 激发函数测量除了已掌握的活化法，通过本项目可建立在线测量方法，实现全能区测量；
- 伽马产生截面测量实现全能区测量；
- 为积分实验提供新的手段。

- 提高纲图及分支比测量能力。

- 具备全能区高精度裂变截面测量能力；
- 可开展裂变中子及伽马谱的系统测量。

- 建立一组新型探测器系统；
- 掌握新的实验方法。

4. 进度安排

任务	第一年	第二年	第三年
前期工作	→		
束线真空系统	→	→	
束流监测系统	→	→	
带电粒子靶室改造	→	→	→
伽马全吸收型氟化钡探测器阵列	→	→	→
高分辨伽马谱仪	→	→	→
多用途中子探测器阵列	→	→	→
多用途时间投影室	→	→	→

目前，建议书已交到集团军工部，待进一步提交科工局！

- 本项目属于“固定资产投资项目”，而不是科研项目，一切以实现工程建设为目标。即可以研制而不能是研究。
- 由于科工局固投项目只能投向军工集团相关单位，不能有“异地建设”，因此只能说建在原子能院，建好验收后可以移到散裂源使用。
- 也在尝试装发的科研项目，看死否能得到较大的经费盘子。

谢谢

欢迎批评指正