

2012创新群体会议

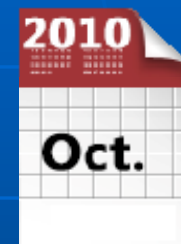
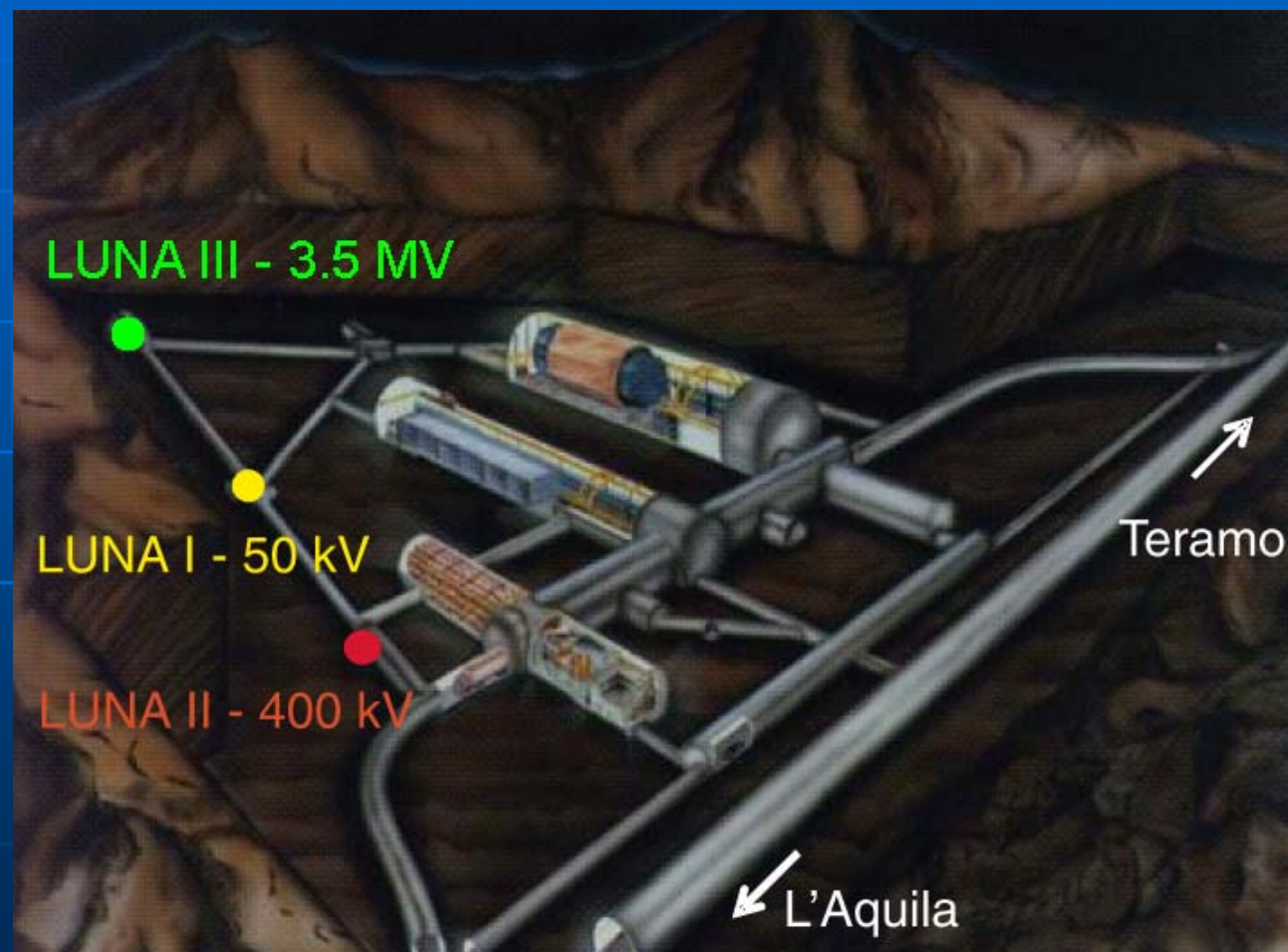
超导螺线管谱仪

连 钢

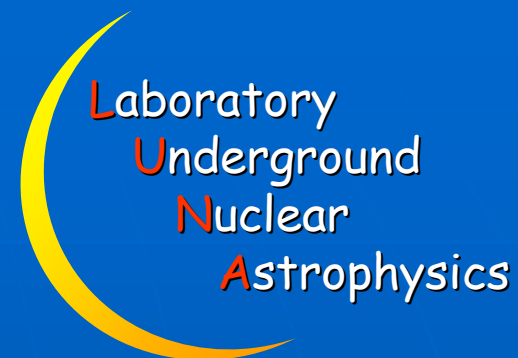
2012.12.14

“LUNA-MV” Project 进展

Laboratory
Underground
Nuclear
Astrophysics



“LUNA-MV” Project 进展



- 继续寻求资金支持以及当地政府对新的加速器的批准
- 收到的回应较少，原有工作包的国际合作模式取消

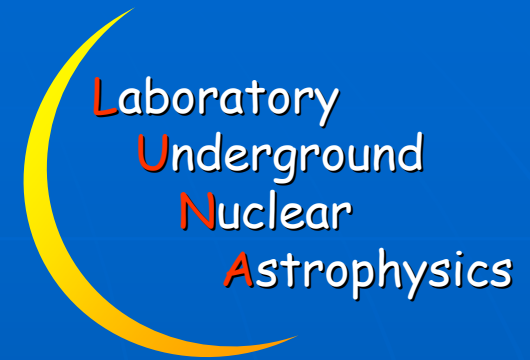


- 获得**280**万欧元支持
- 预算：仅束流线、屏蔽、靶、探测器至少需**220**万欧元
- 计划**2013**年初召开研讨会，讨论新的合作方式

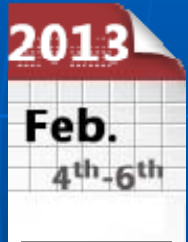


决定**2013**年**2**月在**GranSasso**举行国际研讨会
"Starting-up the LUNA-MV collaboration"

“LUNA-MV” Project 进展



"Starting-up the LUNA-MV collaboration"

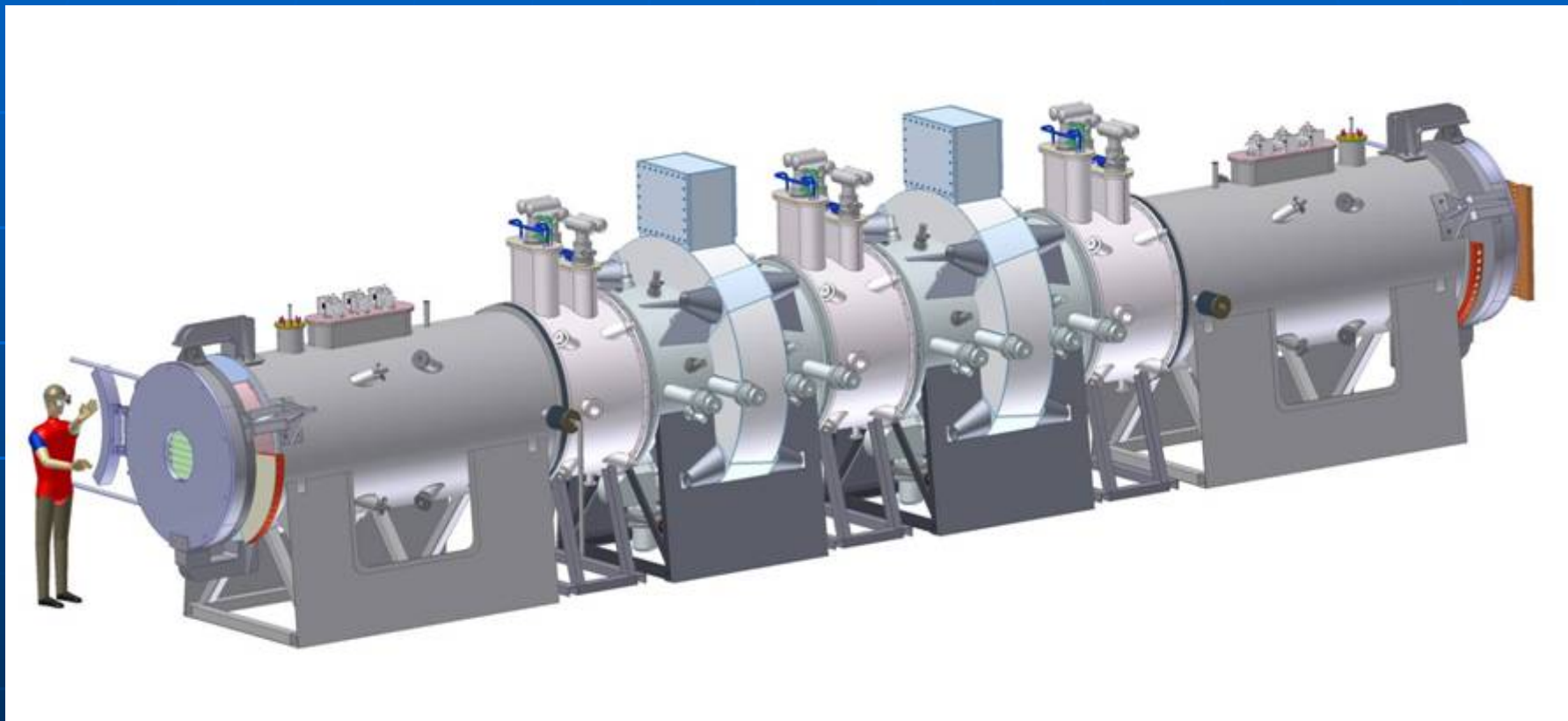


会议目标:

- 讨论**LUNA-MV**的科学目标
- 寻求新的国际合作方式
- 确定**LUNA-MV**升级计划的时间进度

超导螺线管谱仪

----- 用于放射性核反应实验的新型谱仪



超导螺线管谱仪

- 实验需求
- 超导螺线管谱仪原理
- 超导螺线管谱仪优点
- 可行性分析

超导螺线管谱仪

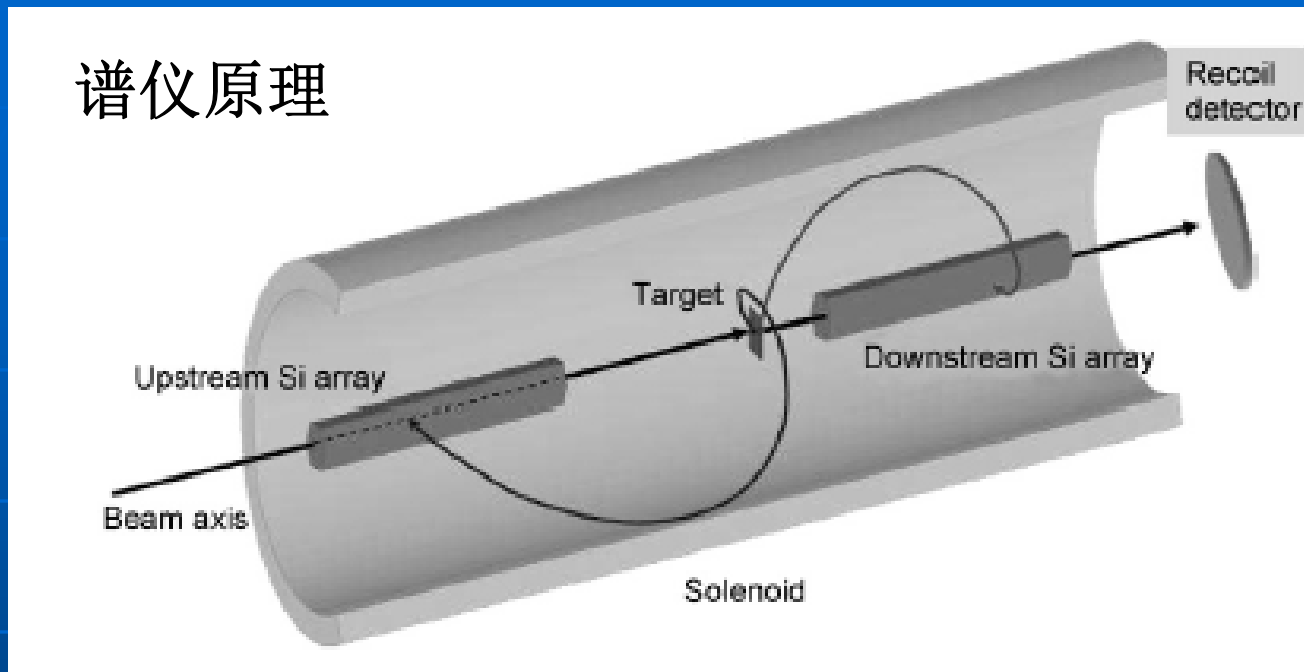
实验需求 (d, p)、(α , t)、(^3He , d)、质子或 α 非弹散射

为了研究远离稳定线原子核的反应与结构性质，需进行逆运动学测量。与正运动学相比，逆运动学测量有多个难点：

- 重的反冲核难以鉴别，包括同位素的鉴别和同一核素不同核态的鉴别
- 在感兴趣的质心系前角区（即实验室反角区），出射的轻粒子通常能量很低，因此能量测量容易受到噪声干扰，粒子鉴别也很困难
- 轻粒子能量随出射角的变化非常快，导致常规测量方法（探测器几何确定角度）中能量分辨较差
- 本底干扰：束流散射（beam scattering），靶中电子（electron from target），束流衰变（radioactive decay products），来自束流或反应靶杂质的干扰反应（competing reactions from beam or target impurities）

超导螺线管谱仪

谱仪原理



平行于束流方向的均匀强磁场

束流：中空的探测器阵列中穿过去，打在反应靶上

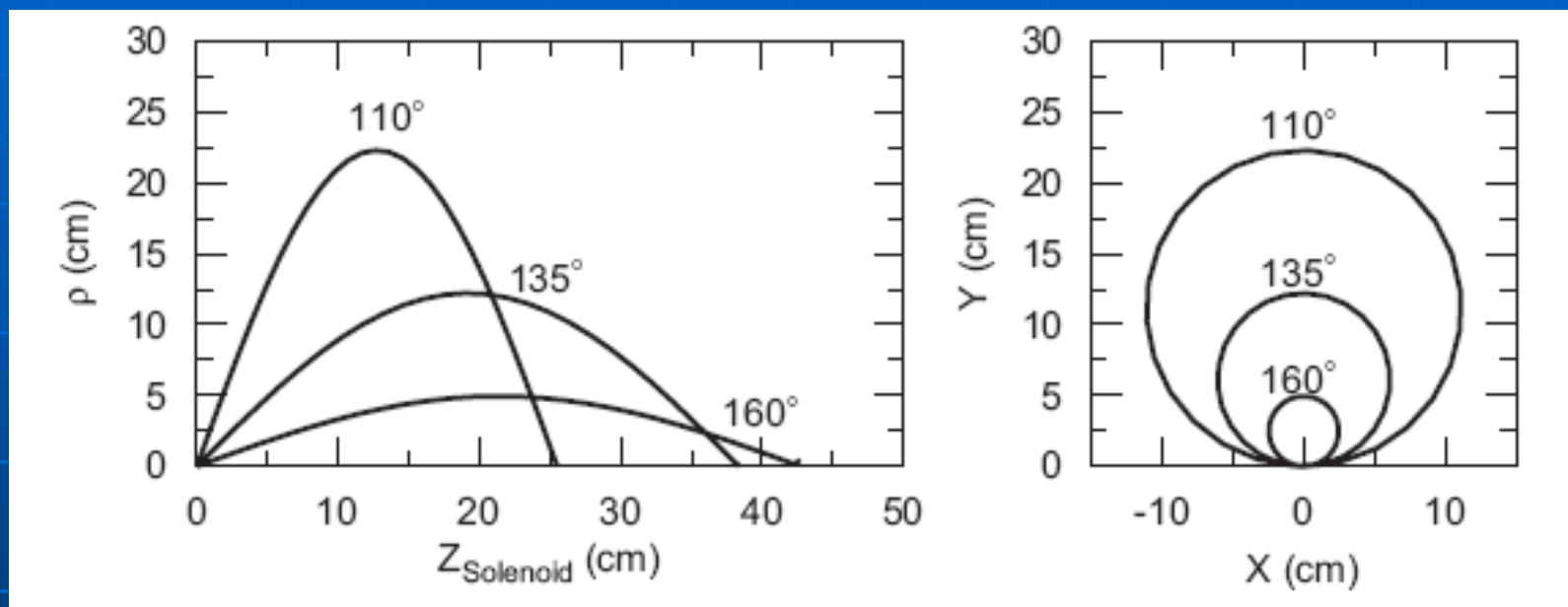
轻反应产物：在磁场中作螺旋型运动，在一个回旋周期后回到轴线时被探测器阵列探测到

- 平行于磁场方向速度分量：沿轴线运动
- 垂直于磁场方向速度分量：圆周运动

角度信息：不同角度出射的反应产物最终落在轴线（即探测器）上时，离开靶原点的距离不同

超导螺线管谱仪

谱仪原理



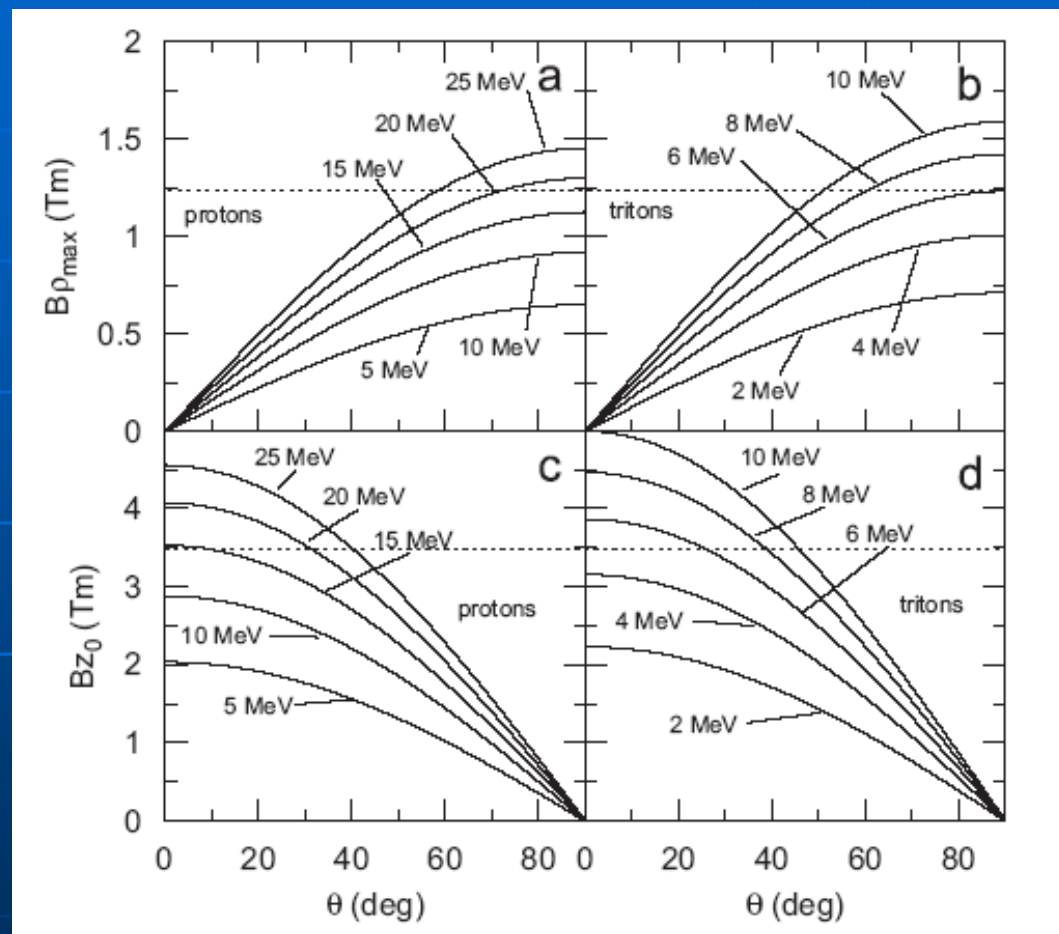
- $^2\text{H}(^{132}\text{Sn}, p)^{133}\text{Sn}$, $E=8\text{MeV/u}$, p 110、135和160度出射轨道，左图为垂直束流方向视图，右图平行束流视图
- 可以看出：在磁场作用下，不同角度出射的 p 经过一个回旋周期后，落在轴线上的位置不同；通过放置在轴线附近的探测器给出的位置信息就可以定出角度信息；分辨要比常规探测器用几何确定的角度分辨好3倍左右

超导螺线管谱仪

谱仪优点：

- 角度、能量分辨高：
比常规探测器的分辨好3倍左右
- 适合的束流能区宽：
每核子几个MeV到几十 MeV
- 大立体角测量：
能量较低时可以接近全立体角测量

超导螺线管谱仪



粒子接收度

$$\mathcal{B}\rho_{max} = 0.290 \times \frac{\sqrt{EA}}{q} \sin \theta_{lab}$$

$$\mathcal{B}Z_0 = 0.911 \times \frac{\sqrt{EA}}{q} \cos \theta_{lab}$$

B - 磁场强度

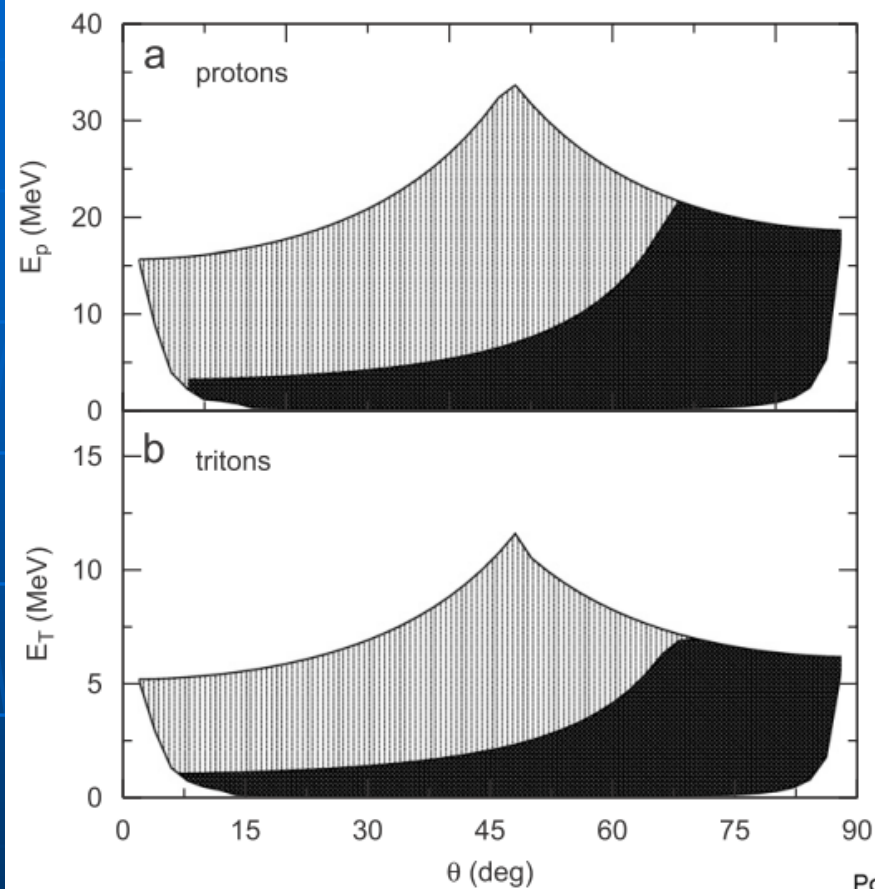
ρ - 出射粒子在垂直方向离开反应位置的距离

Z_0 - 出射粒子在沿着束流方向离开反应位置的距离。

水平虚线是常规核磁共振成像主磁铁的磁场和几何限制

$B\rho=1.25$ Tm, $BZ_0=3.5$ Tm

超导螺线管谱仪



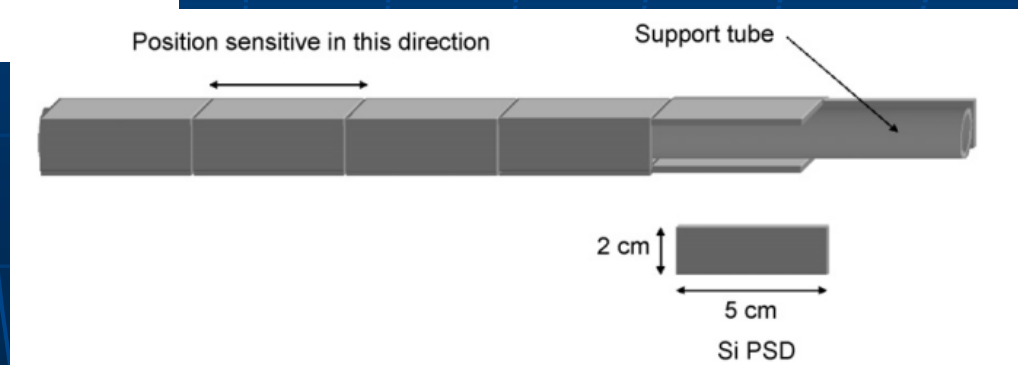
粒子接收度

$B=3T$ $R=45$ cm

$\rho > 2$ cm

灰色部分: $Z=150$ cm

黑色部分: $5\text{ cm} < Z < 55\text{ cm}$



超导螺线管谱仪

能量分辨：两个模拟计算的例子



Solenoid

volume: $R=0.45\text{m}$, $L=1.5\text{m}$

$B=2\text{T}$

Homogeneity better than 0.1% within 1m

Detector array

upstream or downstream

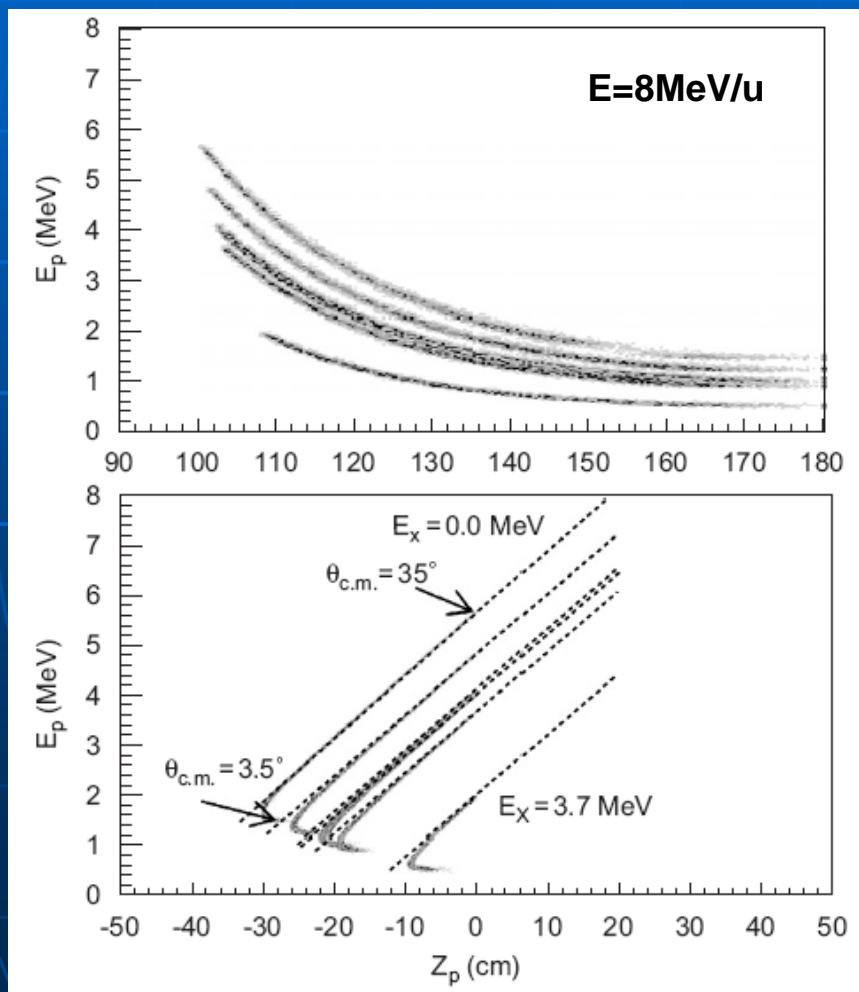
cross-section: $2\times 2\text{ cm}^2$

Length: 30 cm

超导螺线管谱仪

能量分辨

Proton energy versus laboratory angle for various states in ^{133}Sn
from $^2\text{H}(^{132}\text{Sn},\text{p})^{133}\text{Sn}_{0-5}$



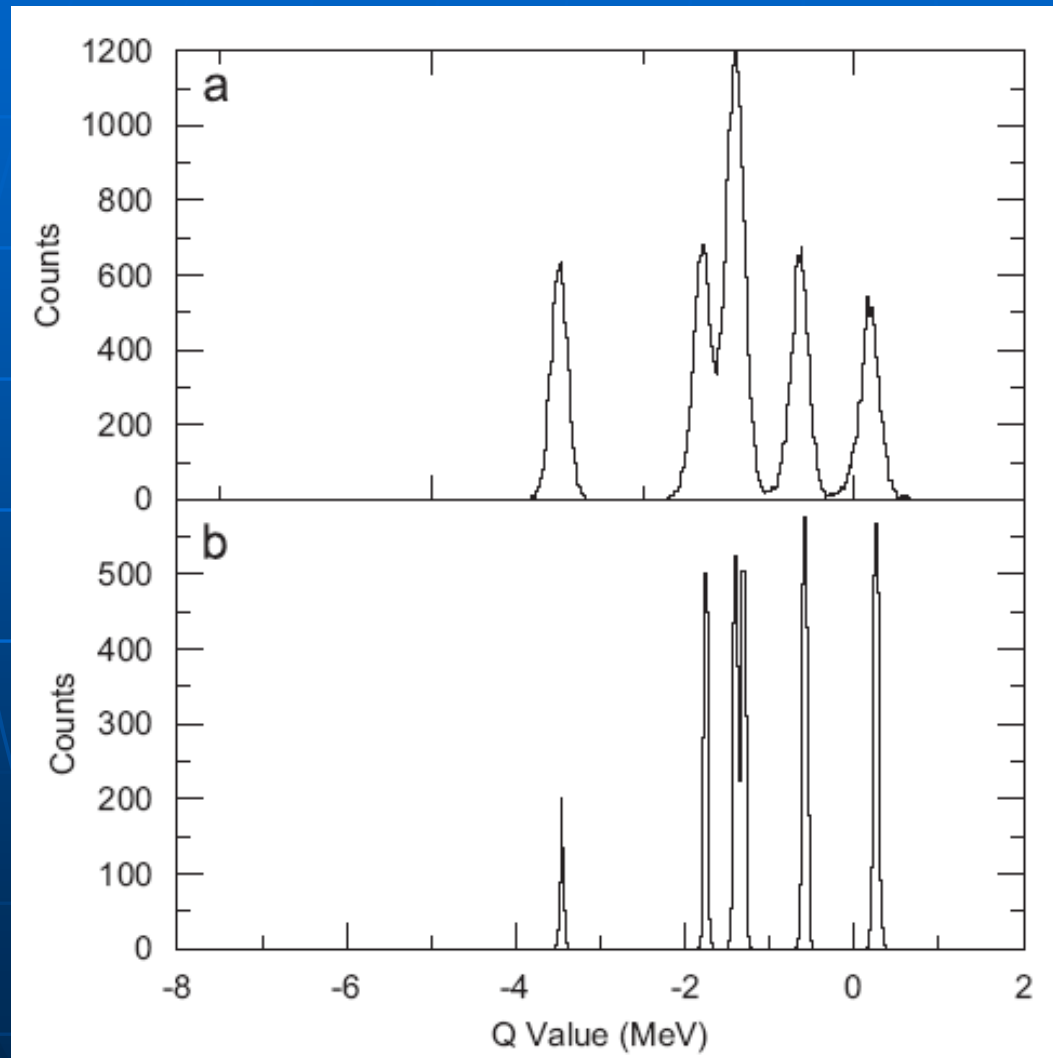
a: 常规探测器, 假设角度分辨1度;

b: 超导谱仪, 假设位置分辨1mm

能量分辨均假设为50keV

超导螺线管谱仪

Simulated Q-value spectra for the $^2\text{H}(^{132}\text{Sn},\text{p})^{133}\text{Sn}_{0-5}$ reaction



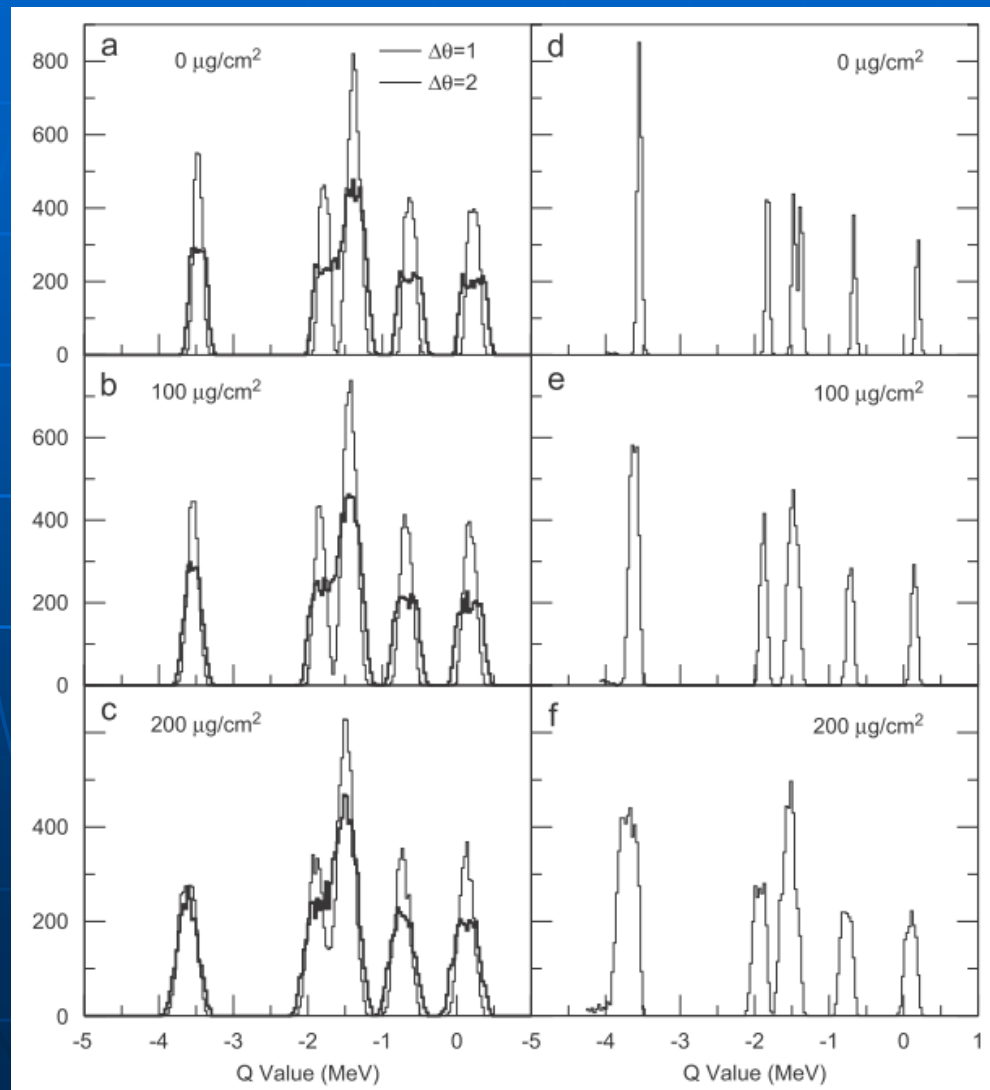
a: proton energy versus angle for $100^\circ < \theta < 175^\circ$

b: proton energy versus z_p for $-30\text{cm} < z_p < 0\text{cm}$

Target-thickness effects are not included.

超导螺线管谱仪

Simulated Q-value spectra for the $^2\text{H}(^{132}\text{Sn},\text{p})^{133}\text{Sn}_{0-5}$ reaction



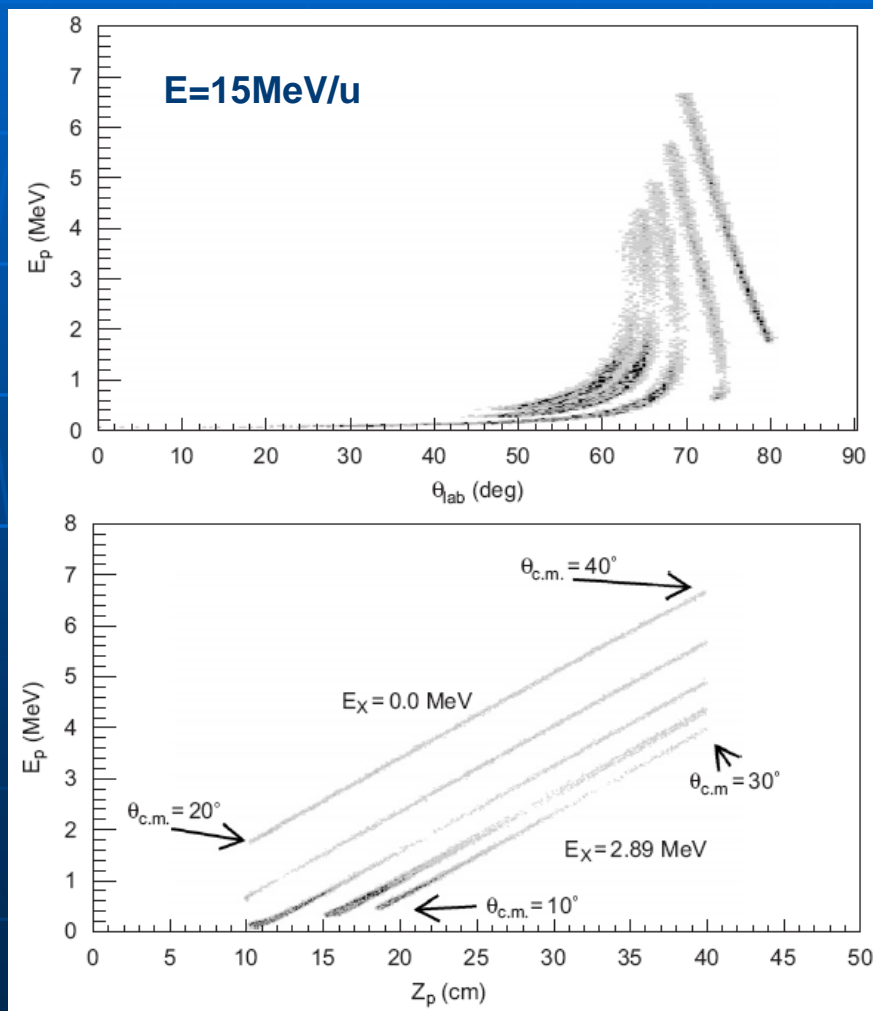
Target-thickness effects

a-c: from energy-angle correlations

d-f: from energy-position correlations

超导螺线管谱仪

Proton energy versus laboratory angle for various states in ^{44}Ti
from $^1\text{H}(^{44}\text{Ti}, p')^{44}\text{Ti}_{0-4}$



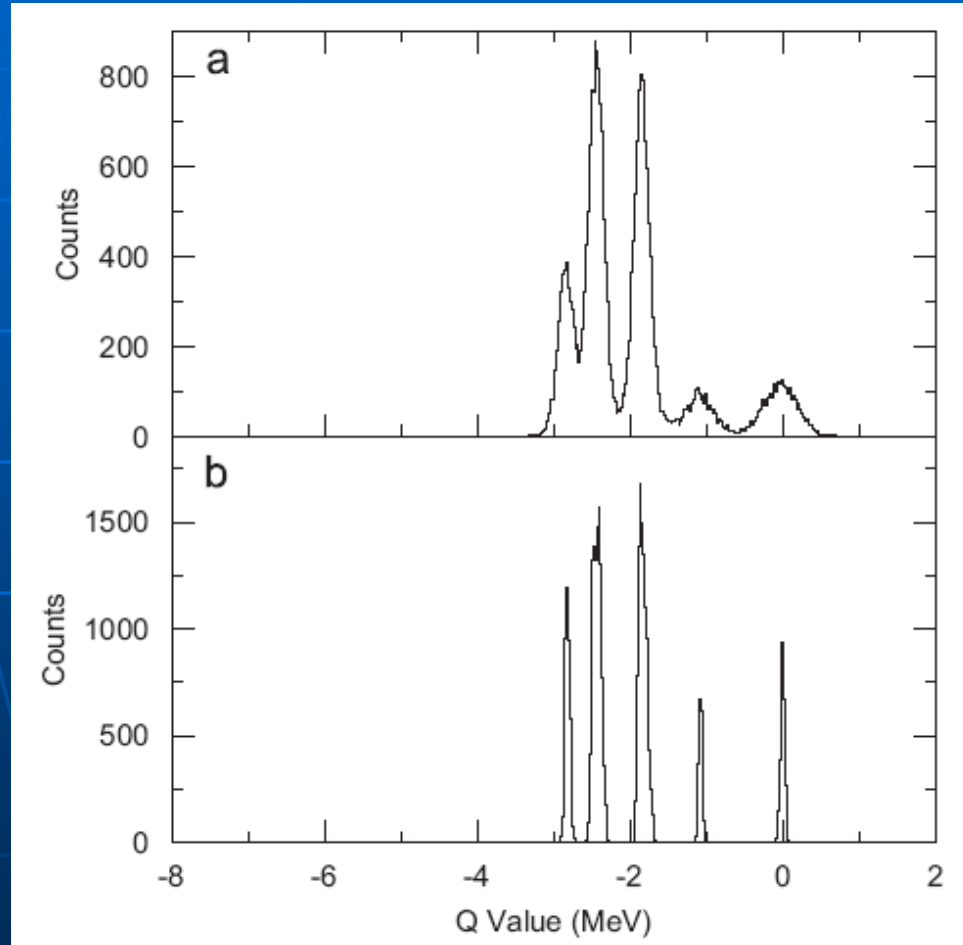
a: 常规探测器, 假设角度分辨1度;

b: 超导谱仪, 假设位置分辨1mm

能量分辨均假设为50keV

超导螺线管谱仪

Simulated Q-value spectra for the $^1\text{H}(^{44}\text{Ti},\text{p}')^{44}\text{Ti}_{0-4}$ reaction



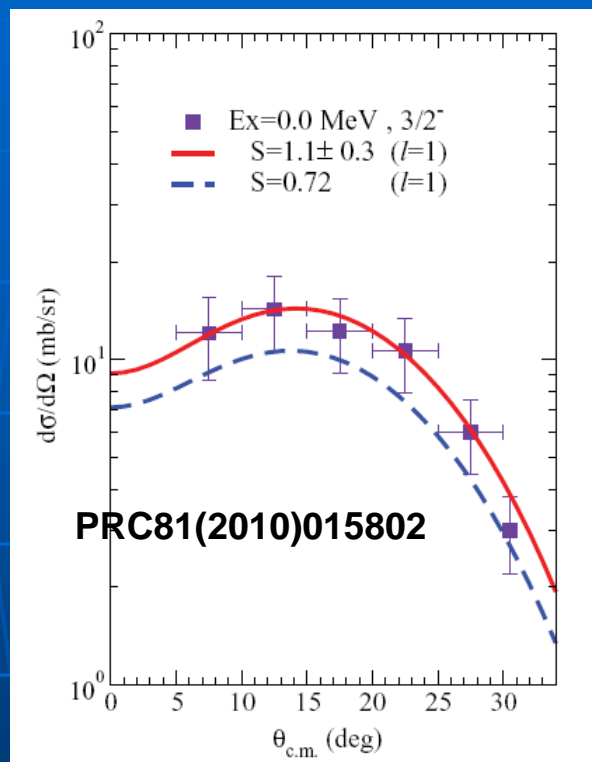
a: proton energy versus angle for $50^\circ < \theta < 80^\circ$

b: proton energy versus z_p for $10\text{cm} < z_p < 40\text{cm}$

Target-thickness effects are not included.

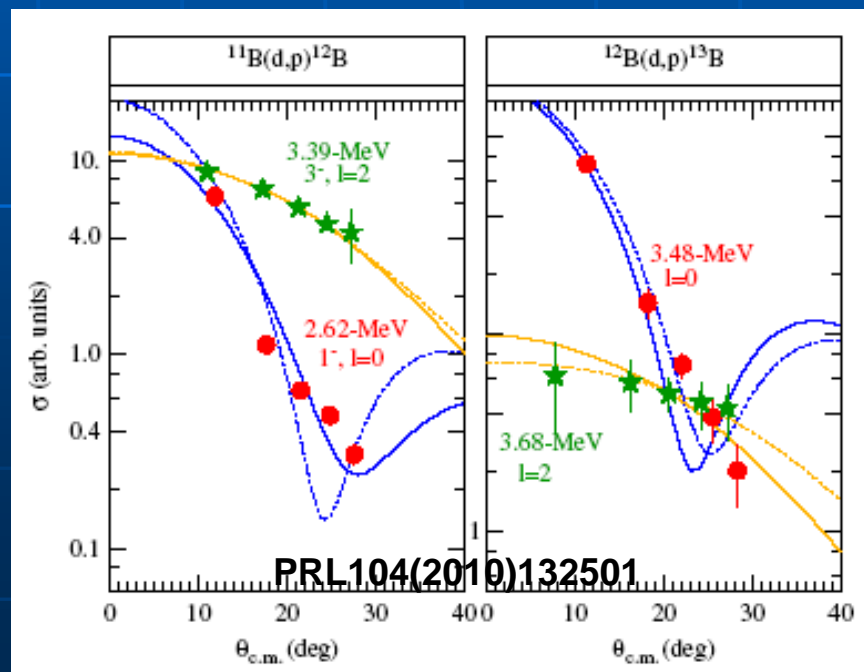
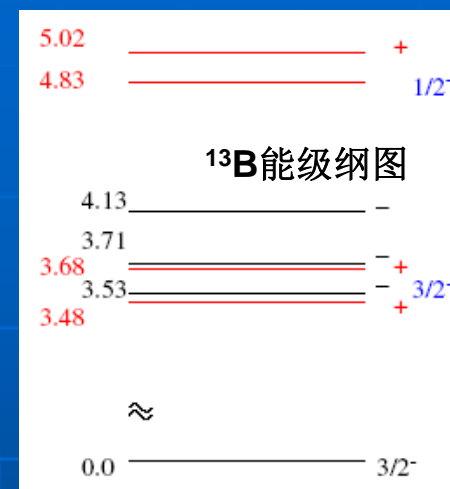
超导螺线管谱仪

应用实例： $^2\text{H}(^{12}\text{B},\text{p})^{13}\text{B}$



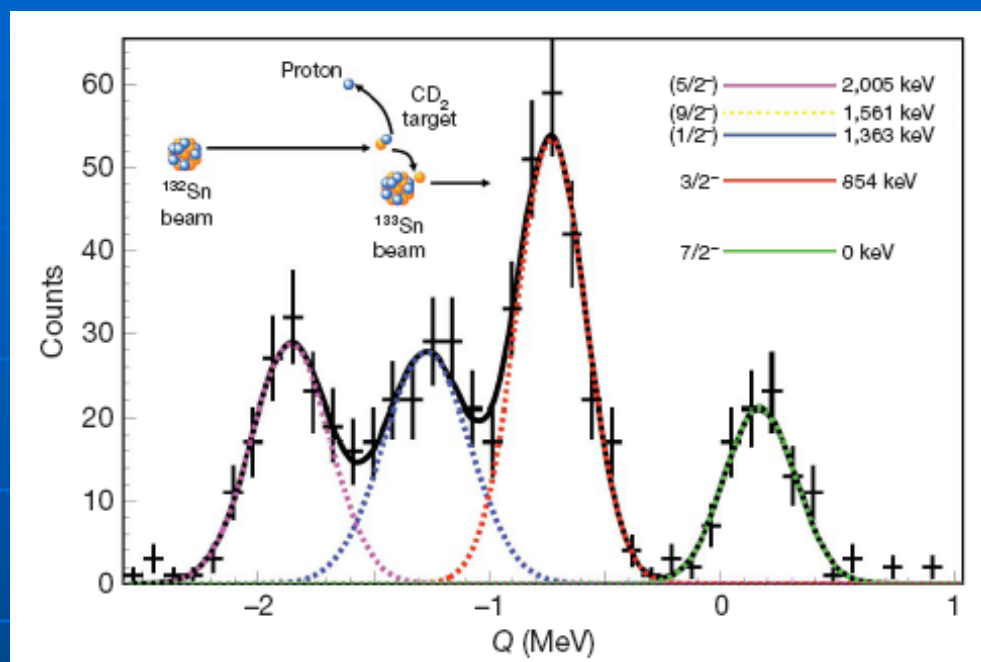
超导螺线管谱仪，不仅测到了3.48和3.68 MeV两个态，而且首次测到了原先NNDC库中没有的两个低激发态2.62和3.39 MeV。

16环探测器，仅测到转移到基态的角分布



超导螺线管谱仪

应用实例： $^2\text{H}(^{132}\text{Sn},\text{p})^{133}\text{Sn}$

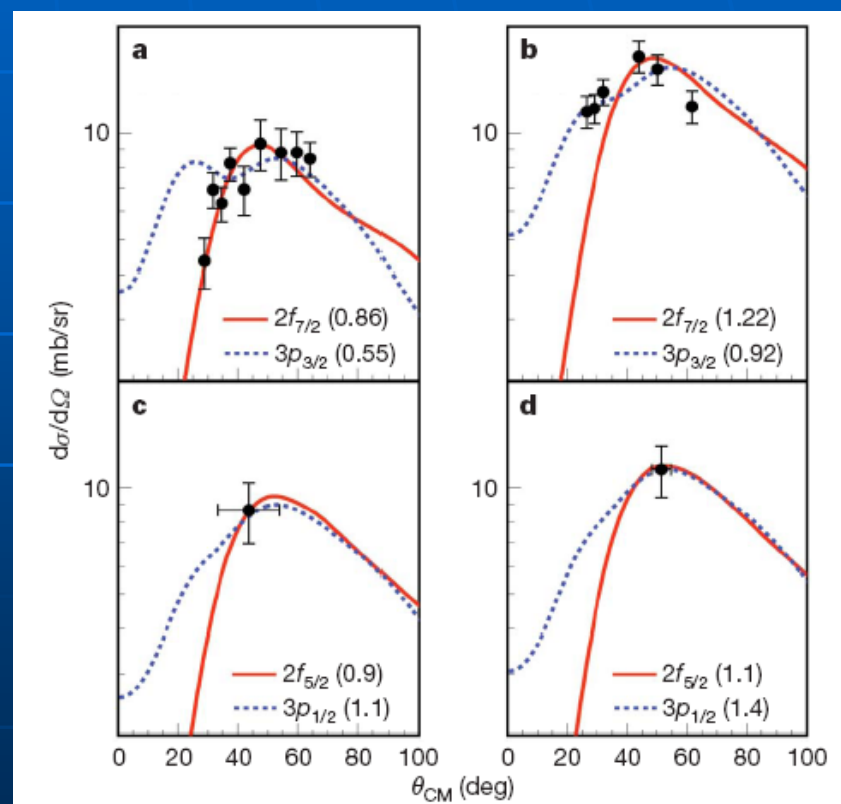


$^2\text{H}(^{132}\text{Sn},\text{p})^{133}\text{Sn}$ 反应Q值谱

没有观测到1.561 MeV态，原因可能有二个：该反应道弱，实验分辨差。

右图，对于前两个态，角分布测到质心系30-70度；对于后两个态，角分布仅测到一个角度的数据。原因：探测器能够覆盖的角度范围有限；激发能越高，出射质子能量越低，探测就越困难。

K.L. Jones et al., Nature 465 (2010) 454.

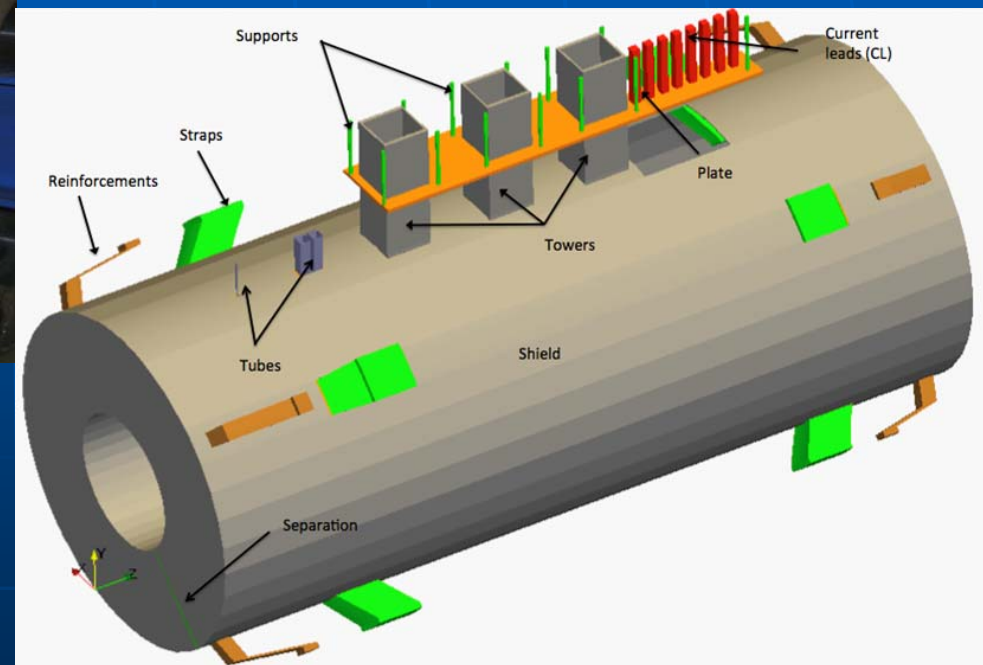


使用超导螺线管谱仪，可以实现角分布的全立体角测量

超导螺线管谱仪

可行性分析：技术难点

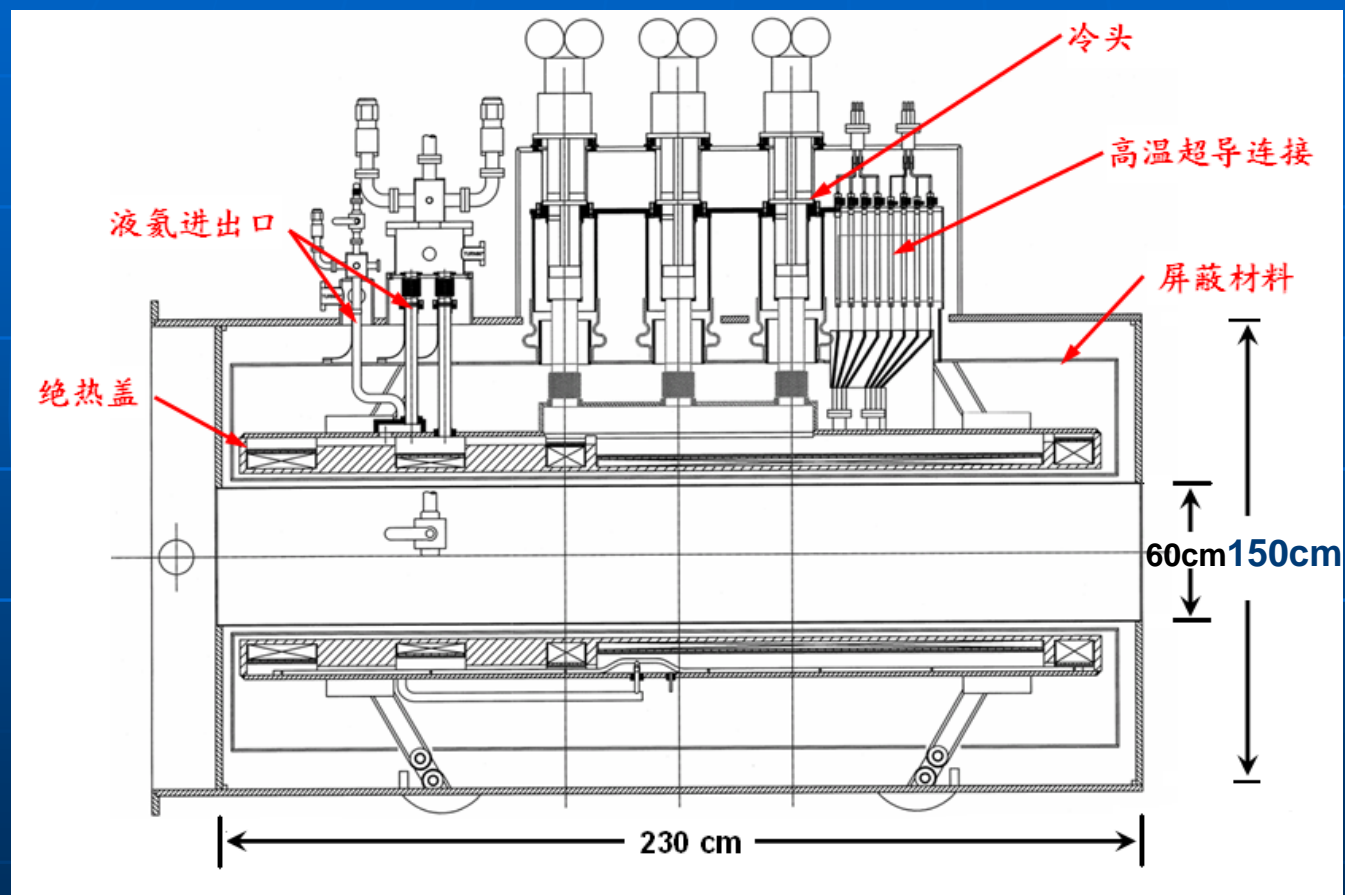
螺线管+探测器阵列
技术成熟，即核磁共振成像仪的主磁铁



University of California , Riverside

超导螺线管谱仪

可行性分析：初步设计



$$B_{\max}=3T$$

螺线管中心区域 (≤ 50 厘米)
场强均匀度要好于1%

超导螺线管谱仪

可行性分析：费用预算

项 目	金额（万）
超导螺线管+液氦冷却系统	650
螺线管电源	50
探测器阵列	70
相关电子学	200
合计	970
另：液氦消耗两月一次	1.4

串列加速器实验终端升级：600万

超导螺线管谱仪

总结

优点：核物理与核天体物理实验的有力工具

- 角度和能量分辨好，是常规探测器的3倍
- 适合能区宽，从每核子几个MeV到几十MeV
- 大立体角测量，能量较低时可以接近全立体角

技术：技术成熟能够实现

- 核磁共振成像仪的主磁铁，成熟商用
- 串列二期，为螺线管提供技术支持

机会：远离稳定线的原子核反应研究

- 可供研究的反应多
- 仅有ANL实验室

Thank you !