

中国原子能科学研究院

# 高压氙正比计数器及其应用研究

---

学科专业： 核技术及应用

姓名： 黄伟

# 一、简介

## 1、探测器的发展



气体探测器

闪烁体探测器



半导体探测器

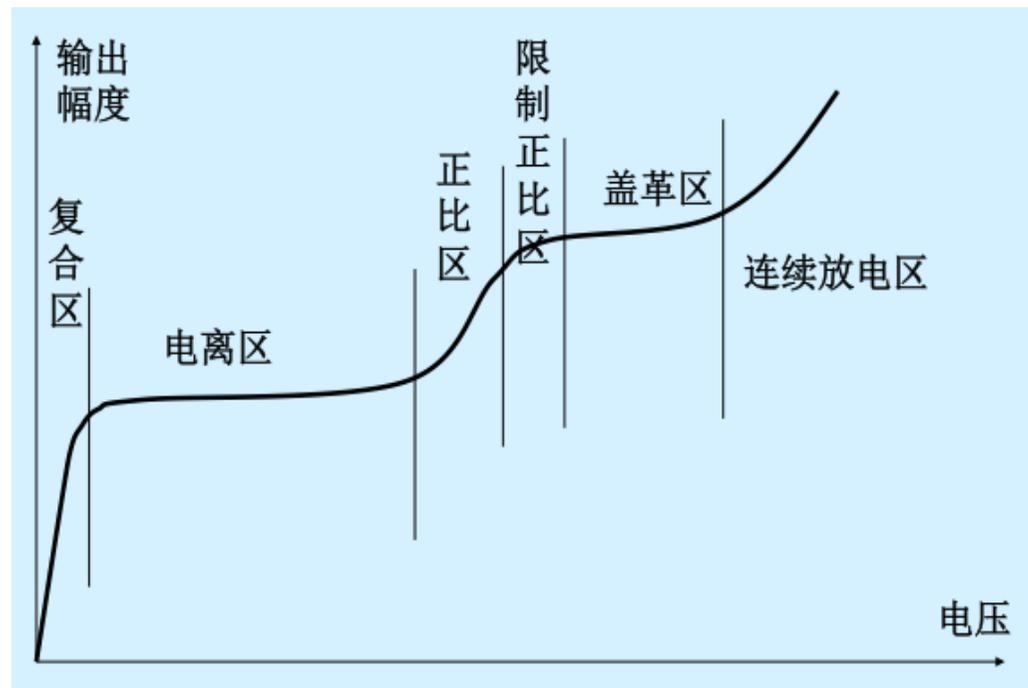
# 一、简介

## 2、正比计数器基本特性

正比计数器是工作在有限正比区的气体探测器。

正比计数器脉冲幅度关系式：

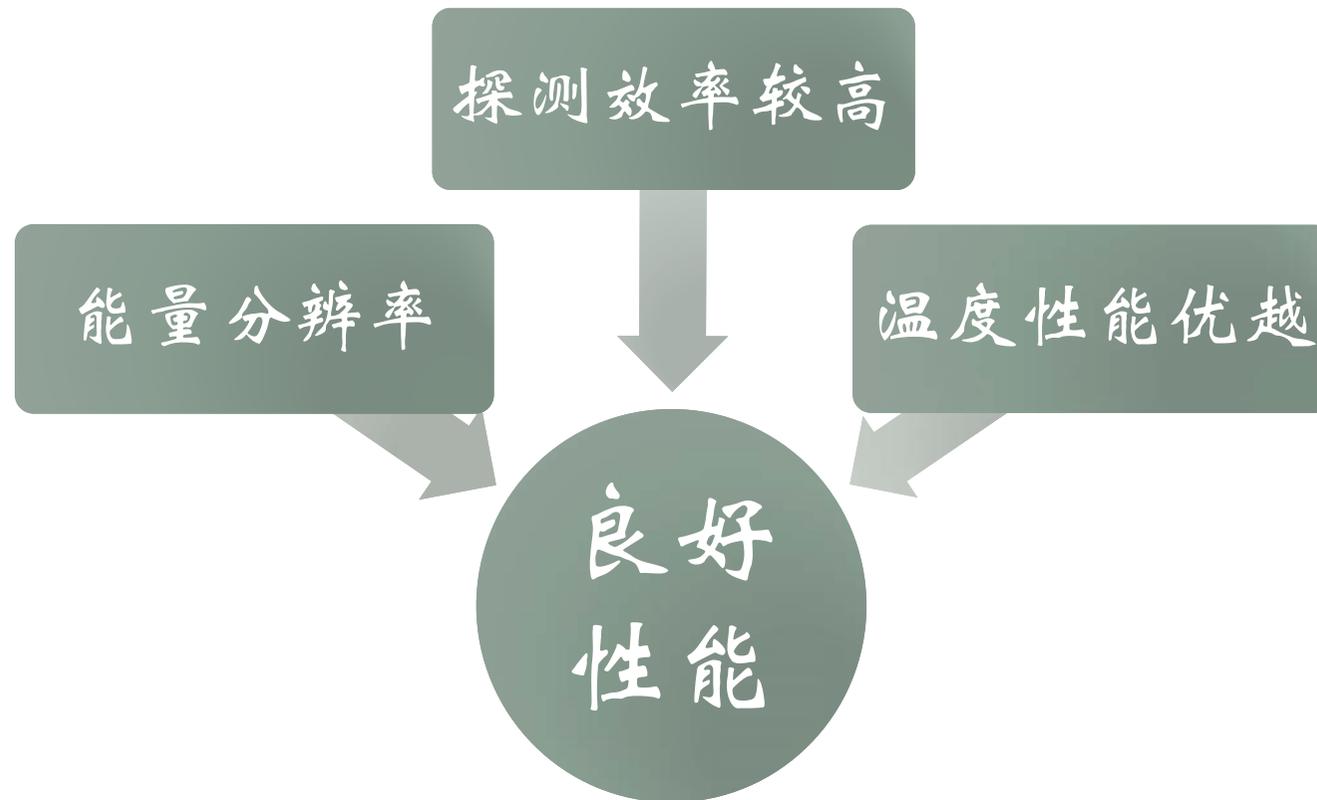
$$V = -MN_0e/c$$



由于存在气体放大效应，广泛的用在低能射线的测量领域。

# 一、简介

## 3. 高压氙正比计数器特点



# 一、简介

氙 (Xe) 何以作为一种理想的探测介质？

能够对所测对象进行能谱测量，需要探测介质具有良好的能量线性。  
研究发现，高压氙探测介质拥有较好的能量线性（见图1）

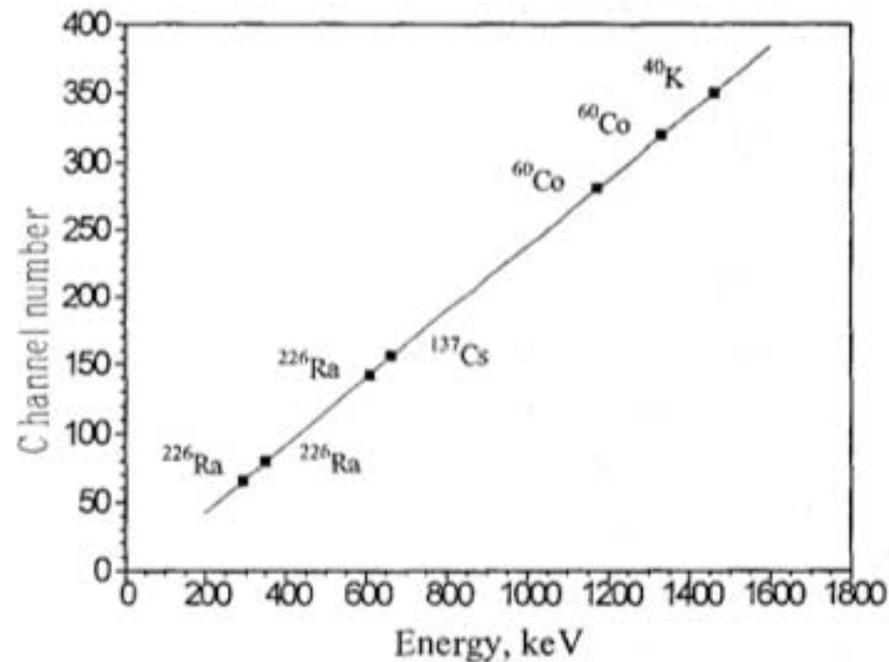


图 1. 高压氙探测器良好的能量线性

# 一、简介

氙部分物理指标：

1、在常温气态介质中，氙元素的原子序数大（ $Z=54$ ），根据量子力学所得的光电截面公式（1）， $\sigma_k$  与  $Z^5$  约成正比关系。氙已是所能应用的原子序数最大的气态元素。

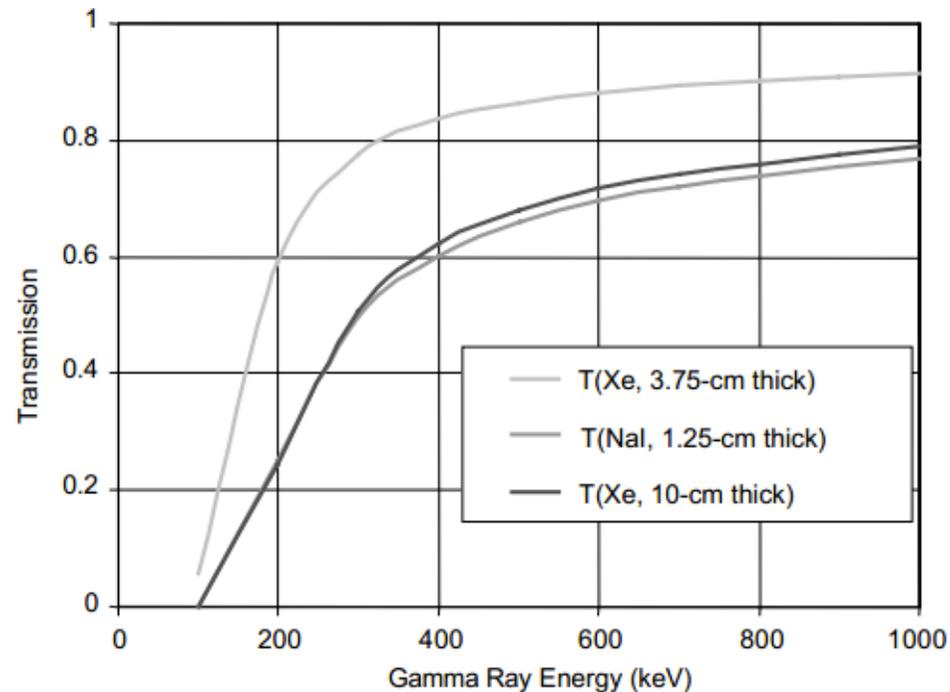
$$\sigma_k \approx Z^5 \left( \frac{1}{h\nu} \right)^{1 \text{ or } 7/2} \quad (1)$$

2、平均电离能低（21.9eV）

3、高压氙的密度大、阻止能力强

# 一、简介

Beddingfield等人实验研究表明：40atm下，对662keV光子的本征探测效率而言，10cm厚的高压氙与1.25cm厚的NaI介质相当（见下图）。



与闪烁体探测器相比，气体探测器可以不受体积的限制，做成更大灵敏体积探测器，来弥补气体介质探测效率偏低的不足。

## 四、高压氙正比计数器的应用

D.H.Beddingfield等人采用美国Mirmar Sensor公司的40atm高压氙探测器所获得的能量分辨率与CdZnTe做比较。(见图3)

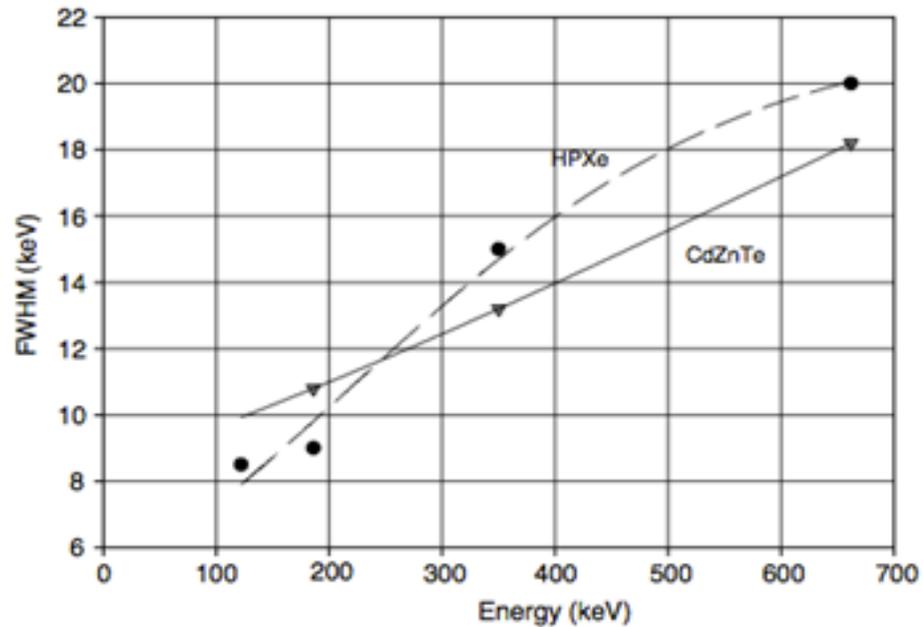
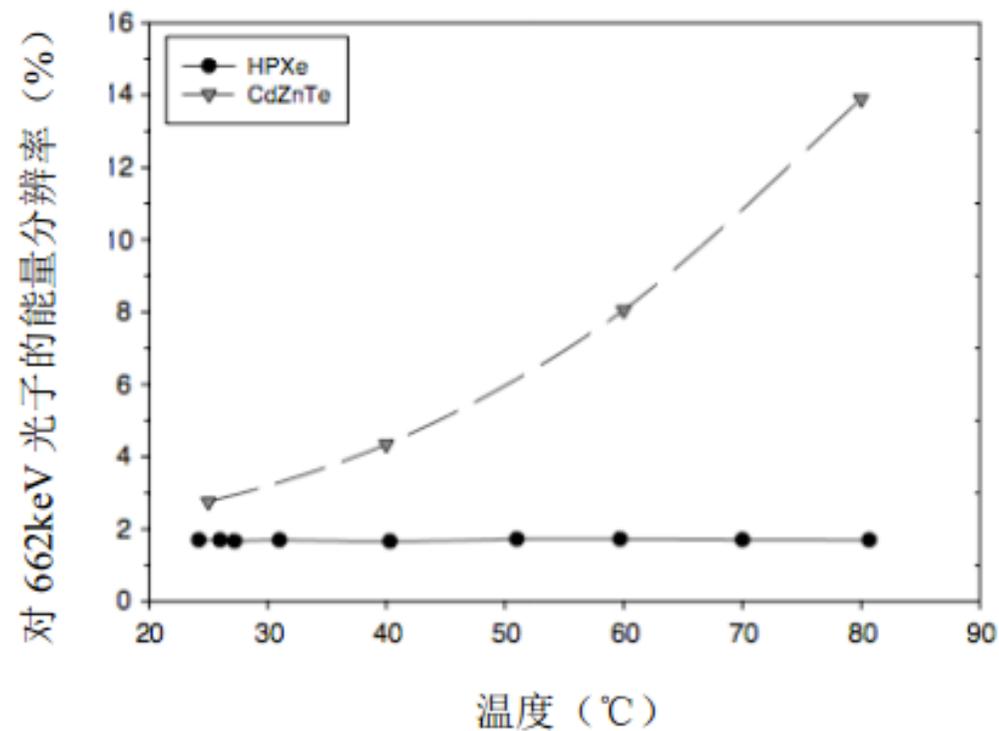


图 3. 高压氙和 CdZnTe 探测器的能量分辨率比较

# 一、简介

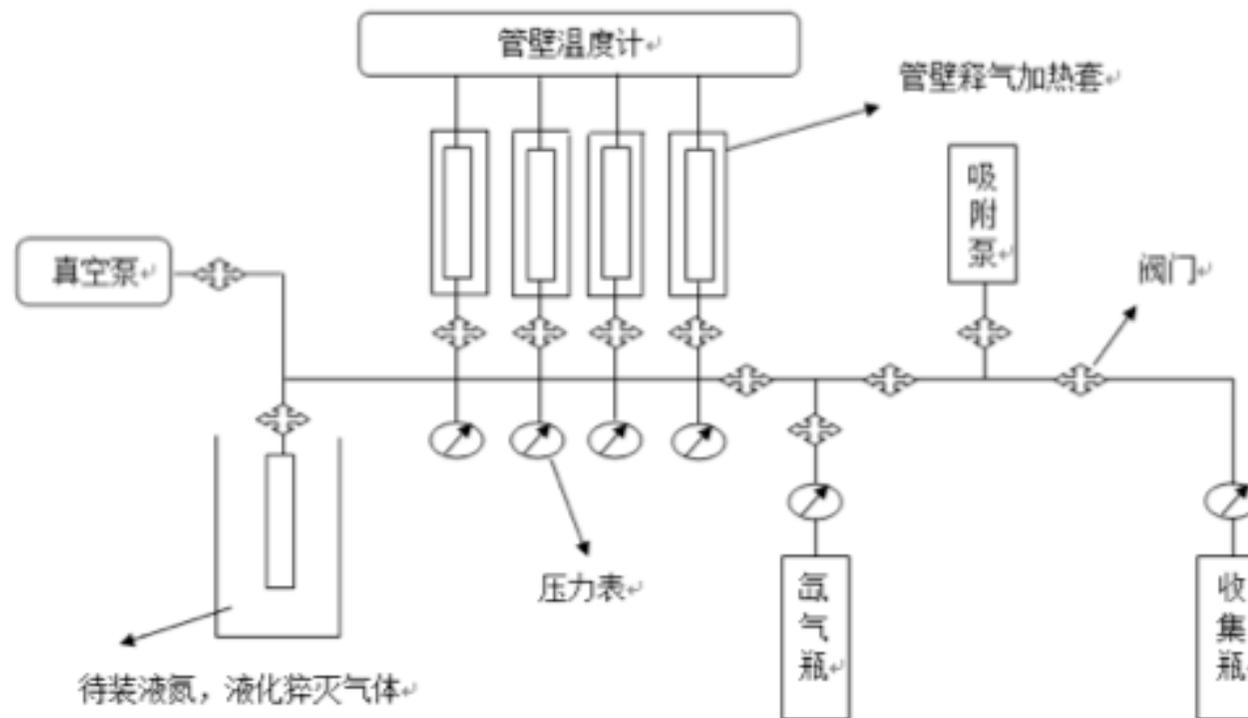
与半导体探测器CdZnTe比较，显示了高压氙探测器在温度特性上明显的优势。



除此以外，高压氙探测器有优于闪烁体探测器和半导体探测器的抗辐照性能。

## 二、高压氙正比计数器的设计装配

在制备圆柱型高压氙探测器时，结构设计和制备工艺可参考安继刚等人（安继刚，卿上玉，邬海峰，充气电离室[M]，北京：原子能出版社，1997：53-75。）的著作，包括绝缘子封装、管壁与接头、电极等焊接、检漏等。



左图是目前采用的气体净化和注入系统。

配备有真空系统、多种传感控制器，可实现抽真空，压力控制，混合气体冲灌等多用途。

## 二、高压氩正比计数器的设计装配

- 壁厚承压估算：（参数可参考GB-150）

$$\delta = \frac{p_c D_i}{2[\sigma]^t \varphi - p_c}$$

按照最大承压 $P_c=1.5\text{MPa}$ 来设计，筒径 $D_i=32\text{mm}$ ，单面氩弧焊，焊接系数设为0.8，最小壁厚约为0.23mm。

实际制作中，统一制成壁厚0.5mm圆柱型不锈钢容器。

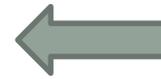
## 二、高压氦正比计数器的设计装配

左图为数显真空泵系列装置

右图为加热释气、冷却、冲灌装置组



## 二、高压氙正比计数器的设计装配



两只圆柱型高压氙裸管  
未安装接头及抛光

右图：成品气体探测器（N型头）



## 二、高压氙正比计数器的设计装配

高压氙探测器能量分辨率得到保证，需要高纯的氙气气源。

B.D. Ramsey等人的研究表明，高压氙正比计数器中，电子在传输过程中的损失遵循如下经验公式：

$$dn = -\left(\frac{nhup}{\lambda v}\right)dx$$

$n$ 为电子数， $dx$ 为传输距离， $h$ 为复合因子， $u$ 为瞬发电子漂移速度， $\lambda$ 为光电子平均自由程， $v$ 为气体中电子漂移速度， $p$ 为负电性杂质比例。

## 二、高压氙正比计数器的设计装配

气体探测器中常用的猝灭气体有 $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{C}_3\text{H}_8$ 。

P.C. AGRAWAL等人提出使用氙气—丙烷混合气体，当充入5%的丙烷时，不仅可以使5.9keV处能量分辨率达到14%，还能降低探测器工作电压。

R.K.MANCHANDA等人在设计超高压氙气正比计数器时还是选用了 $\text{CH}_4$ ，使其工作电压降低20%，且有优于 $\text{CO}_2$ 的能量分辨能力。

在高压氙探测器的实际设计中，我们可以选择加入2%的 $\text{CH}_4$ 作为猝灭气体来代替 $\text{CO}_2$ ，去探寻对能量分辨的改善程度。

### 三、高压氙正比计数器的性能评价

- 我们实验室目前研制了两种几何规格的高压氙正比计数器：
- $\Phi 25.4\text{mm} \times 130\text{mm}$
- $\Phi 32\text{mm} \times 235\text{mm}$

对**Am-241**同位素伽马源进行能量分辨率测试（见表1）

表 1. 不同规格高压氙正比计数器相关指标和性能

	几何规格/mm*mm	充气压	工作电压范围	59.5keV 处最佳能量分辨率
1	$\Phi 25.4 \times 130$	4atm	2200V-2600V	7.8%
2	$\Phi 32 \times 235$	3.5atm	2100V-2500V	6.3%
3		7atm	3000V-3500V	10.2%
NaI	$\Phi 127 \times 63.5$			9.4%

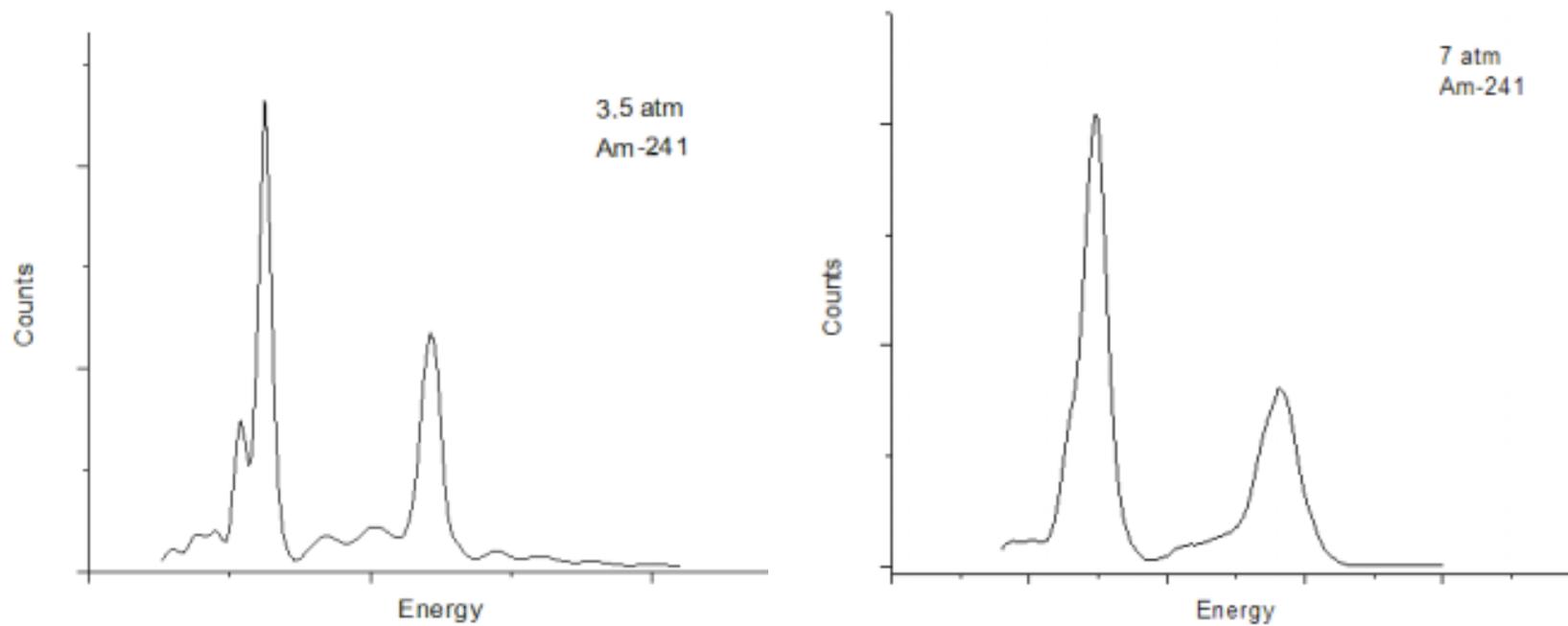
### 三、高压氙正比计数器的性能评价

下图为测量使用的NIM插件系统，我们对ORTEC142型前放进行了耐压改进



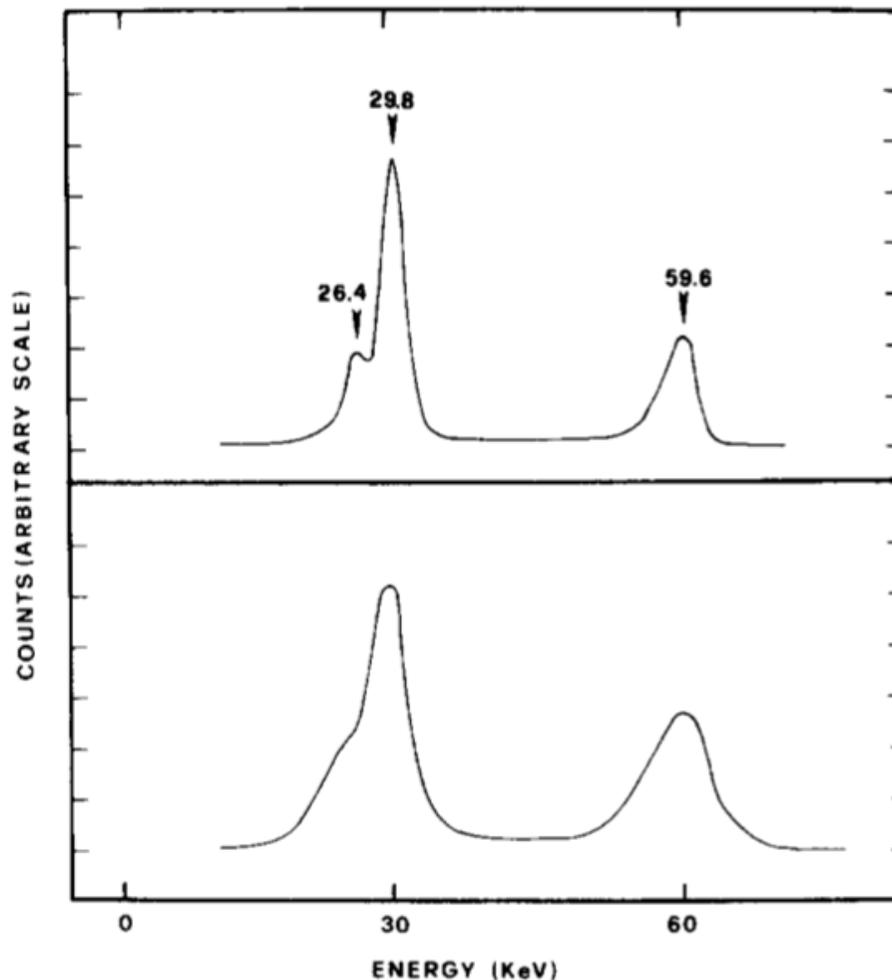
### 三、高压氙正比计数器的性能评价

对3.5atm和7atm两支管所测的Am-241幅度谱（如下图）



### 三、高压氙正比计数器的性能评价

高压线正比计数器所测幅度谱的能量刻度：



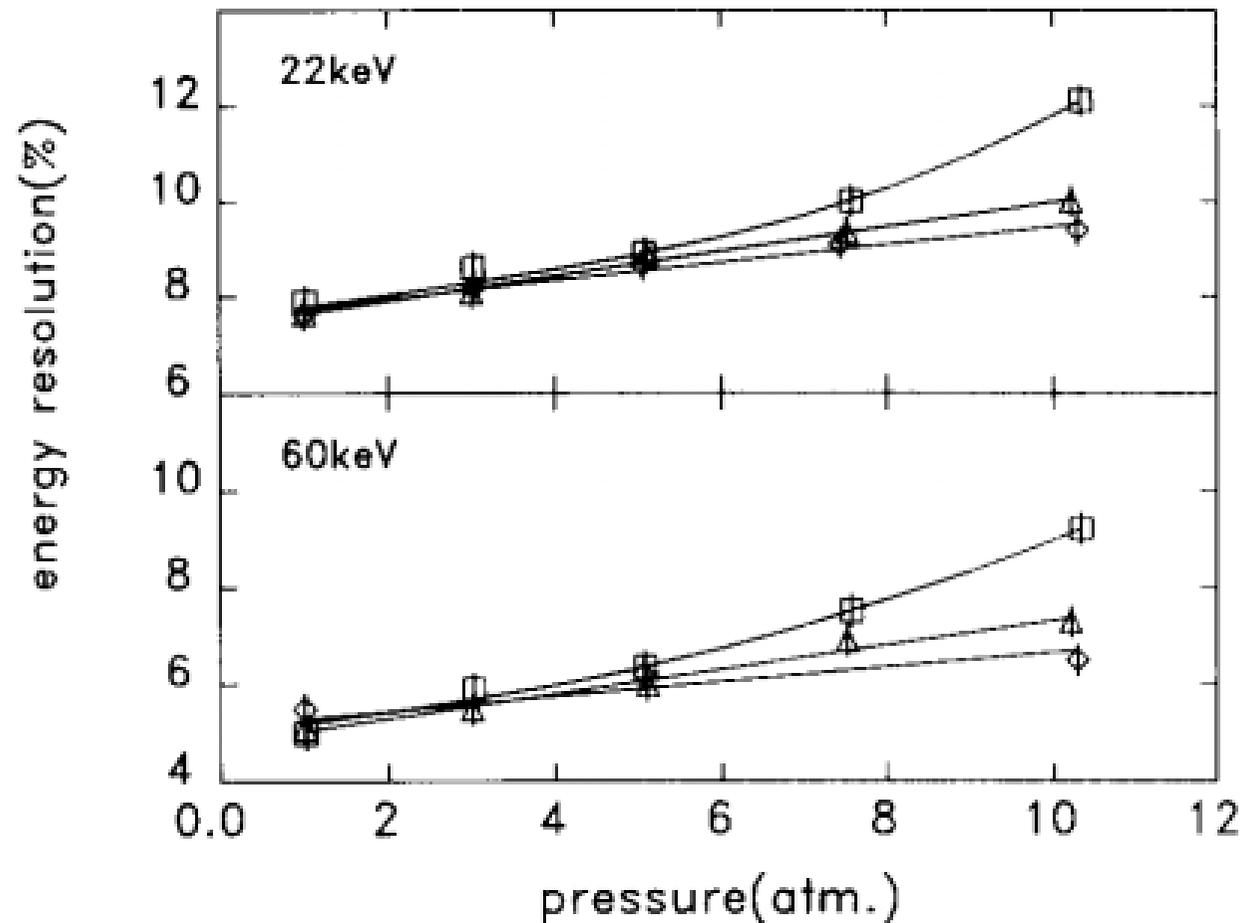
可参考意大利A.Bazzano等人的工作，利用单一镅源进行刻度。

幅度谱前段高峰与Xe的K $\alpha$ 逃逸峰有关（29.8keV）；矮峰是Am-241的26.4keV特征谱线。（左图）

也可利用 $^{109}\text{Cd}$ 的88keV特征伽马谱线或 $^{57}\text{Co}$ 的122keV谱线进行刻度。

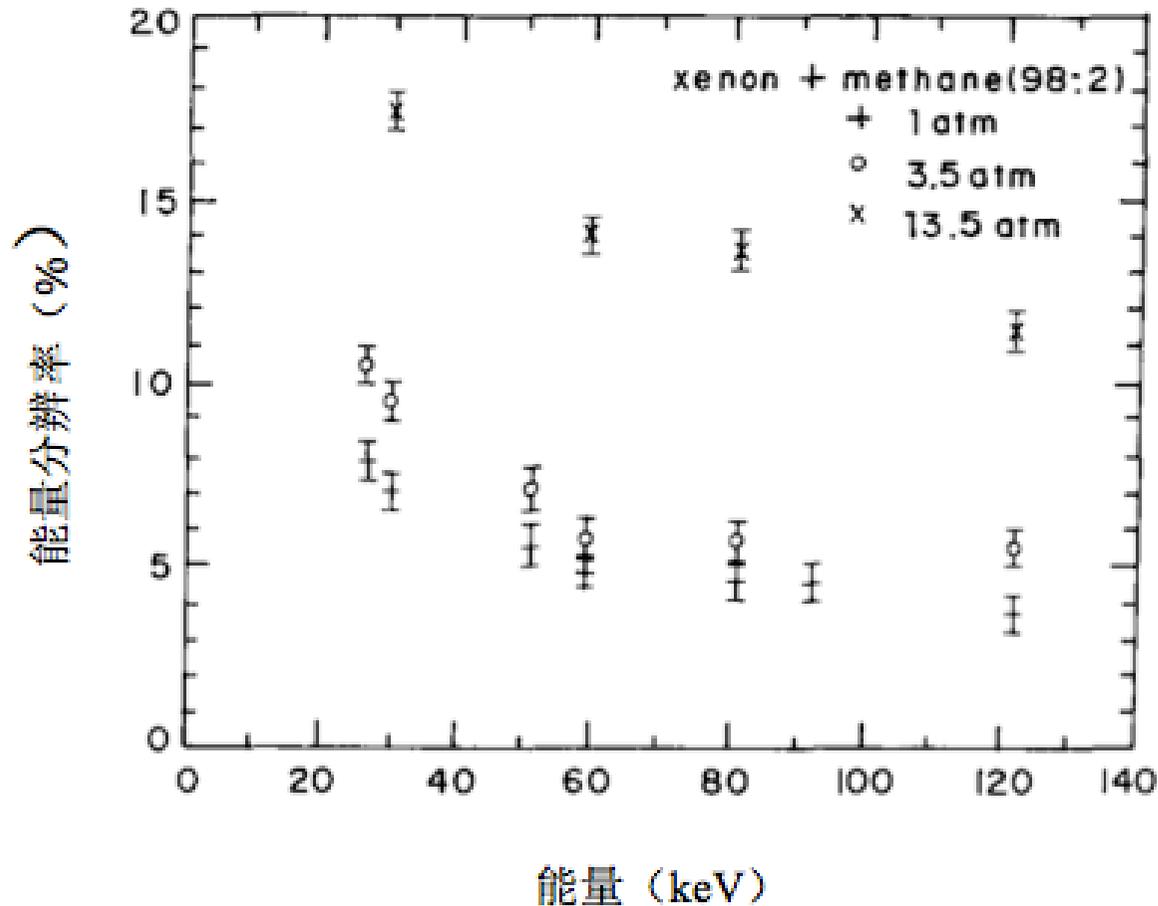
### 三、高压氙正比计数器的性能评价

H.Sakurai等人研制的不超过10atm圆柱型高压氙正比计数器，其能量分辨性能如下图。

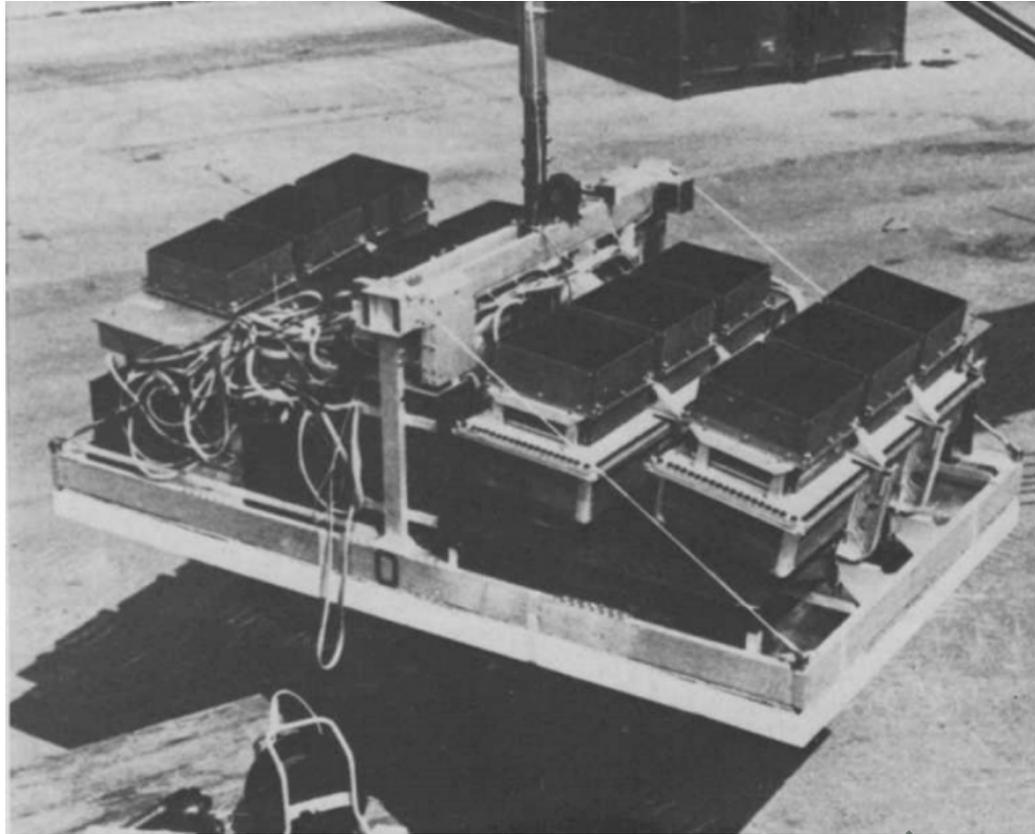


### 三、高压氙正比计数器的性能评价

R.K.Sood 等人在他们发表的论文中，对多个不同气压的正比管进行了对照实验（见下图）



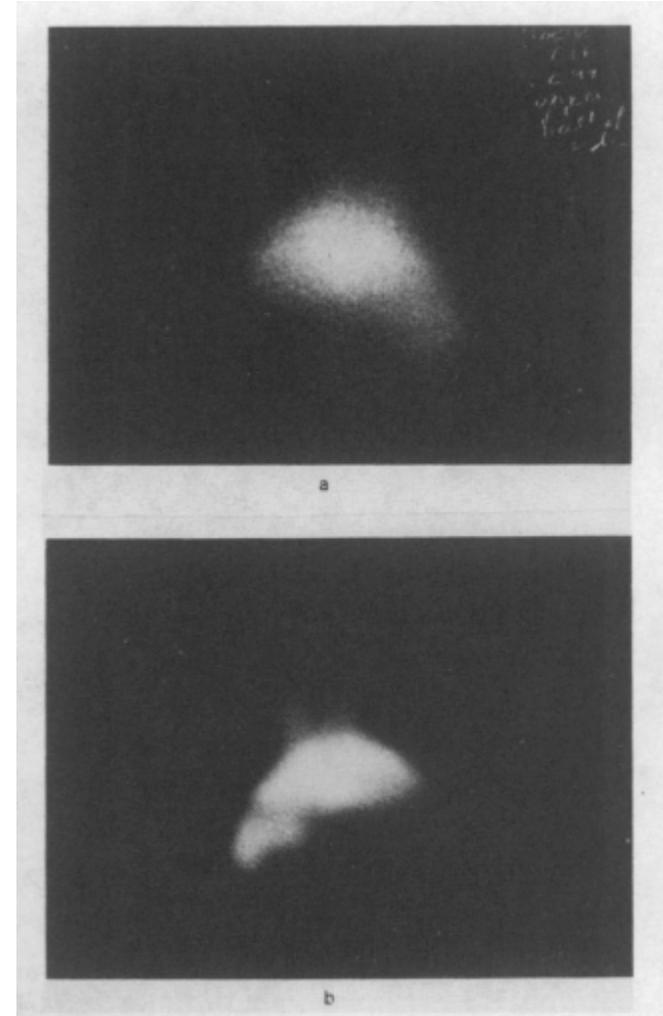
## 四、高压氙正比计数器的应用



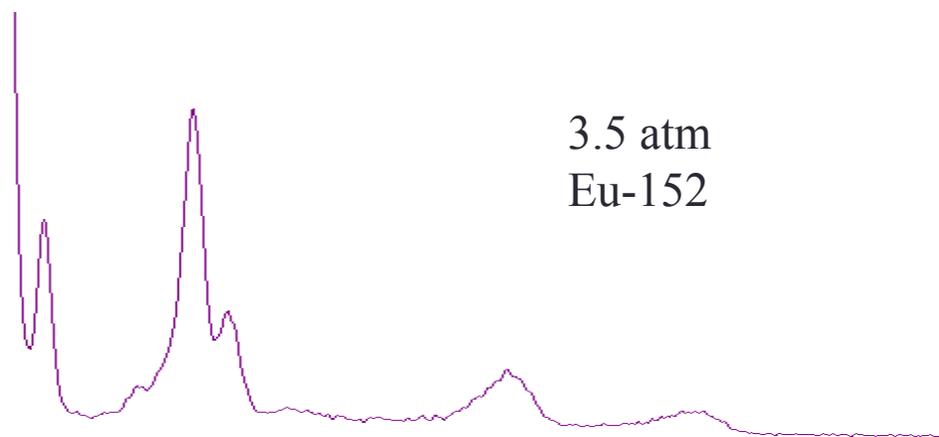
卫星搭载，用于探测低能X射线



用于测量兔子肝脾成像

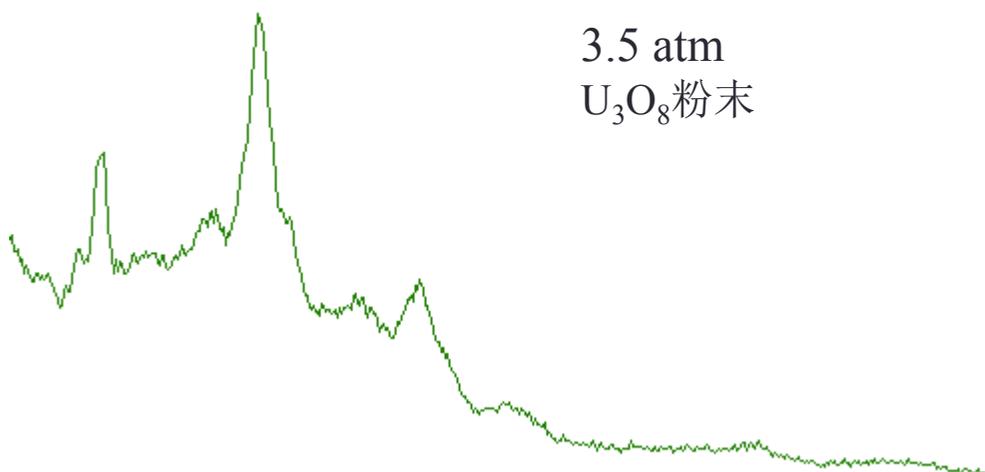


## 四、高压氙正比计数器的应用



规格为 $\Phi 32*235\text{mm}$ 的HPXe PC  
对Eu-152、 $\text{U}_3\text{O}_8$ 粉末进行测量

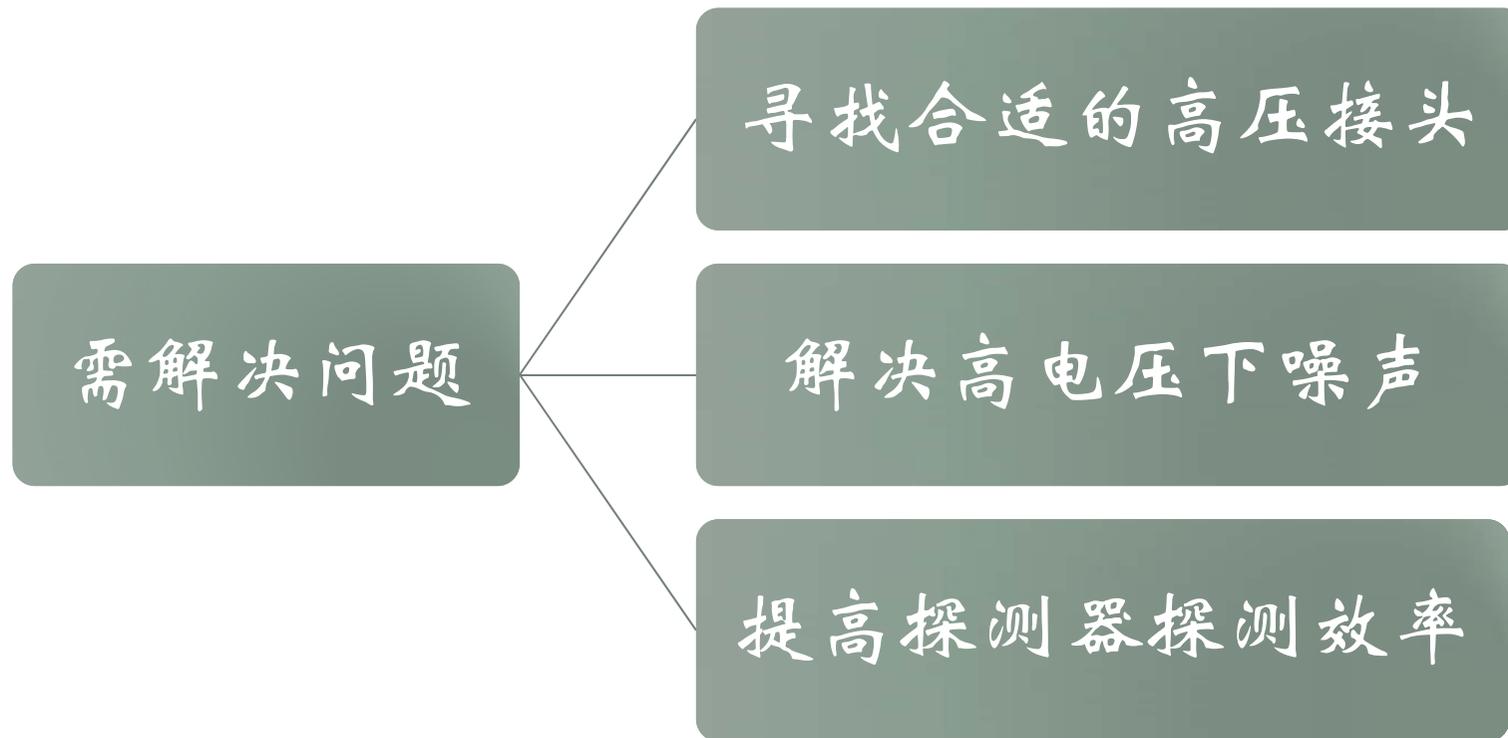
推测最高可测得120keV能量光子，  
100keV以下能段效率较高



## 五、总结与亟待解决的问题

- 高压氙正比计数器能够在某些条件下替换HPGe、NaI、CdZnTe等，在中能X射线及低能 $\gamma$ 射线探测领域的应用前景广阔。国际上对高压氙探测器的探究和研制工作已持续了30多年，近些年国内也开始了研发工作。
- 因为其在应用领域的出色性能，以及氙气纯化技术和气体探测器成熟的制备工艺，使得高压氙正比计数器在内高压氙气探测器和相关电子学得到迅猛发展。

## 五、总结与亟待解决的问题



## 五、总结与亟待解决的问题

### 下一步工作

1

- 提高高压氙正比计数器阻止本领

2

- 超高压正比管及变换介质组分

3

- 降噪、提高能量分辨率

中国原子能科学研究院

## 高压氙正比计数器及其应用研究

---

谢谢各位专家老师，

请提出您宝贵意见和建议！