

# 实验D6 alpha能损

签名:

## 【实验目的】

1. 了解核辐射安全以及防护
2. 了解金硅面 $\alpha$ 谱仪的工作原理及其特性;
3. 通过测量分析两种 $\alpha$ 放射源 $^{241}\text{Am}$ 和 $^{239}\text{Pu}$ 的能谱形状 (如: 作能量刻度、求能峰和能量分辨率), 掌握基本的 $\alpha$ 射线能谱的测量方法和能量刻度定标方法;
4. 通过利用 $\alpha$ 粒子测量箔膜的厚度; 了解天然射性 $\alpha$ 粒子与物质的相互作用过程;
5. 通过观察和数据处理, 理解随机性在微观世界的普遍存在, 以及统计方法的实验意义。

## 【仪器用具】

## 【实验原理】

### $\alpha$ 衰变

原子核衰变时放出氦核, 衰变形成的原子核有不同的能级, 衰变至激发态原子核后, 再放出不同频率的 $\gamma$ 光子。

### 衰金硅面垒半导体探测器的基本原理

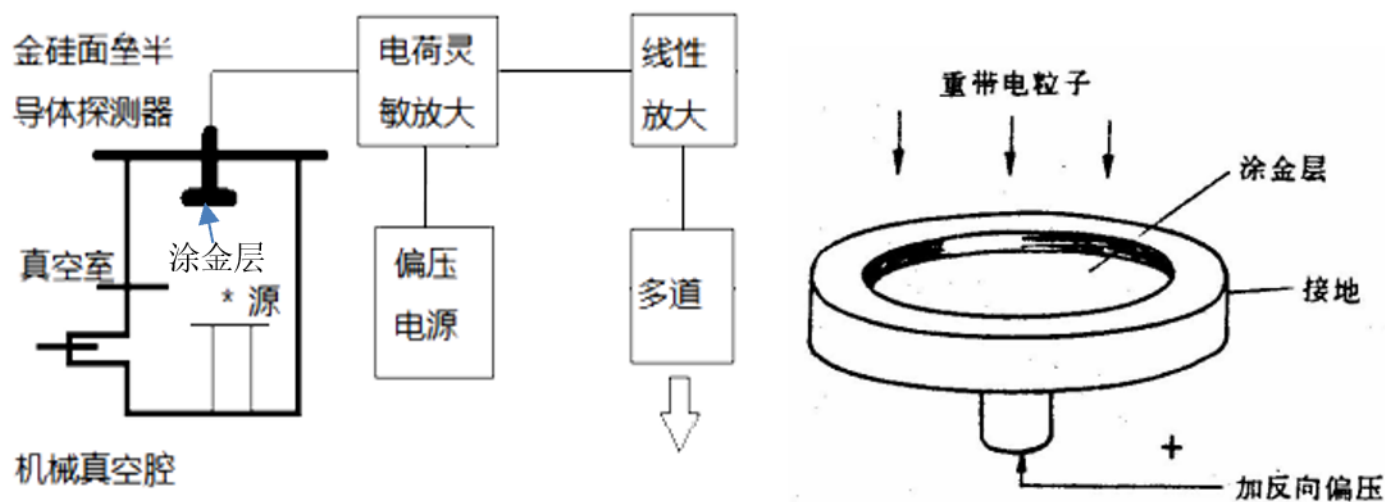


图 D6-2 金硅面垒半导体探测器结构图及金硅面垒的反向偏压

金硅面垒探测器作为PN结型半导体探测器的一种，是用一片N型硅，蒸上一层薄金层（100 -200 埃），接近金膜的那一层硅具有P型硅的特性，这种方式形成的PN结靠近表面层，结区即为探测粒子的灵敏区。金硅面垒探测器工作时加反向偏压，粒子在灵敏区内损失能量转变为与其能量成正比的电脉冲信号，经放大并由多道分析器测量脉冲信号按幅度的分别，从而给出带电粒子的能谱。偏置放大器的作用是当多道分析器的道数不够用时，利用它切割，展宽脉冲宽度，以利于脉冲幅度的精确分析。为了提高谱仪的能量分辨率，探测器最好放在真空室中。另外金硅面垒探测器一般具有光敏的特性，在使用过程中，应有光屏蔽措施。

## α谱仪的能量刻度和能量分辨率

用已知能量的α粒子源，测出该能量在多道分析器上所对应的谱峰位道址，作能量对应道址的刻度曲线，获得能量刻度

α谱仪的能量分辨率用能谱的半高宽度FWHM表示，表征了能谱仪分开不同能量粒子的本领。FWHM是谱线最大计数一半处的宽度，以道数表示，还可由谱仪的能量刻度常数转换为能量 $\Delta E$ ，以keV表示。在实用中，谱仪的能量分辨率还用能量展宽的相对百分比表示，即 $\eta = \Delta E/E$

## α粒子的能量损失

α粒子与原子核之间发生卢瑟福散射的几率很小，它与物质的相互作用主要是与核外电子的相互作用。α粒子与电子碰撞，将使原子电离、激发而损失其能量。在一次碰撞中，由于其质量较大，α粒子只有一小部分能量转移给电子，当它通过吸收体后，经过多次碰撞才会损失较多能量。每次碰撞基本不发生偏转，因而它通过物质的射程几乎接近直线。

带点粒子在吸收体内单位长度的能量损失率，称为线性阻止本领S:

$$S = -\frac{dE}{dx}$$

把S除以吸收体单位体积内的原子数N，称为阻止截面，它与粒子的能量E有关，用 $\Sigma(E)$ 表示

$$\Sigma(E) = -\frac{1}{N} \frac{dE}{dx}$$

对非相对论性 $\alpha$ 粒子 ( $v \ll c$ )，线性阻止本领用下面式子表示：

$$S = \frac{4\pi z^2 e^4 N Z}{m_0 v^2} \ln \frac{2m_0 v^2}{I}$$

上式中的z为入射粒子的电荷数，Z吸收体的原子序数，e为电子的电荷，v为入射粒子的速度，N为单位体积内的原子数。I是吸收体中的原子的平均激发能。由于对数项随能量的变化是缓慢的，因此可近似表示为：

$$S \propto \frac{\text{const}}{E}$$

当 $\alpha$ 粒子穿过厚度为 $\Delta x$ 的薄吸收体后，能量由 $E_1$ 变为 $E_2$ ，可写成

$$\Delta E = E_1 - E_2 = S_{\frac{E_1+E_2}{2}} \Delta x$$

则薄膜厚度为

$$\Delta x = \frac{\Delta E}{S_{\frac{E_1+E_2}{2}}} \approx \frac{\Delta E}{S_{E_1}}$$

当 $\alpha$ 粒子能量损失比较小时，可以用上式来计算厚度，当薄膜比较厚时， $\alpha$ 粒子能量在通过薄膜后损失很大，就应该用下式计算

$$\Delta x = \int_{E_2}^{E_1} \frac{dE}{(-dE/dx)_E} \approx \Sigma_{E_1}^{E_2} \frac{\delta E}{S_{E_1}}$$

一般来说 $\alpha$ 粒子能量在1keV-10MeV之间时，在铝膜中的阻止截面可由以下经验公式确定：

$$\Sigma(E) = \frac{A_1 E^{A_2} \left\{ \frac{A_3}{E/1000} \ln \left[ 1 + \frac{A_4}{E/1000} + \frac{A_5 E}{1000} \right] \right\}}{A_1 E^{A_2} + \frac{A_3}{E/1000} \ln \left[ 1 + \frac{A_4}{E/1000} + \frac{A_5 E}{1000} \right]}$$

式中 $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5$ 为常数，见下表D6-2， $\alpha$ 粒子能量 $E$ 以keV为单位，得到的 $\Sigma_e$ 以 $eV/1015 \text{ atom} \cdot \text{cm}^2$ 为单位。对于化合物，它的阻止本领可由布拉格相加规则，将化合物的各组成成分的阻止本领 $(dE/dx)_i$ 相加得到，即

$$\left( \frac{dE}{dx} \right)_c = \frac{1}{A_c} \sum Y_i A_i \left( \frac{dE}{dx} \right)_i (\text{KeV} / \mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2})$$

其中 $Y_i$ 、 $A_i$ 分别为化合物分子中的第 $i$ 种原子数目、原子量， $A_c$ （等于 $\sum_i Y_i A_i$ ）是化合物的分子量。利用已知的阻止截面，通过 $\alpha$ 粒子在铝膜中能量损失的测量，可以快速无损的测定薄膜的厚度， $\alpha$ 粒子的能量可用多道分析器测量，峰位可按最简单的重心法得到。

## 【实验步骤】

### 1. 观察探测的随机性和多道的使用练习。

探测器高压调至调整100V，放射源使用 $^{241}\text{Am}$ ，

(1) 多道先不设置，记录能谱测量时间为3s，30s，300s时的能谱图，

(2) 用归一化能谱将3个能谱有区分地绘制在同一张图中。

(3) 按照说明书第五章，求解能谱的能量分辨率。

(4) 练习使用多道分析仪。打开多道分析仪V2.7，设置多道分析器的，“设置”->“道数”变更为“8192”，采集峰位计数为100时的能谱图，比较不同道数（1024道和8192道）测量能谱，分析能谱参数差异（能量分辨率、峰位计数率、半高全宽等）。

### 2. 寻找探测器的最佳工作电压。

将多道分析器的道数调回1024，测量不同偏压下（20V至130V）的 $\alpha$ 粒子( $^{241}\text{Am}$ 放射源)的能谱

（要求峰位计数为400左右），绘制不同偏压下的能量分辨率曲线和峰位曲线，进而确定探测器的工作偏压（判断标准：能量分辨率最好，峰位尽量高的探测器工作条件）。

### 3. 对探测器进行能量刻度

将探测器调至选好的最佳工作电压，测量 $^{241}\text{Am}$ 放射源（5.486MeV）以及 $^{239}\text{Pu}$ （5.155MeV）的能谱，对能量刻度定标（要求峰位计数为400左右）。

### 4. 利用 $\alpha$ 粒子能损测量箔和膜的厚度（要求峰位计数为400左右）。

测量 $^{241}\text{Am}$ 的 $\alpha$ 粒子通过铝箔及Mylar薄膜后的能谱，并计算出其阻止本领和薄膜厚度。已知碳、氢、氧的原子密度分别为： $N(C) = 1.136 \times 10^{23} \text{ atom} \cdot \text{cm}^{-3}$ ,  $N(H) = 5.376 \times$

$$1023 \text{ atm} \cdot \text{cm}^{-3}, N(\text{O}) = 5.367 \times 1023 \text{ atm} \cdot \text{cm}^{-3}.$$

$$\text{质量密度为 } \rho_c = 2.267 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}, \rho_H = 8.998 \times 10^{-5} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}, \rho_O = 0.001428 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}.$$

## 【预习思考题】

1.  $^{64}\text{Cu}$  可以发生  $\alpha$  粒子衰变吗？为什么呢？

$^{64}\text{Cu}$  不能发生  $\alpha$  粒子衰变，因为  $^{60}_{27}\text{Co}$  的质量加上氦核的质量大于  $^{64}\text{Cu}$  的质量。

2. (选) 预测同一个放射源测得的能谱峰位值的随偏压的变化趋势，为什么？

3. 简述探测器能谱标定的方法以及能量分辨率的计算方法。

用已知能量的  $\alpha$  粒子，测出该能量在多道分析器上所对应的谱峰位道址进行标定。

$\alpha$  谱仪的能量分辨率用能谱的半高宽度 FWHM 表示，表征了能谱仪分开不同能量粒子的本领。

FWHM 是谱线最大计数一半处的宽度，

4. 预估使用  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$  两种放射源能测量的铝箔和 mylar 膜的厚度大约在什么量级（请用  $\text{g}/\text{cm}^2$  表示箔（膜）的厚度）；为何在计算化合物的截止本领时，只需考虑化合物所含的元素及比例，而无需考虑元素的结合方式（化学键）？

厚度大约在  $10^{-6} \text{ g}/\text{cm}^2$  量级

因为  $\alpha$  粒子与电子发生作用主要是与电子发生碰撞使得原子电离，与化学键无关。

5. (选) 实验过程中，若金硅面垒探测器的样品腔不抽真空，会对能量谱产生怎样的影响？

$\alpha$  粒子电离能力强，会与空气分子碰撞，导致能量谱不会出现计数。

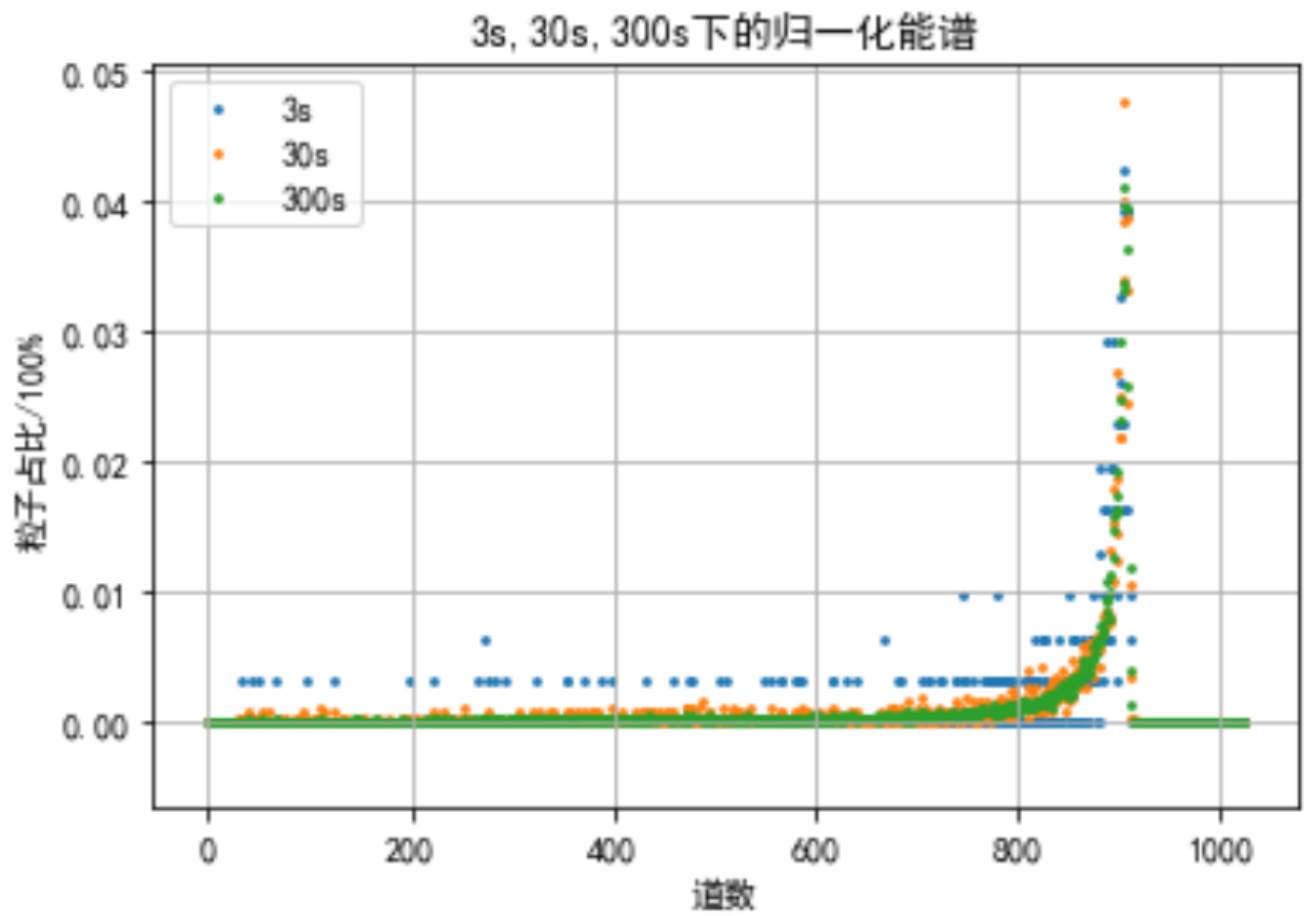
6. 实验前确定探测器最佳工作条件的原理是什么？

改变偏压使得能量分辨率最好，峰位尽量高。

## 【实验数据处理】

### 1. 观察探测的随机性和多道的使用练习

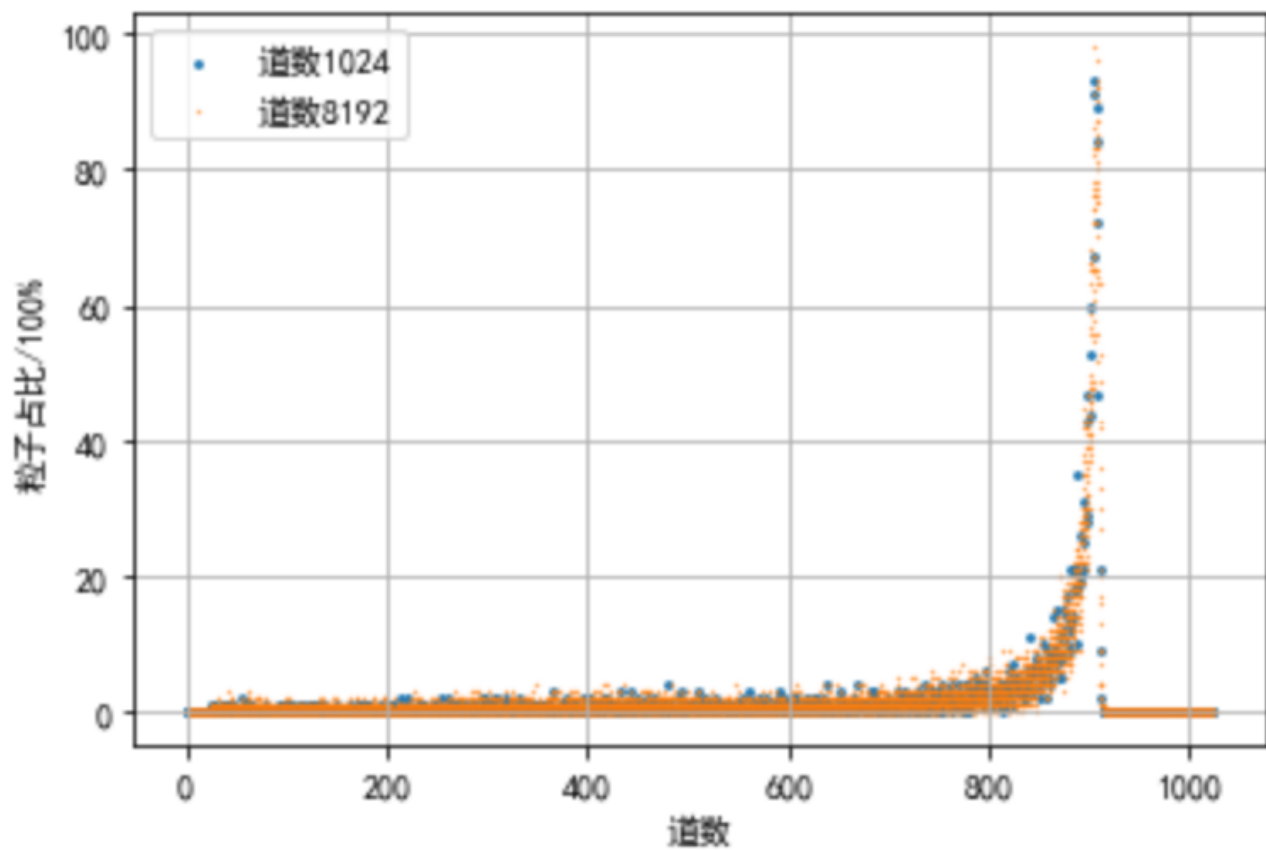
3s, 30s, 300s 测量时间下测量能谱图，归一化后如图所示



寻峰后，可得各时间下能谱的分辨率为

能谱测量时间	能谱分辨率
3s	1.19%
30s	1.18%
300s	1.18%

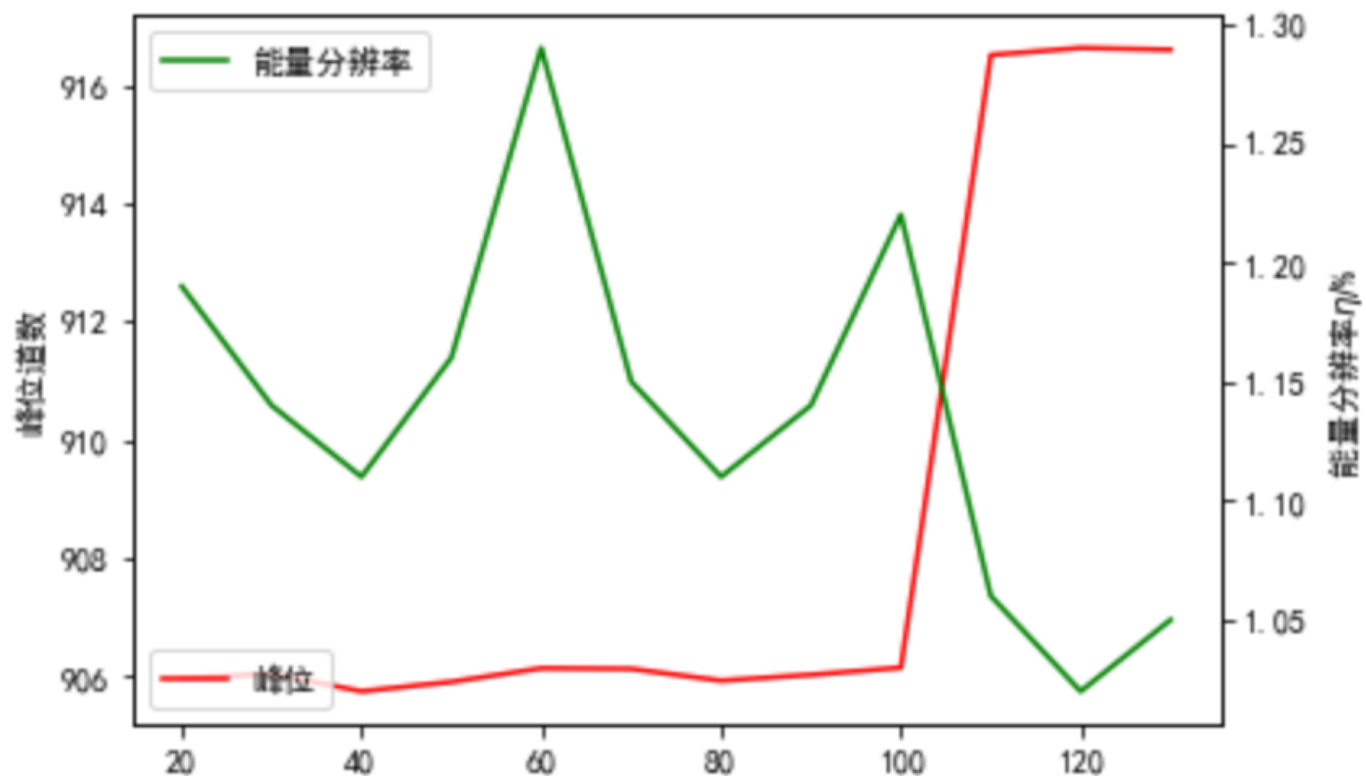
1024道和8192道下的能谱如图



	能量分辨率	半高全宽	峰位计数率
1024道	1.40%	13.75	4.07%
8192道	1.57%	123.36	1.10%

## 2.寻找最佳工作电压

将偏置电压从30V加到130V，记下各电压下的峰位道数和能量分辨率如图所示



可见偏置电压为120V时峰位最高，能量分辨率最好。

### 3.对探测器进行能量刻度

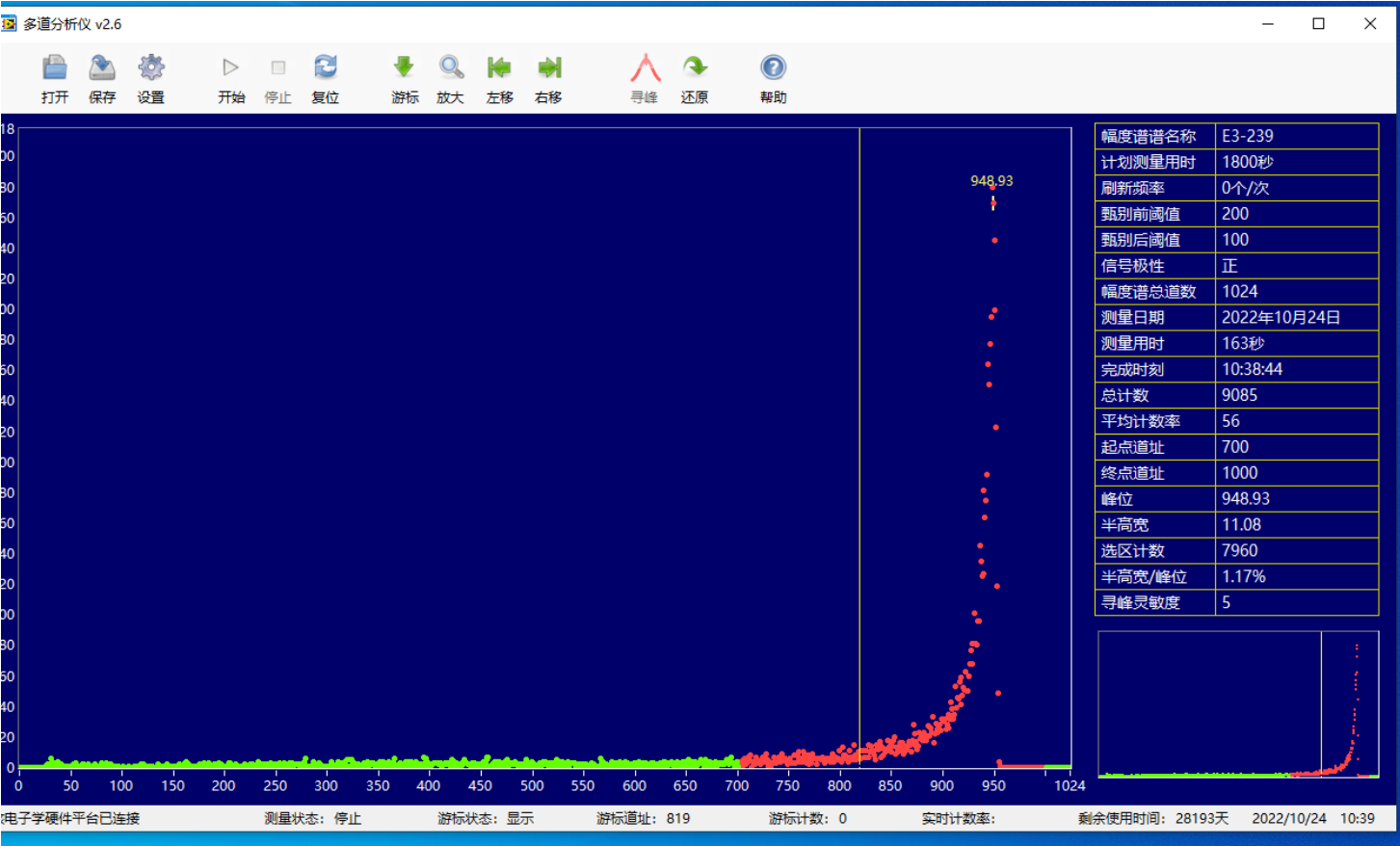
更换不同放射源测得， $^{241}\text{Am}$ (5.486MeV)的峰位道数为1007.97， $^{239}\text{Pu}$ (2.1155)的峰位道数为948.93。可得

$$G = \frac{5.486 - 5.1155}{1007.97 - 948.93} = 6.275 \cdot 10^{-3} \text{ MeV}$$

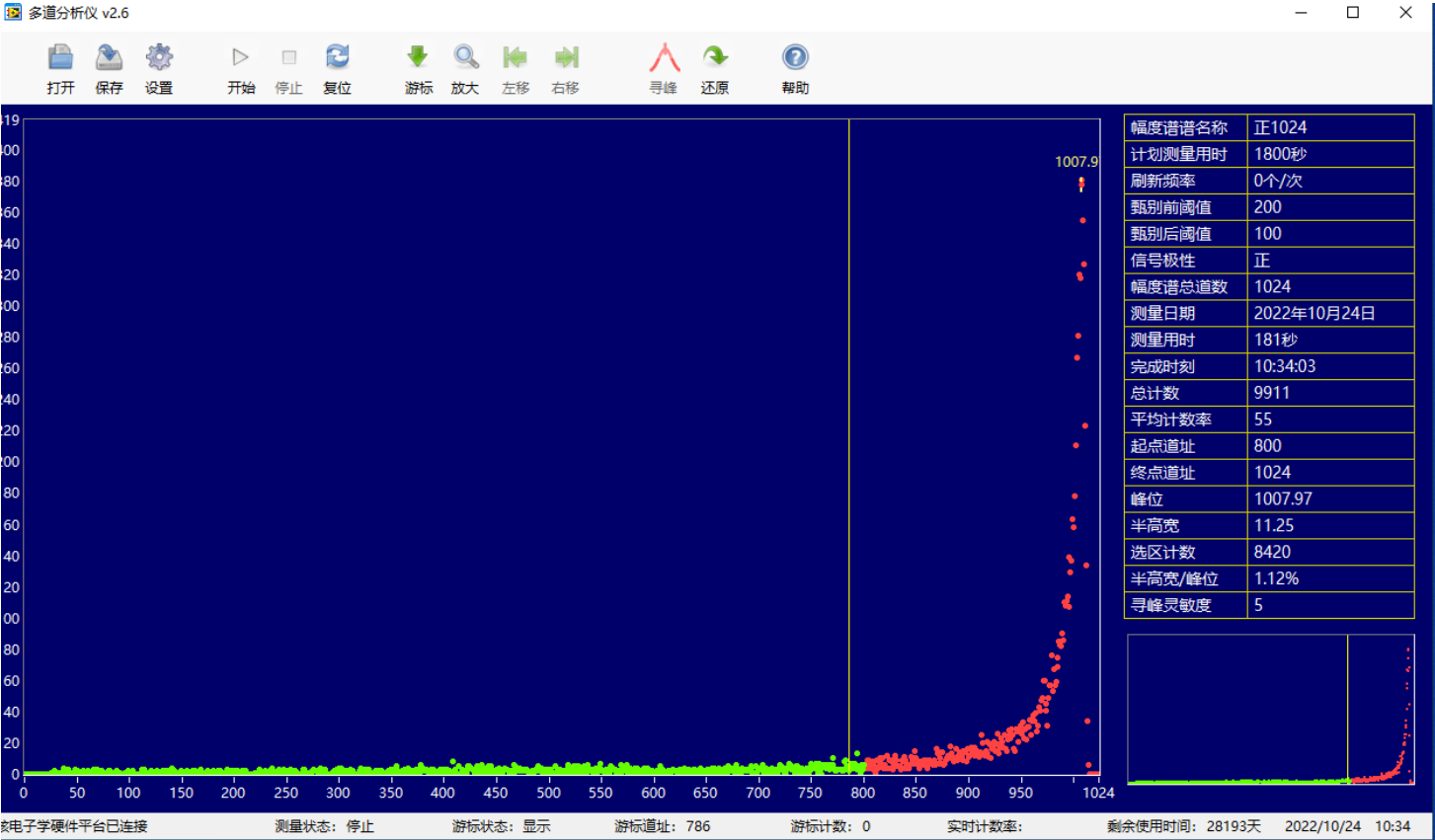
$$E_0 = 5.486 - 6.275 \cdot 10^{-3} \cdot 1007.97 = -0.839 \text{ MeV}$$

$$E = G \cdot d + E_0 = 6.275 \cdot 10^{-3} d + -0.839 \text{ MeV}$$





$^{239}\text{Pu}$ 能量谱



$^{241}\text{Am}$ 能量谱

4.利用α粒子能损测量箔和膜的厚度

	峰位	$\Delta E$	阻止本领	薄膜厚度
Al膜	611.86	1.647MeV	1540.8MeV/cm	10.69 $\mu m$
Mylar膜	754.61	0.751MeV	8131MeV/cm	0.924 $\mu m$