

伽马探测报告

☐ 学生签名

☐ 教师签名（由于和alpha能损是同一个实验室，所以签名到一起）

实验D6 alpha能损

签名:

杨斯莉

青霞指马样 24/10.

【实验目的】

伽马探测报告

【概述】

γ 射线是一种高能光子。实验通过对核衰变放射光子测量，了解通过物理相互作用将光子的能量转多个荧光光子，并通过光电倍增管测量荧光光子数，转变为可测量的电信号，从而进一步理解光子能谱与光谱的异同。

γ 涉嫌事波长短于 0.2\AA 。呈电中性。

实验目的

1. 测定 γ 谱仪的能量分辨率以及能量线性；
2. 测定已知源的 γ 能谱，并作能谱分析；
3. 随机数据处理；

【实验原理】

伽马射线与物质的相互作用

光电效应

m_0 为电子静止质量， m_0c^2 为静止能量。

当能量 E_γ 的入射 γ 光子与物质中原子的束缚电子相互作用时，光子可以把全部能量转移给某个束缚电子，使电子脱离原子束缚而发射出去，光子本身消失，发射出去的电子称为光电子，这种过程称为光电效应。发射出光电子的动能

$$E_e = E_\gamma - B_i$$

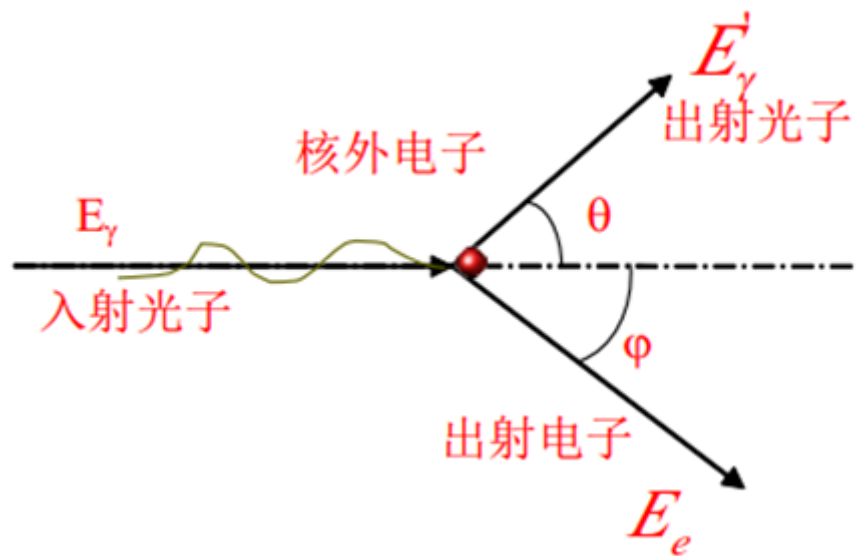
其中， B_i 为束缚电子所在壳层的结合能，这里内部的电子脱离束缚壳层，此时原子被激发，外部壳层的电子会填补进刚刚脱离的电子形成的空位并放出特征X射线。 γ 射线与物质原子发生光电效应的反应截面 $b \propto Z^5, b \propto E_\gamma^{-7/2}$. 从而我们知道：

- 重元素的光电效应反应截面大于轻元素
- 低能伽马射线比高能发生光电效应的反应截面更大
- 当伽马射线能量低至接近电子结合能， $E_\gamma \sim B_i$ ，反应截面最大

康普顿效应

γ 光子与自由静止的电子发生碰撞，而将一部分能量转移给电子，使电子成为反冲电子， γ 光子被散射改变了原来的能量和方向。计算给出反冲电子的动能为

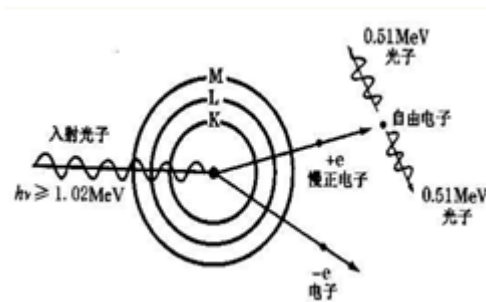
$$E_e = \frac{E_\gamma^2(1 - \cos \theta)}{m_0c^2 + E_\gamma(1 - \cos \theta)} = \frac{E_\gamma}{1 + \frac{m_0c^2}{E_\gamma(1 - \cos \theta)}}$$



可见当 $\theta = 180^\circ$ 时，反冲电子动能取最大 E_m ，为康普顿边界 $E_C = E_m = \frac{E_\gamma}{1 + \frac{m_0 c^2}{2E_\gamma}}$

此时， $E'_\gamma = \frac{\frac{m_0 c^2}{2E_\gamma}}{1 + \frac{m_0 c^2}{2E_\gamma}} E_\gamma$ ，进行下一级的碰撞。

电子对效应



现在不改变散射角度，考虑 γ 光子的能量 E_γ 。当 $E_\gamma > 2m_0 c^2$ ， γ 光子从对其有核库仑场作用的核旁经过时，可能转为为一堆正负电子。此时

$$E_{\gamma} = E_e^{+} + E_e^{-} + 2m_0c^2$$

湮灭产生两个光子，湮灭时，正负电子动能为0，总能量等于电子对静止能量。若两个光子会被物质吸收若干个或者发生康普顿散射

闪烁伽马能谱仪

综合之前的现象，我们通过测量光电子产生的次级带电粒子（可能是：光电子、反冲电子、正负电子对）的能量来得到 γ 光子的能量。
闪烁谱仪的各部分：

探头与高压

- 闪烁体

在次级带电粒子的作用下产生数目与入射 γ 光子能量相关的荧光光子。它们光电倍增管，在其光敏阴极再次发生光电效应产生光电子，再数次放大，最后在倍增管阳极形成脉冲信号，虽然说闪烁体会再产生光电子，但是最终只是放大不同入射带电粒子能量所能激发的光电子的数目，便于分析的。

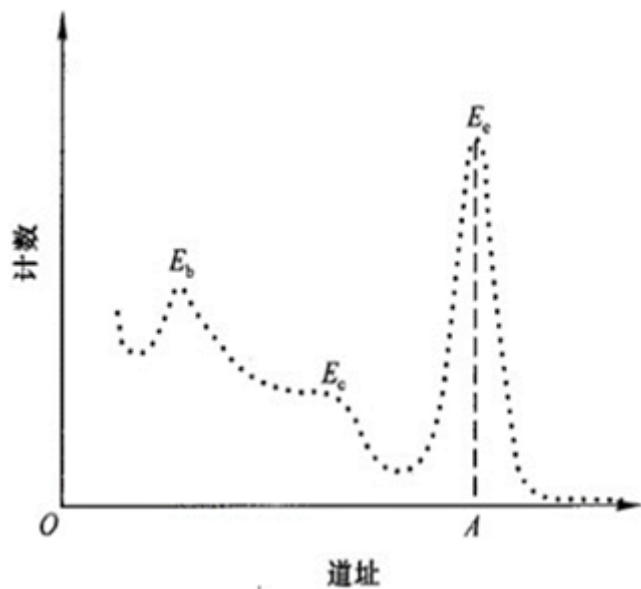
- 光电倍增管

- 分压电路

- 屏蔽外壳

Nal(Tl)闪烁体探测器测量 γ 能谱形状

图的纵轴代表各道址中的脉冲数目，横轴为道址，对应于脉冲幅度或 γ 射线的能量。



全能峰： 代表 γ 射线的能量， $E_e + B_i = E_\gamma = E_e + E_z$. E_z 为光电子逸出留下的空位让外层电子跃入而放出的X射线能量。这个能量和束缚能显然是相同的。 对于 ^{137}Cs , $E_\gamma = 0.662\text{MeV}$ 。

编号	吸收过程	闪烁体吸收能量	谱仪采集信号的脉冲幅度
1	光电效应	E_γ	全能峰内
2	康普顿散射，散射 γ 射线逃逸	散射电子的能量： $0 \sim E_c$	康普顿分布区内
3	康普顿散射，散射 γ 射线被吸收	E_γ	全能峰内
4	多次康普顿散射，散射 γ 射线逃逸	$0 \sim E_\gamma$	整个能谱，其中脉冲幅度介于 $E_c \sim E_\gamma$ 会降低全能峰的峰谷比
5	电子对效应产生的正电子慢化湮灭产生的 2 个湮灭光子均逃逸	$E_\gamma - 1.02 \text{ MeV}$	正比于 $E_\gamma - 1.02 \text{ MeV}$ 位置处出现能峰，称为双逃逸峰

6	电子对效应产生的正电子慢化湮灭产生的 2 个湮灭光子，其中一个被晶体吸收	$E_\gamma - 1.02 \text{ MeV} + 0.51 \text{ MeV}$	正比于 $E_\gamma - 0.51 \text{ MeV}$ 位置处出现能峰，称为单逃逸峰
7	电子对效应产生的正电子慢化湮灭产生的 2 个湮灭光子均被晶体吸收	E_γ	全能峰内
8	电子对效应产生的正电子慢化湮灭产生的一个湮灭光子在晶体中发生康普顿散射	$E_\gamma - 1.02 \text{ MeV} + 0.51 \text{ MeV} + \text{康普顿散射贡献}$	分布再康普顿连续区内（若散射 γ 被吸收则仍在全能峰内）
9	γ 射线在源及周围物质上发生反散射后（ $\theta=\pi$ ），进入闪烁体被全部吸收	$E_0 = E_\gamma - E_c$	称为反散射峰，出现在相对于全能峰完全确定的位置上。
10	γ 射线在源及周围物质上发生康普顿散射后（ $\theta \neq \pi$ ），散射光子被闪烁体被全部吸收	$E_\gamma - E_{\max} \sim E_\gamma$	分布在全能峰低能段与康普顿散射边缘处
11	γ 射线在源及周围物质上发生电子对效应后的湮灭光子，其中一个湮灭光子从周围物质逃逸后被闪烁体吸收。	0.51 MeV	峰位在 0.51 MeV 处

表 D6- 2 γ 射线在闪烁体中各种相互作用过程对能谱分布的贡献及周围物质散射对谱形的影响[3]

谱仪能量刻度和分辨率

能量刻度

闪烁谱仪测得的 γ 射线能谱的形状及能量值由核素的衰变纲图所决定。是各核素的特征反应。但脉冲幅度和工作条件相关 \Rightarrow 应用 γ 谱仪测定未知射线能谱时，必须先用已知能量的核素能谱来标定 γ 谱仪。

能量*E*和道址*N*:

$$E_{\gamma} = kN + b$$

从而只需要求得*k*, *b*即可。

分辨率

$$\eta = \frac{FWHM}{E_{\gamma}} \times 100\%$$

其中FWHW = Full Width Half Maximum。闪烁谱仪测量中，会伴随统计涨落。我们可以进行统计分析。

【预习思考题】

1. 简述γ光子与物质的相互作用类型，及其产生的次级粒子与原入射光子的能量关系。

根据相互作用的方式和γ光子的能量不同，有光电效应、康普顿效应、电子对效应。

类型	光电效应	康普顿效应	电子对效应
能量	全部转移且 $E_e \leq E_{\gamma}$	部分转移，光子弹性散射	$E_{\gamma} > 2m_0c^2$ ，光子非弹性散射

2. 探测器中的光电倍增管，射线的光电效应会对其测量产生影响吗？影响能有多大？

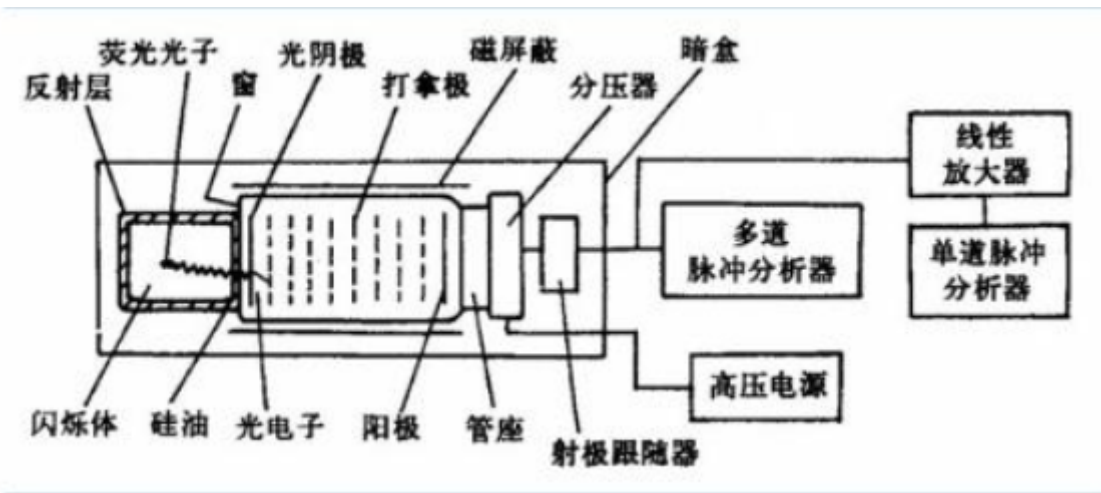
影响比较小，倍增管主要是增加对应道址，即对于一个入射的带电粒子所能激发的光电子的数量，通过这些数量的多少来反应不同能量的分布情况。一些产生荧光光子的带电粒子产生了光电子，可能会减小在能量较高的区域的脉冲幅度

3. 有一单能γ源，能量为2MeV，根据γ与物质的相互作用及NaI（TI）闪烁能谱仪输出信号幅度的关系，预测能谱形状。

全能峰吸收2MeV具有，具有全能峰（光电峰）、湮灭峰、和峰

4. 闪烁谱仪是常用的γ能谱仪，简述闪烁谱仪的的结构图和各部分功能。

闪烁体、光电倍增管、分压电路、屏蔽外壳



闪烁体是同于产生荧光光子的。其数目与 γ 射线能量相关，光电倍增管能在低能级光度学和光谱学方面测量波长200~1200纳米的极微弱辐射功率。分压电路可以调整光电倍增管打拿极的电压。外壳可以减弱，如热电子、欧姆漏电、切伦科夫光子等噪声

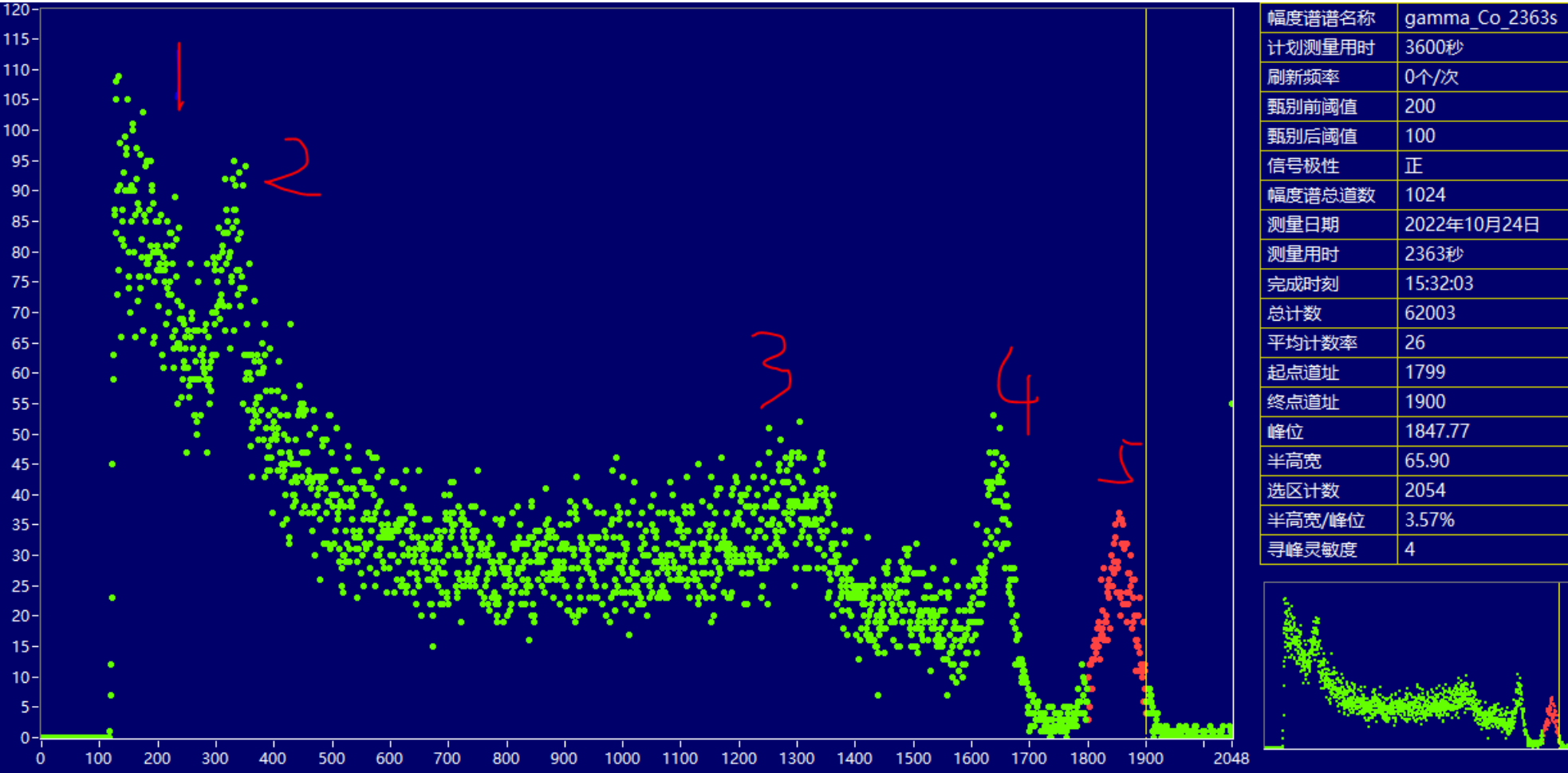
【仪器用具】

编号	仪器用具名称	数量	主要参数（型号，规格等）
1	核信号发生器	1	NMS-6014-SIG，输出信号电压范围 0-5V
2	通用核信息采集器	1	NMS-6014-GD，采样频率 250MHz，带宽 100MHz；输入范围 0-5V，8192 道，最大计数率 10M/s，死时间 100ns；
3	计算机	1	安装有 Labview2014 及虚拟核数据采集软件
4	示波器	1	RIGOL DS2202A，带宽 200MHZ，双通道，采样频率 1GSa/s

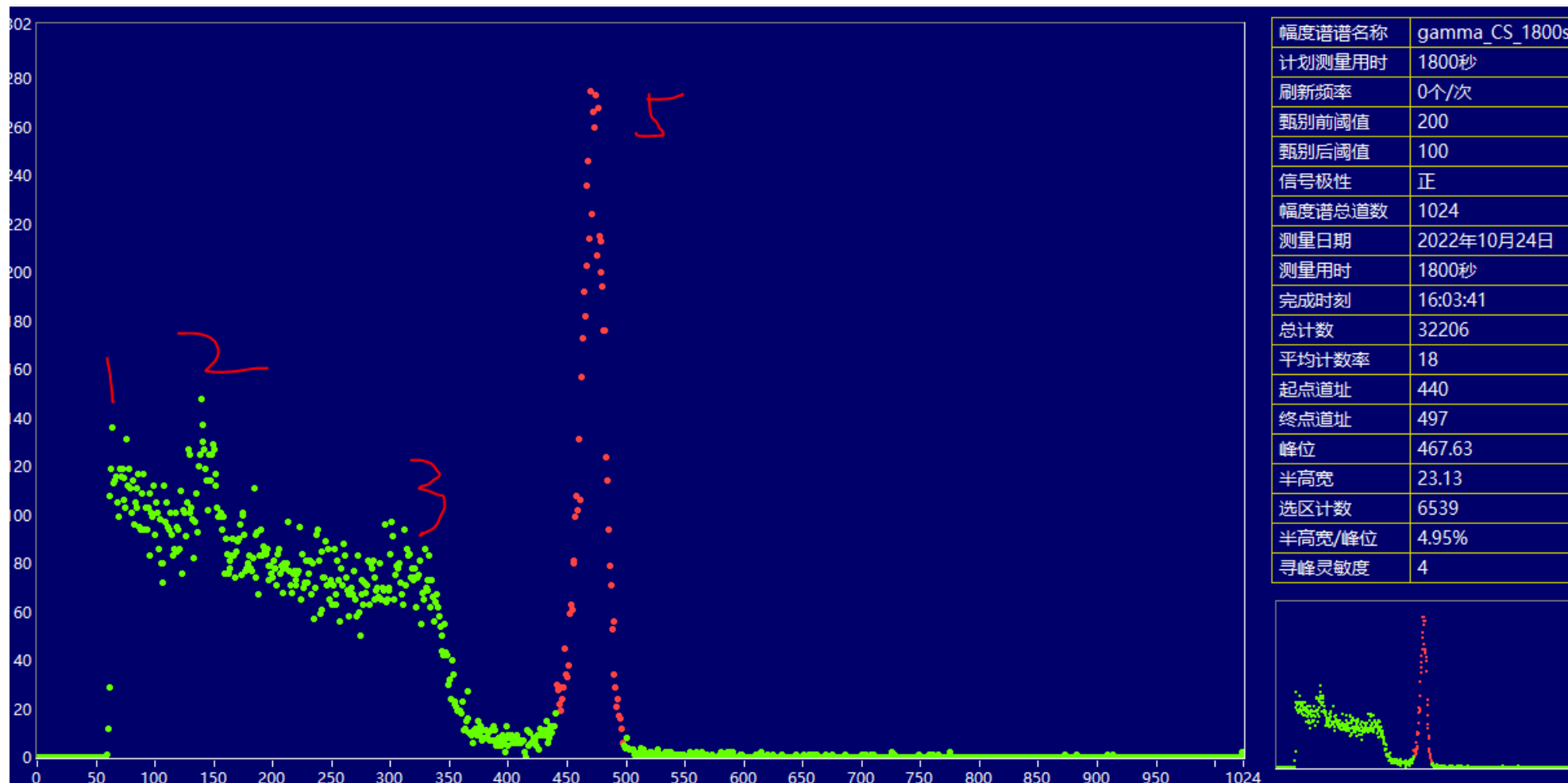
【分析讨论】

标定谱仪能量刻度和分辨率

我们根据



和



得到

	E(MeV)	Np
Co	1.17	1848
Cs	0.66	468

标定得:

$$E = 0.0004N + 0.4885(\text{MeV})$$

于是我们可以求得 $E = 0.51\text{MeV}$ 对应 537.5 道址, $E = 1.02\text{MeV}$ 对应道址 1328.75.

现在来得到分辨率

$$\eta = \frac{FWHM}{E_\gamma} \times 100\%$$

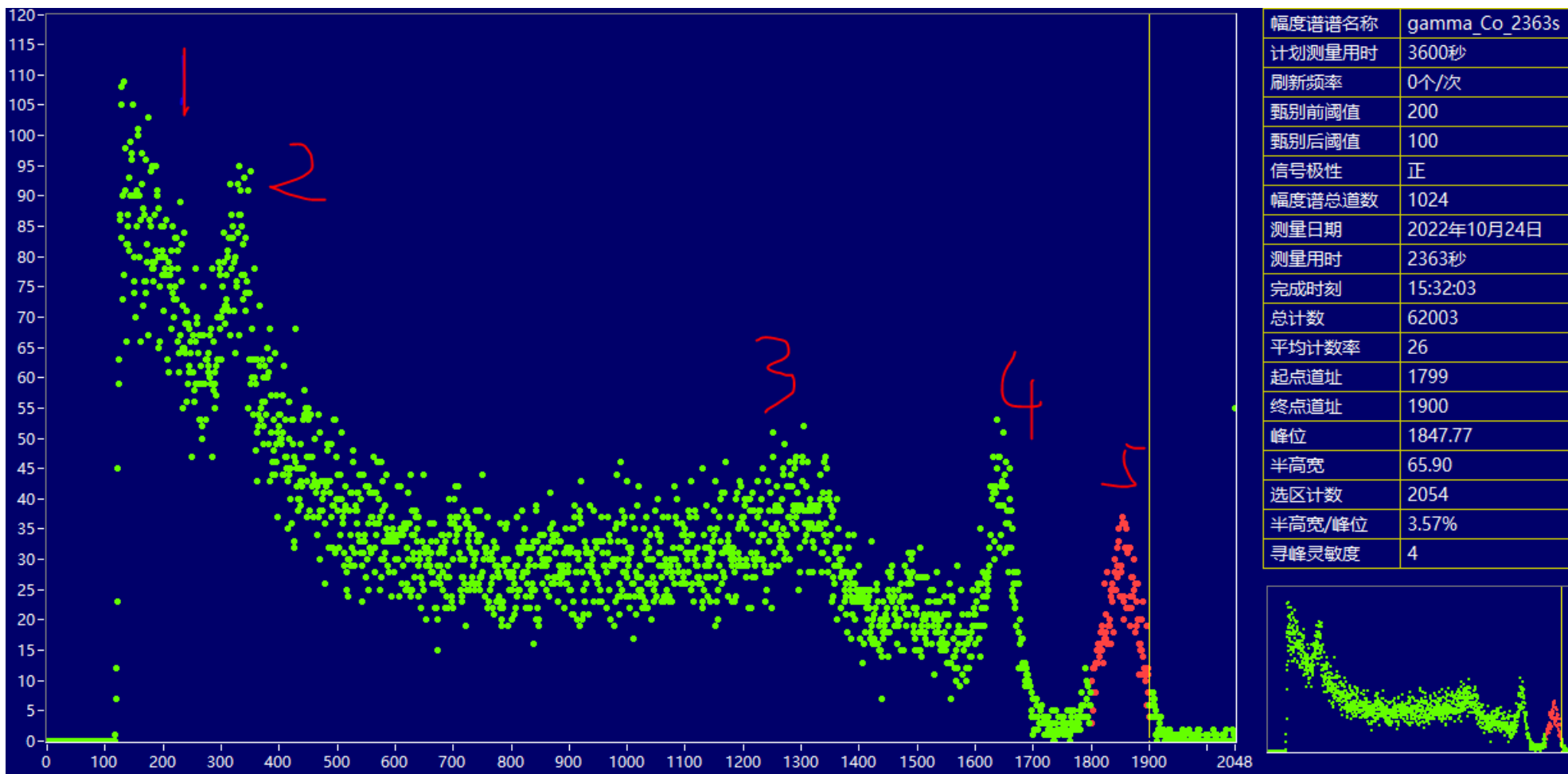
$$\eta_{Cs} = \frac{23.13}{0.66} = 35\%$$

$$\eta_{Co} = \frac{65.9}{1.17} = 56.3\%$$

能谱的分析

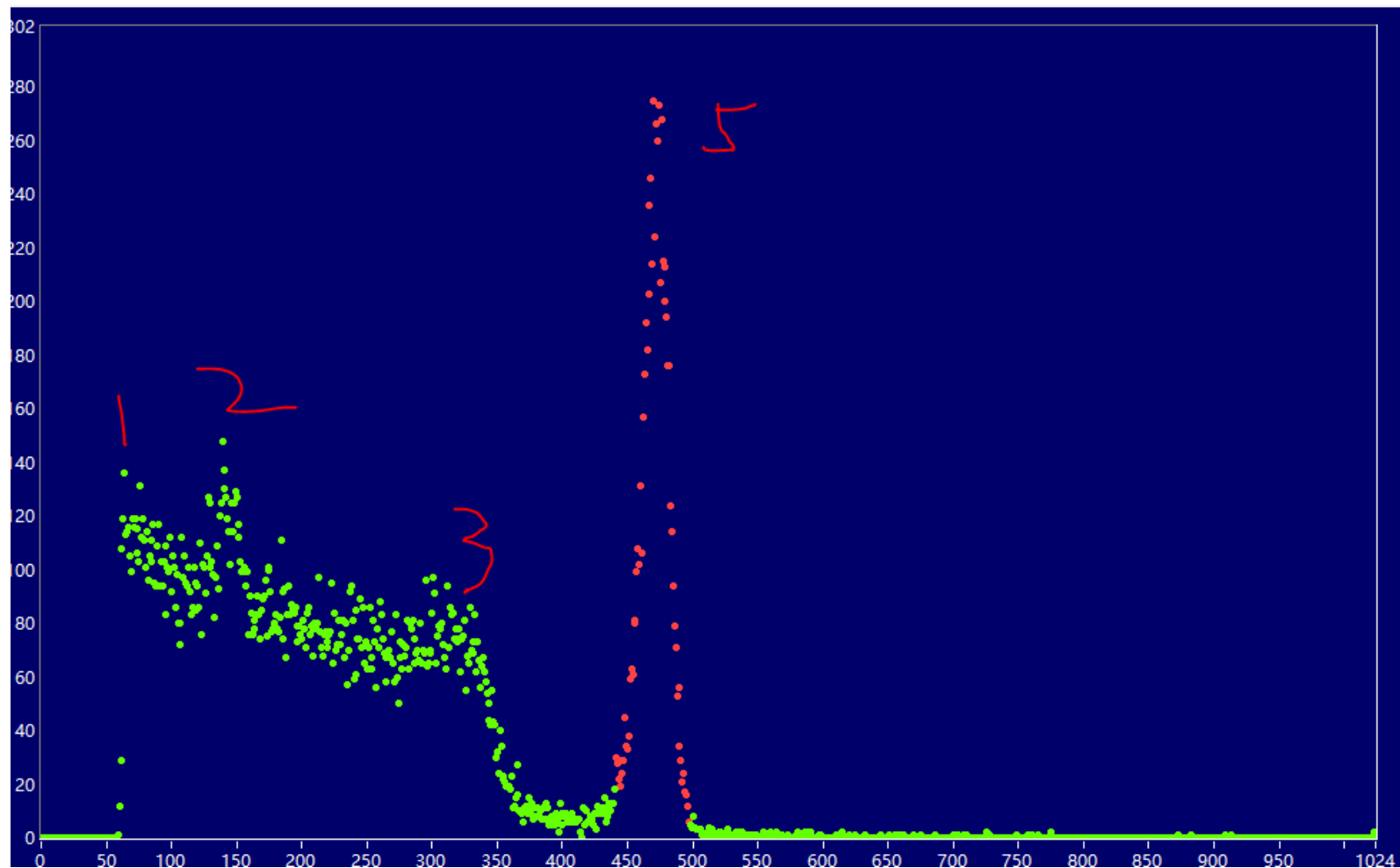
我们由软件可以得到一系列的分析结果。下面能量全部用 $E \propto N$, E^p 表示。 E^p 是标定刻度的预测值

第一幅图是 Co 的, 出现了 $E_C = E_3 \propto 1281, 1.001\text{MeV}$, 左侧的全能峰 $E_4 \propto 1636.95, 1.14328\text{MeV}$, 对应道址预测 $E'_b = E_4 - E_C = 355.95, 0.6309\text{MeV}$, 实际 $E_b = E_2 \propto 332, 0.6213\text{MeV}$. 相差了 $f = \frac{E'_b - E_b}{E_b} = 7\%$.

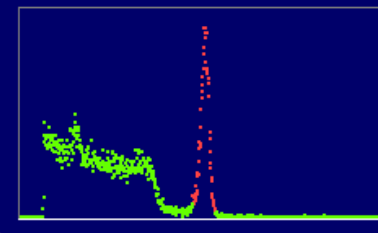


可以发现上图采样效果并不好。

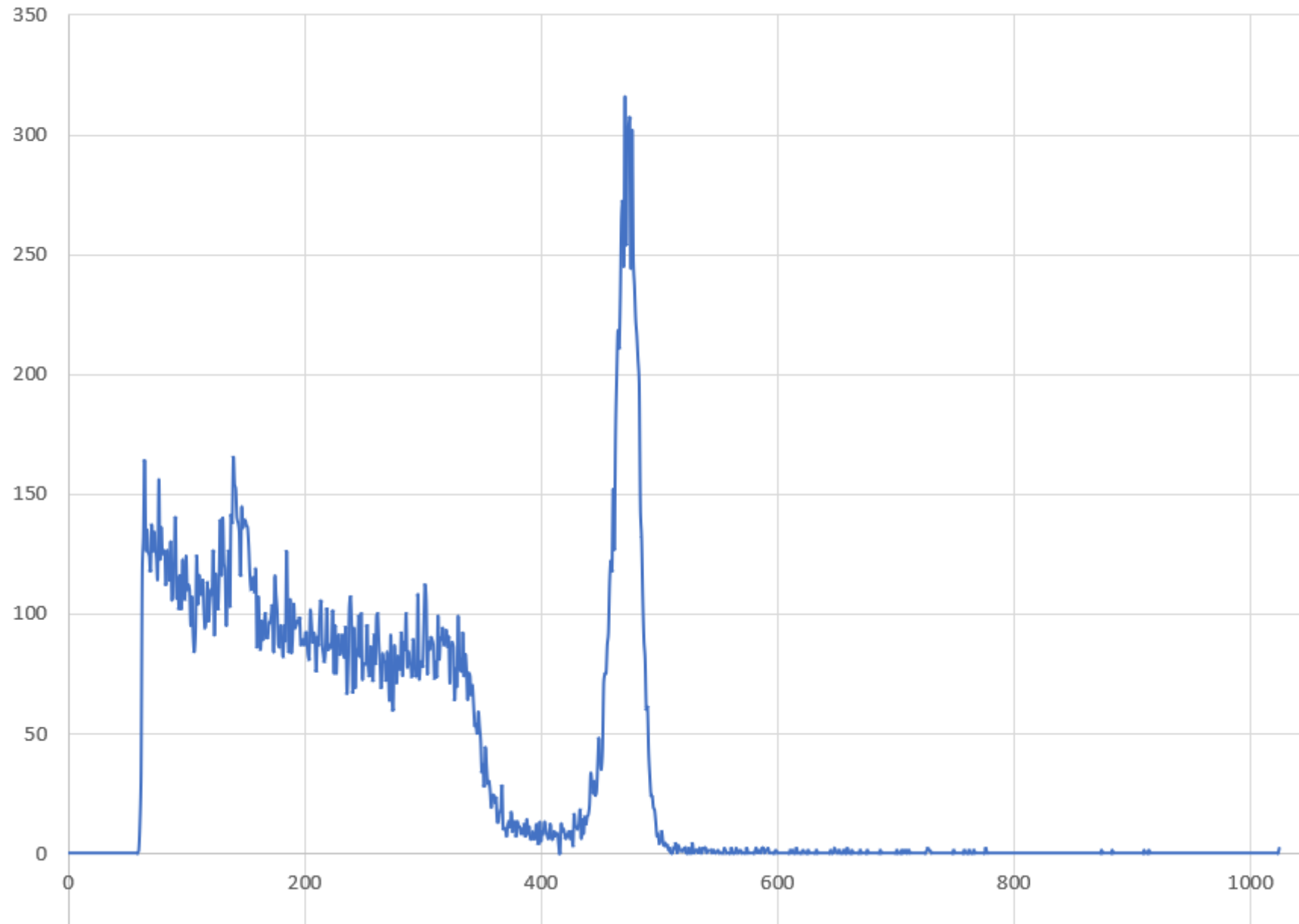
现在来看¹³⁷Cs的谱图



幅度谱名称	gamma_CS_1800s
计划测量用时	1800秒
刷新频率	0个/次
甄别前阈值	200
甄别后阈值	100
信号极性	正
幅度谱总道数	1024
测量日期	2022年10月24日
测量用时	1800秒
完成时刻	16:03:41
总计数	32206
平均计数率	18
起点道址	440
终点道址	497
峰位	467.63
半高宽	23.13
选区计数	6539
半高宽/峰位	4.95%
寻峰灵敏度	4



137Cs谱图



$E_\gamma \propto 468, 0.66\text{MeV}$, $E_C \propto 305, 0.6105\text{MeV}$, $E'_b = E_\gamma - E_C = 163, 0.5537\text{MeV}$.实际测得 $E_b = 170\text{MeV}$.相差4%.

