

实验目的

- 1. 掌握中等寿命的放射性核素半衰期（天、时、分、秒数量级）的测定方法。
- 2. 了解产生人工放射性核素的基本知识。
- 3. 学会使用多功能数字多道的多定标功能

实验原理

1、半衰期的测定

半衰期是放射性原子核的一条重要的基本性质，每种核素都有它特有的半衰期，因此测定半衰期和测定原子核质量一样，可以用于鉴别原子核。半衰期对研究放射性原子核有重要意义，由半衰期可以确定跃迁级次或多级性。在生产和应用放射性核素时，也需要了解其半衰期对放射性生长或衰变的关系，才能适当的掌握照射时间和不失时机的使用放射性核素。

不同放射性核素半衰期差别很大（从 10^{-11} 秒到 10^{11} 年），不同范围的半衰期测量方法各不相同。ms 以下的短半衰期用核电子学的延迟符合等方法测量。10年以上的长半衰期用比放射性的方法测量。中等半衰期则可以通过测量衰变曲线求得，本实验测量 ^{116m}In 的半衰期就是这一范围的放射性核素半衰期。对于单一放射性核素，仪器得到的计数率随时间的变化为

$$n(t) = n(0)e^{-\lambda t}$$

$n(0)$ (或 n_0)为开始测量时的计数率， $n(t)$ 为开始测量后 t 时刻的计数率， λ 为衰变常数，衰变常数和半衰期 $T_{1/2}$ 的关系为

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

由计数率的指数衰变规律可得

$$\ln n(t) = \ln n(0) - \lambda t$$

计数率的对数和时间满足直线关系，用目测作图或者最小二乘法拟合直线可得 λ ，再算得 $T_{1/2}$ 。

由于实际上不能测到 t 时刻的计数率 $n(t)$ ，测到的只能是某一时间间隔 $\Delta t = t_2 - t_1$ 的计数 N ，再由 $N/\Delta t$ 求得平均计数率 \bar{n} 。

2、生产放射性核素的一般知识

将稳定核素 A 放在带电粒子或者中子流中辐照，产生核反应

$$A + a \rightarrow B + b$$

剩余核素 B 可能是放射性的。若剩余核素的衰变常数为 λ ，则在恒定的入射粒子通量 ϕ 下，放射性核素 B 活度 A(t)按

$$A(t) = \phi \sigma N_1 (1 - e^{-\lambda t})$$

规律生长，其中 σ 是该反应的反应截面（称为活化截面）， N_1 为样品中稳定核素A的总数， $A(t)$ 为饱和活度，表 1 给出了产生的活度和辐照时间 t 的关系。可以根据生产核素的半衰期和辐照条件权衡确定辐照时间。

表1：

$t = nT_{1/2}$	$0.5T_{1/2}$	$1T_{1/2}$	$2T_{1/2}$	$3T_{1/2}$	$4T_{1/2}$	$5T_{1/2}$	$6T_{1/2}$
$A(t)/A(\infty)$	0.293	0.5	0.75	0.875	0.938	0.969	0.985

天然钆的同位素丰度及活化反应有关的数据列于表2。当被激活样品中存在两种独立的放射性核素时，衰变曲线上的计数率是两种放射性核素的计数率之和

$$n(t) = n_1(t) + n_2(t) = n_1(0)e^{-\lambda_1 t} + n_2(0)e^{-\lambda_2 t}$$

由总衰变曲线定出较长半衰期 $(T_{1/2})_1$ ，然后从 $n(t)$ 中扣除 $n_2(t)$ ，求出 $n_1(t)$ ，再得到 $(T_{1/2})_2$ 。钆活化后生成五种放射性核素和同质异能素，由于同质异能素 ^{116m}In 的半衰期和其他四种放射性核素半衰期相差 1-2 个数量级以上，适当选择活化辐照时间和“冷却时间”（即从停止辐照到开始测量活性的时间），可以使其它四种放射性对 ^{116m}In 半衰期测量的影响很小，故而可以用单一放射性半衰期的规律处理数据。

表2：

同位素丰度	$^{113}\text{In}4.28\%$		$^{115}\text{In}95.72\%$		
活化后剩余核素	^{114}In	^{114m}In	^{116}In	^{116m}In	^{116}In
热中子活化截面	3.9b	4.4b	45b	65b	92b
剩余核半衰期	71.9s	50d	14.2s	54.1min	2.16s

实验内容

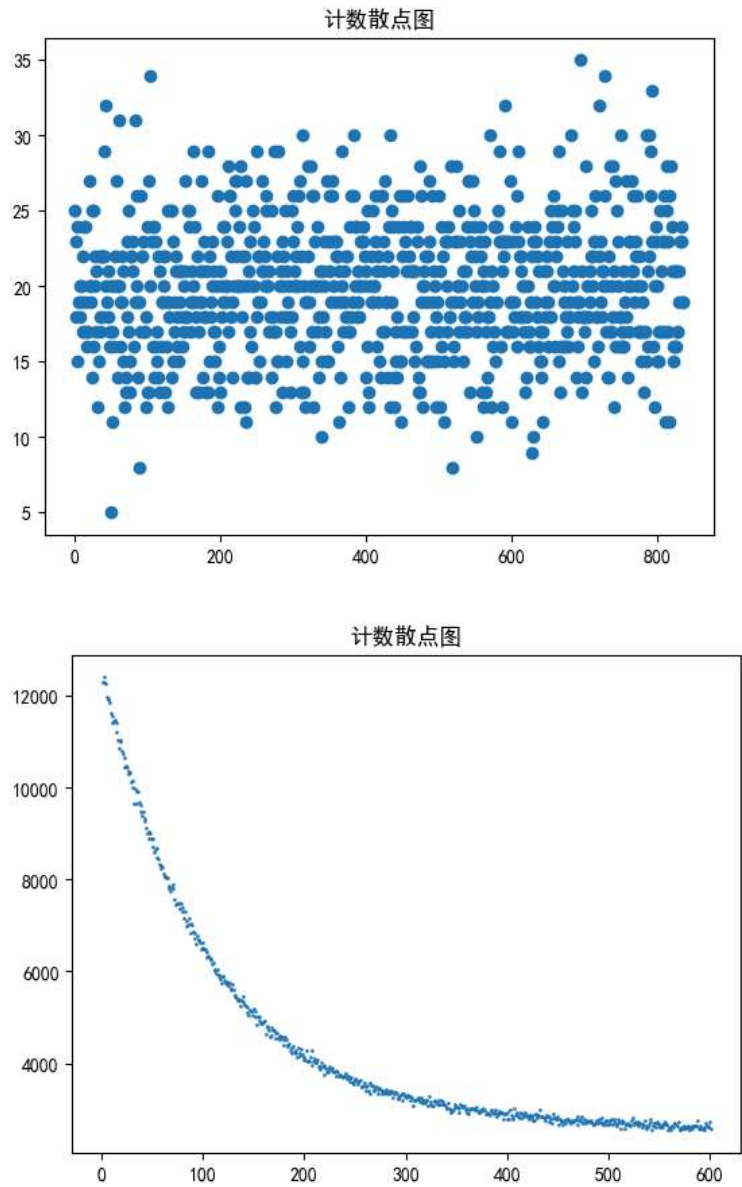
- 1.测量本底
- 2.根据时间道宽 Δt 内统计误差（与活化片的活化相关）的要求，选取每道时

间道宽 Δt
首先 Δt 要满足
 $\Delta t \lambda << 1$
即: $\Delta t << T_{1/2}$
 $T_{1/2} = 54min$ 很容易满足
其次满足
 $0.0289 \times \Delta t \times (\frac{\Delta t}{T_{1/2}}) << (t_1 + t_2)/2$
其中, $t_1 + t_2$ 取最小时 $t_1 = 0, t_2 = \Delta t$
则 $\Delta t << T_{1/2}/0.0578$ 也容易满足
本实验取 $\Delta t = 0.5s、1s$
3.选择合适活化时间的源, 进行测量
考虑的时间限制, 我们仅对样品进行半个半衰期时间的活化。
4.测量本底

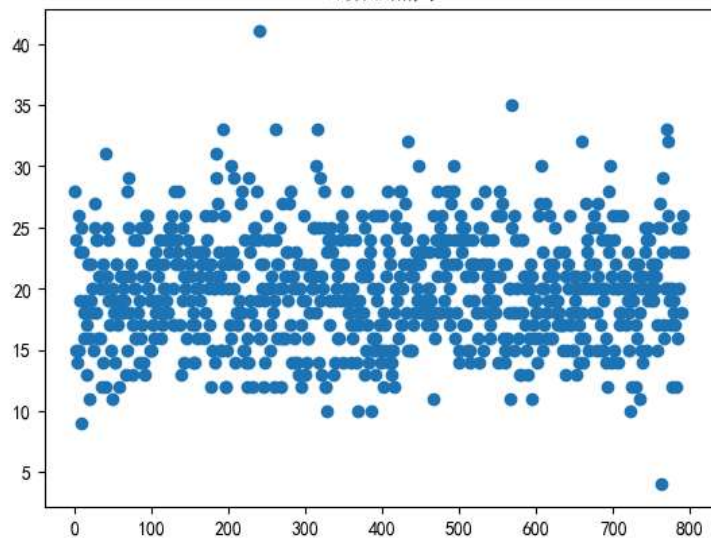
实验数据处理

绘图与计算均使用python

1.根据数据分别画出本底1、样本、本底2的计数散点图(x-y轴分布为计数次数、计数数量, 每次计数时间为1s)



计数散点图



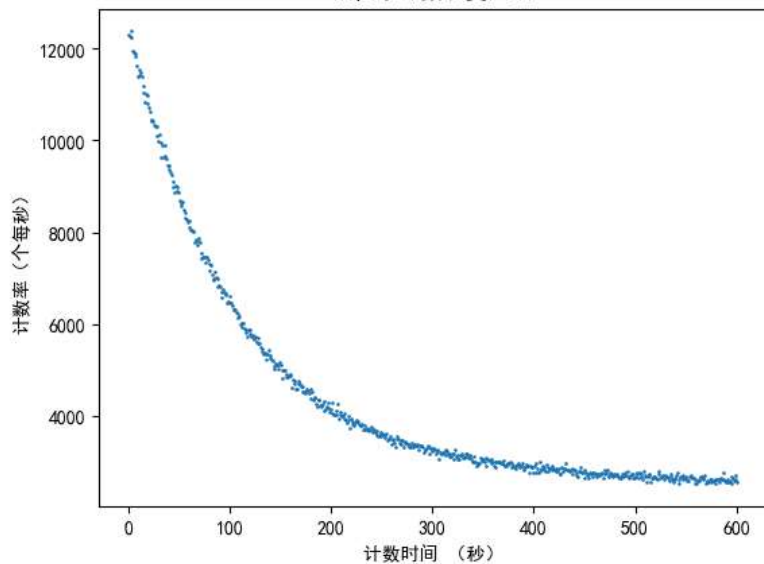
可见没有明显的过高的计数，故不删除数据

2.统计两个本底的数据，计算出本底平均计数率为

$$\bar{n}_b = 19.94 s^{-1}$$

扣除本底后，取1秒内计数作中间时间的计数率，活性净计数衰变曲线为

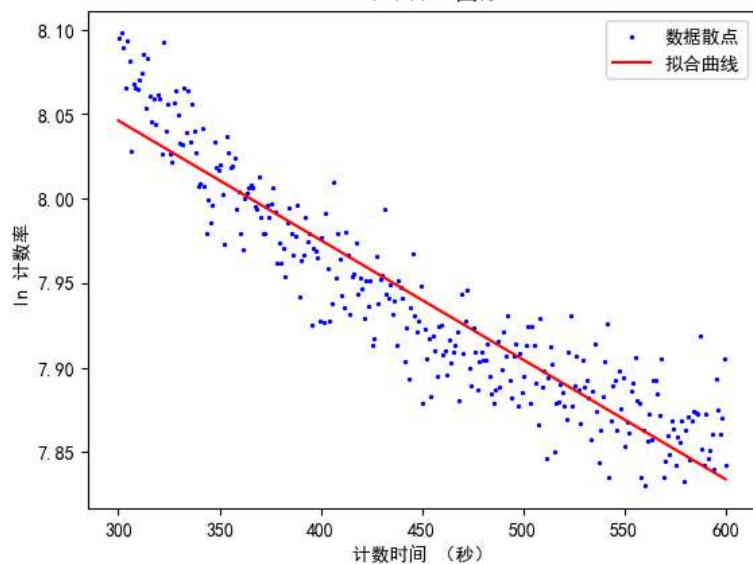
活性净计数衰变曲线



3.考虑到 ^{116m}In 与其它同位素的半衰期，应取300s后的数据进行计算，此时，大多核素经过数个半衰期，含量已经很小。

取y轴为 $\ln[\text{计数率}]$ ，作出曲线图并拟合

$\ln(n(t))$ -t图像



得出直线斜率 $k = -7.06777953 \times 10^{-4}$

由 $\ln n(t) = \ln n(0) - \lambda t$ 可得

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = -\frac{\ln 2}{k} = 980.71s = 16.34min$$

实际上，数据中为多种核素辐射产生的，应取拟合函数

$$f(t) = A_1e^{-B_1t} + A_2e^{-B_2t}$$

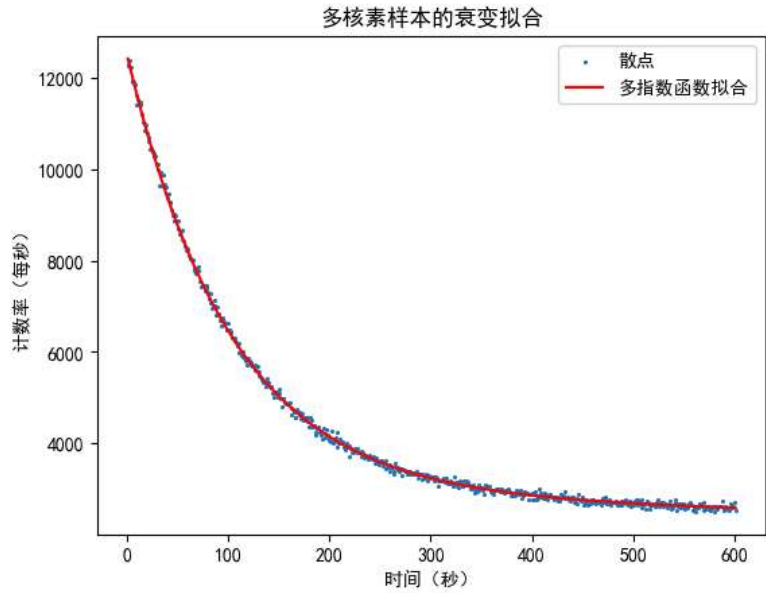
拟合结果为

$$A_1 = 9566.36120 \pm 29.1914443$$

$$B_1 = 9.75454995 \times 10^{-3} \pm 5.77525518 \times 10^{-5}$$

$$A_2 = 2898.27171 \pm 33.03078$$

$$B_2 = 2.03356026 \times 10^{-4} \pm 2.22689093 \times 10^{-5}$$



计算出半衰期为

$$T_{1/2} \pm \Delta T_{1/2} = \frac{\ln 2}{B_2} \pm \left(-\frac{\ln 2}{B_2^2} \sigma_{B_2}\right) = 56.80 \pm 6.22(min)$$

思考题

1.总活化时间为162.3min，冷却10min

由： $A(t) = \phi \sigma N_1 (1 - e^{-\lambda t})$ 计算，对同一样本， N_1, ϕ 相同,且 σ 可通过查表2获得

核素	$^{116m}In(65b)$	^{116}In	^{114}In	^{114m}In	$^{116m}In(92b)$
A	54.44	3.34	43.07	0.026	88.06

测量冷却时间为10min，冷却后上面 $^{116m}In(92b)$ 、 ^{114}In 、 ^{116}In 等容易衰变的核素经过数个半周期含量接近零。而 ^{114m}In 经过活化后含量仅仅为0.026，远低于 $^{116m}In(65b)$ 的54.44，此时进行测量，可认为计数率仅仅由 $^{116m}In(65b)$ 贡献。

2.去除偏差数据；考虑本底误差；取平均降低误差；最小二乘法拟合降低误差；