

# 放射性核素半衰期测量预习报告

姓名：杨博涵 学号：PB20000328 实验日期：2023 年 5 月 11 日

## 一、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. 学会使用多道分析器的多定标功能。

## 二、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地使用放射性核素。

不同放射性核素半衰期差别很大，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 $^{116m}\text{In}$  和 $^{108}\text{Ag}$ 、 $^{110}\text{Ag}$  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

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

而衰变常数 $\lambda$ 和半衰期  $T_{1/2}$  的关系为

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

可得

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

计数率的对数和时间为直线关系，用目测作图或者最小二乘法拟合直线可得 $\lambda$ ，再算得 $T_{1/2}$ 。但是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 $T_{1/2}$ ， $\bar{n}$ 和 $n(t)$  的关系为

$$\bar{n} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} n(t) dt = \frac{n(0)}{\lambda(t_2 - t_1)} (e^{-\lambda t_1} - e^{-\lambda t_2})$$

将 $\bar{n}$ 看做某一时刻 $t'$ 的计数率，则有

$$t' = t_1 - \frac{1}{\lambda} \ln \frac{[1 - e^{-\lambda(t_2 - t_1)}]}{\lambda(t_2 - t_1)},$$

根据泰勒展开将上式展开到一阶，有

$$t' = \frac{t_1 + t_2}{2} - \frac{1}{24} \lambda \Delta t^2 \approx \bar{t} - 0.0289 \times \Delta t \times \left(\frac{\Delta t}{T_{1/2}}\right)$$

若能控制 $\Delta t$ 满足

$$0.0289 \times \Delta t \times \left(\frac{\Delta t}{T_{1/2}}\right) \ll \bar{t}$$

则可以用 $\bar{n}$ 来表示 $t_1$ 和 $t_2$ 中间时刻的计数率，这样便得到了一个点的计数率，再如此重复若干次可以得到若干点的计数率，从而用最小二乘法拟合出直线。

### 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 $\lambda$ ，则在恒定的入射粒子通量 $\Phi$ 下，放射性核素  $B$  活度  $A(t)$ 按

$$A(t) = \Phi \sigma N_i (1 - e^{-\lambda t})$$

规律生长，其中 $\sigma$ 是该反应的反应截面（称为活化截面）， $N_t$ 为样品中稳定核素 A 的总数， $A(\infty) = \Phi\sigma N_t$ 为饱和活度。

本实验用 Am-Be 中子源经石蜡慢化得到热中子，用慢中子活化天然铟（或天然银）产生放射性核素。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，即

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

由总衰变曲线定出较长半衰期 ( $T_{1/2}$ )<sub>2</sub>，然后从 $\bar{n}$ 中扣除 $n_2$ ，求出  $n_1$ ，再得到 ( $T_{1/2}$ )<sub>1</sub>。铟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 $^{116m}\text{In}$ 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 $^{116m}\text{In}$ 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。

### 3. 多道分析器(MCA)的多定标功能

多道分析器(MCA)可用于做脉冲幅度分析 (PHA)，还可用于多定标 (MCS)。前者图谱的道址  $x$  轴表示确定脉冲幅度段间隔 $V_i \rightarrow V_i + \Delta V$ ，后者则表示确定的时间段间隔 $t_i \rightarrow t_i + \Delta t$ ，图谱的  $y$  轴值都表示相应的脉冲计数。显然，多定标状态下每道相当于一个定标器，整个记录谱反映了一条随时间准连续变化的计数变化曲线；每道时间间隔 $\Delta t$ 可以在很大的范围中由多道分析器 (MCA) 的内部设置选择设定。

## 三、实验内容

实验仪器: Am-Be 中子源及石蜡筒、铟片（和银片）、活性测量探测器、多道分析器及计算机、示波器

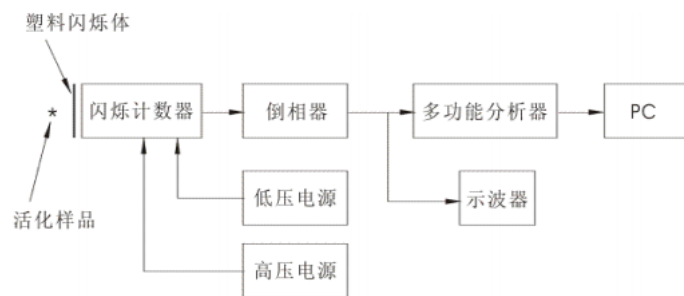


图 2. 测量装置的内部结构图

1. 根据活化原理，选定适当的辐照时间和辐照位置，将铟片（或者银片）放入中子源石蜡筒中照射。
2. 将仪器按图 2 连接好，使闪烁探测器正常工作。根据必须去除电子学和探测器噪声的原则选取甄别阈，且根据活化样片信号脉冲幅度分布范围选取脉冲幅度道宽。采用示波器观察无放射源的脉冲波形，并结合定标器计数率-甄别阈变化关系两种方法确定甄别阈。
3. 一般的衰变曲线测量过程应先粗测衰变曲线，以了解其大致情况，根据此大致衰变曲线，选取合适的时间道宽 $\Delta t$ ；由于学生实验时间限制，本实验忽略此步骤。本实验中，根据 $\lambda \Delta t \ll 1$ （已知铟-116M 的半衰期是 54.1 分钟）的原则，以及时间道宽  $\Delta t$  内统计误差（与活化片的活化相关）的要求，选取多定标的每道时间道宽 $\Delta t$ 。
4. 衰变曲线测量：先测 10 分钟以上的本底，然后放入活化铟片，测量放射性衰变曲线约一个半衰期，最后取出活化铟片再测 10 分钟以上的本底。
5. 记录衰变曲线多定标谱图以供用图解法和加权最小二乘法求出半衰期及误差。