

上海第一医学院

SHANG-HAI DIYI YIXUE YUAN

放射性同位素在临床医学上

FANG SHE XING TONG WEI SU ZAI LIN CHUANG YI

的应用实验讲义

XUE SHANG DI YING YONG SHI YAN JIANG YI



1960年10月(906-6135-2)

放射性同位素实验讲义

第一部分	放射物理
实验一	定标器的应用
实验二	计数管的坪曲线的测定
实验三	计数管死时间的测定和校正
实验四	绝对测量的校正系数 及具有一定相对比放射性的放射稀释液的制备。
实验五	射线的吸收和能量的测定
实验六	核蜕变的统计规律及测量结果的处理。
第二部分	放射卫生
实验一	几种常用放射性测量仪器的使用方法。
实验二	去除物件表面放射性沾染的实验方法。
实验三	同位素实验室建筑设计卫生学的审查。
实验四	放射性污水净化
第三部分	放射性同位素药物的制备
实验一	碘 ¹³¹ 化血浆蛋白的制备
实验二	碘 ¹³¹ 三油酸甘油酯乳化剂的制备
实验三	二碘荧光素注射液的制备
实验四	醋碘 ¹³¹ 苯酸的交换法制备
实验五	四碘 ¹³¹ 四氧荧光素注射剂的制备
实验六	放射性胶体磷及胶体金的制备
第四部分	放射同位素在临床上的应用
实验一	放射性磷 ³² 标记红血球及碘 ¹³¹ 化蛋白测定血容量。
实验二	放射性物质在体内的分佈
实验三	放射性碘 ¹³¹ 诊断甲状腺机能状态
实验四	放射性磷 ³² 测血管通透性
实验五	血浆内蛋白结合碘 ¹³¹ 测定
实验六	应用放射性磷 ³² 鉴别乳腺良恶性肿瘤。

第一部分 放射物理

实验(一) 定标器的使用

I. 目的: 了解定标器各主要部分的功能并熟悉其使用方法。

II. 原理: 定标器为探测放射性最主要一具之一, 一般包括计数管和定标器本身两部分, 当射线进入计数管后使管中气体电离, 因而引起一次放电, 于是形成一个脉冲, 由计数管所产生的脉冲在进入定标器后首先经鉴别器加以选择, 并成形变为矩形波输出, 由于在进行探测时放射性的强度, 常在每分钟几千个甚至几万多个计数, 而机械计数器每分钟只能记录几百次, 因此由计数管所产生的脉冲须经过进位器, 将其速度依一定比例减低后再进入机械计数器记录。常用的 64 进位的定标器中的进位器是由六级二进位器组成的, 这样在计数前每输出 64 个脉冲后机械计数器才记录一次。不足 64 的计数, 则由附设在每一级二进位器上的氖灯来指示。

III. 方法:

1. 在使用定标器之前应先了解各个开关、调节器及指示部分的位置、功能及使用方法与步骤。

2. 将计数管连接到定标器的输入端, 注意计数管的正负极不得接错 (管中心的金属丝为阳极接正, 接管之壁的一极为阴极应接负), 同时将定标器地线接妥。

3. 检查定标器各个开关及调节器, 电源开关及高压电源开关均应关闭。高压调节器应旋向反时针最左的位置即最低处。

4. 接通电源, 开启电源开关, 候二分钟使电子管能达到稳定状态, 开启检验及计数开关以检查氖灯及机械计数器是否工作正常。检验完毕后, 将检验及计数开关关闭并按还原开关使氖灯熄灭。

5. 开启高压电源开关, 候二分钟再将高压调节器旋至计数管所需的工作电压处。

6. 将测量的样品放入计数管架的适当位置上记下机械计数器的读数, 开启计数开关, 同时用停表记录时间, 测量五分钟, 将结果记入附表中。

再进行一次测量操作步骤同上。

7. 测量完毕后, 依次关闭计数开关, 旋回高压调节器至最低位置, 关闭高压电源开关, 并拔下电插销。

IV. 记录:

将实验结果记入下表中

标本 号数	测量时间 t (分)	机械计数 器计数 A	氖灯计数 B	总计数 $N = K A + B$	计数率 $I = N/t$	统计误差 $\epsilon = \pm \sqrt{I/t}$

V. 仪器及器材:

定标器一台

停表一个

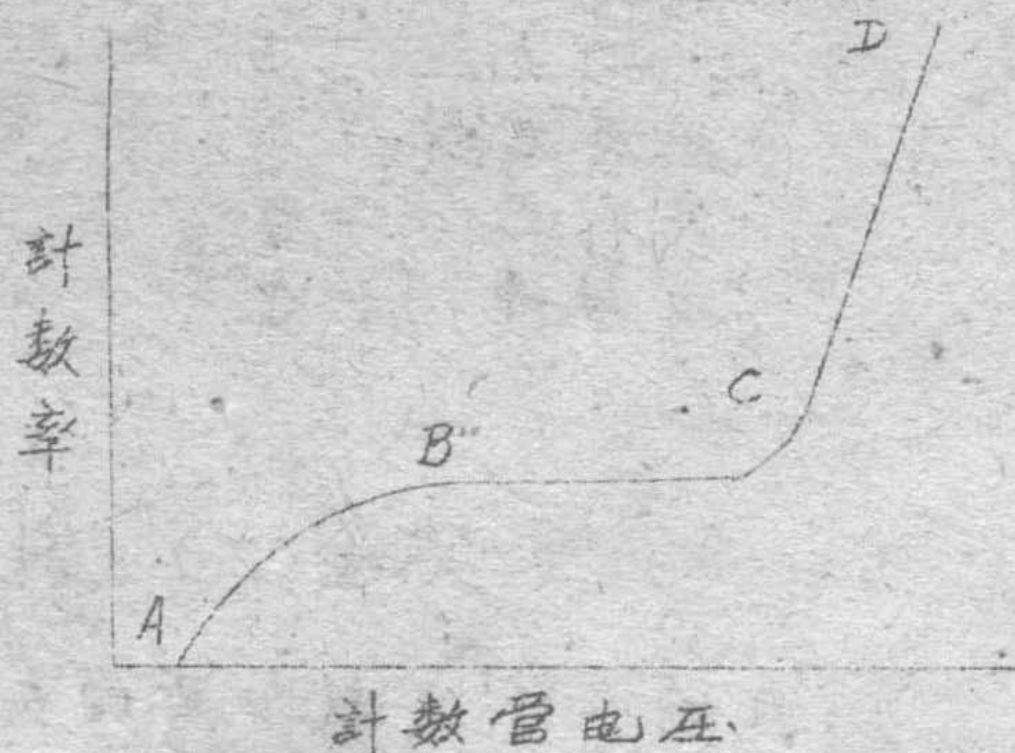
放射源一个

实验(二) 计数管坪特性曲线的测定

I. 目的: 测定计数管的坪特性曲线并决定其工作电压

II. 原理: 在用计数管进行测量时, 虽放射源的强度不变, (即在单位时间内进入计数管的粒子数不变), 但由于所加上的电压不同, 结果所测得的计数率亦有所不同, 计数管须在电压增加到一定数值时才开始计数, 此点电压称为“阈”电压 (图中 A), 不过此时的计数率很低, 当电压继续增加时, 计数率亦随之增加, 当达到一定数值后再增加电压时计数率将基本上不再增加, 此段称为“坪” (图中 BC) 电压超过 C 点以后, 计数率将有显著增加, 如再增时将造成连续放电 (图中 CD) 计数管的工作电压应选择在此坪的 $1/3$ 到 $1/2$ 处在计数管的坪中电压每增加 100 伏时, 其计数率增加的百分率称为坪坡度, 此坡度越小越好, 一般以不超过 5% 为适用。

新计数管在开始使用时应首先测定其特性曲线, 并于 8-10 小时内重复测量一次, 视其特性前后是否相符。计数管在使用过程中其特性是会时々改变的, 因此其特性曲线每月至少应测定一次。



新计数管在开始使用时应首先测定其特性曲线, 并于 8-10 小时内重复测量一次, 视其特性前后是否相符。计数管在使用过程中其特性是会时々改变的, 因此其特性曲线每月至少应测定一次。

IV. 方法:

1. 根据实验(一)的方法与步骤准备好定标器, 接受计数管并选择一适当放射源放于管架上。

2. 开启高压电源后候二分钟，开始计数开关，缓缓依顺时针方向旋转高压调节器至刚好开始有计数时，记下此处电压，即阈电压，并测量三分钟。

3. 自阈电压开始每次增加10伏测量三分钟，每次增加电压后应候一分钟等电压稳定后行测量，当电压增至一定值以后计数率将突然有显著增加，此表示已超过坪部分，应立即降低电压，以免计数管因连续放电而损坏同时终止测量。自坪至连续放电区（即图中C D）一般约只10-20伏，因此进行实验时应特别注意。

IV. 记录:

1. 将实验结果记入附表内并绘出计数管的坪特性曲线。

计数管号

计数管电压 (V)	测量时间 t (分)	机械计数器计数 A	氖灯计数 B	总计数 $N = KA + B$	计数率 $I = N/t$ 脉冲/分

2. 求出计数管以下各项数据

a. 阈电压, b. 坪长度, c. 坪坡度, d. 工作电压。

V. 仪器及器材:

定标器 一台

计数管 一支

放射源 一个

停表 一个

实验(三) 计数管死时间的测定和校正

I. 目的: 测定计数管的死时间及对死时间进行校正。

II. 原理: 计数管每记录一个进入的粒子产生一个脉冲之后，都随之有一段死时间，在此时间内如再有粒子进入则不会被记录下来，因此在利用计数测量射线时将有一部分被漏记，死时间越长或射线越强时被漏记的数目就越多，因此在测量强的放射源时必须对所得的脉冲计数率作死时间的校正。

设 m 为单位时间内实际测得的平均计数， n 为单位时间内实际进入计数管内的数目。

t_0 为计数管的死时间，则 $n = \frac{m}{1 - mt_0}$

死时间可以用不同的方法测定现在介绍两种方法，即两源法及比例源法。

1. 二源法：选择强度适当而放射性相似的放射源两个，分别单独测量，所得计数率为 m_1 及 m_2 ，然后再一起共同测量其计数率为 m_{12} ，则死时间 τ 可由下式求出。（略）

$$\tau = \frac{2(m_1 + m_2 - m_{12})}{(m_1 + m_2) m_{12}}$$

2. 比例源法

取不同强度的放射源若干个，设其放射性强度为已知的依次分别进行测量，则会得到如图中的实验曲线所示的结果。纵坐标表示实际测量得的计数率，横坐标表示应有的计数率，即假设没有死时间的影响时所得的计数率，在计数率很低时测得的计数率与应有的计数率是很接近的，但当放射性强度增加后，由于死时间的影响较大，则测得的计数率将少于应有的计数率，其关系如实验曲线所示。设无死时间的影响时则应得到如理论曲线的结果，设一样品测量所得的计数率为 A ，如欲求其应有的计数率，则可在曲线上找到相当于 A 的 C 点，再从横坐标上找到 OB ，此即其真正计数率。

此法虽较便捷，但其误差较大，且在计数率较低时，理论曲线与实验曲线是重合的，因此不易查出。

IV. 方法：

1. 二源法：

(1) 选取放射源二个使其在距计数管前约 5-7 厘米处之计数率为 5000-7000 脉冲/分，两个源的强度应相似。

(2) 测本底五分钟。

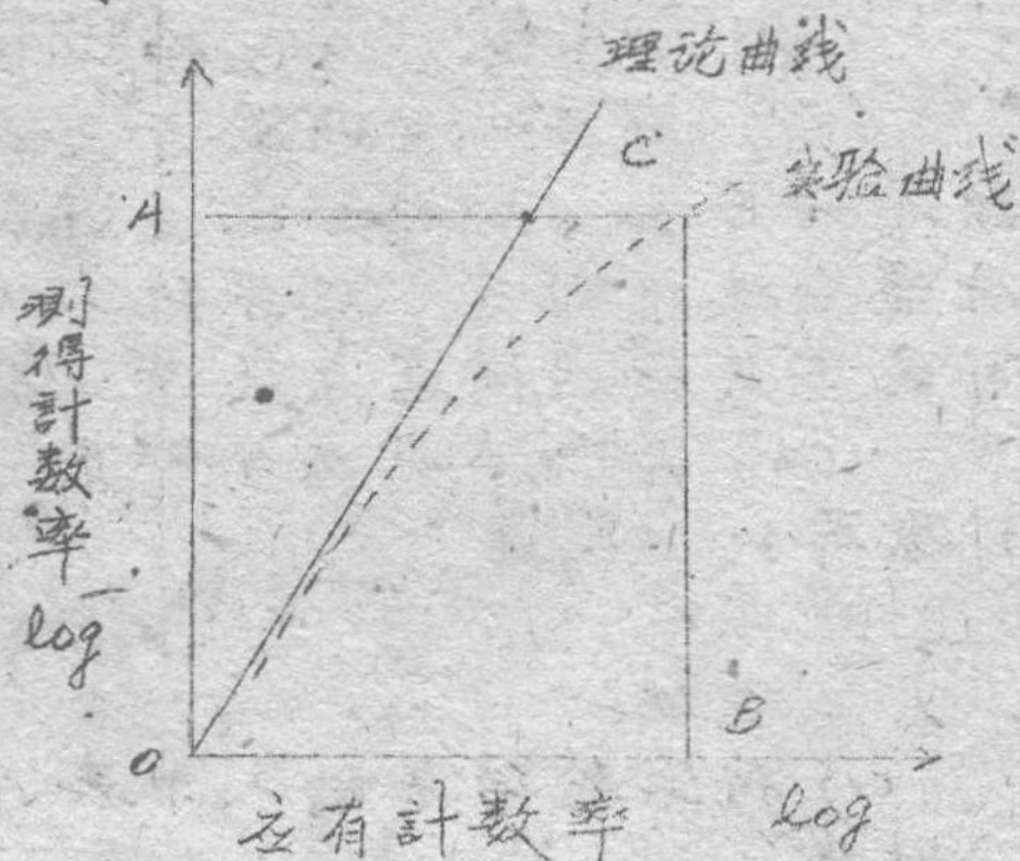
(3) 将第一个放射源放在托片上使距计数管约五厘米，测量 20 分钟。

(4) 第一个源不动再将第二个源放入与之并列，测 20 分钟。

(5) 取出第一个源单独测量第二个源 20 分钟，结果记入附表一，注意放入或取出源时，不要碰到另一个源，以保持其几何位置不变。

(6) 再测量本底 5 分钟，取两次本底计数率的平均值作为本底计数率。

2. 比例源法：



(1) 准备样品盘 + 一个分别编号并依下列方法加入 P^{32} 的溶液。

标本号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
加入第一种 P^{32} 溶液量 C.C.	0.1	0.2	0.3	0.4							
加入第二种 P^{32} 溶液量 C.C.					0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
放射性强度比	1	2	3	4	5	10	15	20	25	30	35

第一种 P^{32} 溶液的比放射性约 $15 \mu C/C.C.$ 即可

第二种 P^{32} 溶液的比放射性约 $0.3 \mu C/C.C.$ (相当于第一种的 $1/5$)

以上十一号样品作好后放于红外线灯下烘干。

(2) 测量本底 5 分钟。

(3) 将第一号源放于距计数管为 5-7 厘米处, 使测得的计数率约为 1000 脉冲/分为适宜, 然后将其余样品放在相同的几何位置上进行测量, 结果记入附表二中, 各个样品测量所需的时间要求其相对误差不大于 1%, 为 35000 脉冲/分。

(4) 再测本底 5 分钟取二次本底计数率的平均值作为本底计数率。

IV. 记录:

1. 二源法:

(1) 将实验结果记入下表中

附表一。

标本号	测量时间 t (分)	机械计数器计数 A	氡灯计数 B	总计数 N	计数率 $IA + \phi$	计数率 IA_0
1						
1+2						
1						

(2) 计算计数管的死时间为若干微秒。

(3) 设有 5 个标本测得的计数分别为 1000, 5000, 10000, 及 30000 脉冲/分, 求其真正计数率为若干。

2. 比例源法:

(1) 将实验结果记入下表中。

附表二

标本号	放射性强 度比	测量 时间 t (分)	机械计 数器计 数 A	氛灯 计数 B	总计 数 N	计数率 $IA + \phi$ 脉冲/分	计数率 IA 脉冲/分	绝对误 差 $\epsilon = \pm \sqrt{I}$	应有计 数率* 脉冲/分

* 第一号源由于其计数率较低因此死时间对其影响较少，因此测得的计数率即可认为是应有的计数率其他第二号至第十一号源由于所加的 P^{32} 溶液的比放射性及体积均为已知的，因此其应有的计数率即可按照相当于第一号源的若干倍计标如第二号源的计数率为 1000 脉冲/分，则第十一号源的应有计数率应为 35000 脉冲/分。

在对数坐标纸上绘出理论及实验曲线。

(2) 设有五个标本测得的计数率分别为 1000, 5000, 10000, 20000 及 30000 脉冲/分，在曲线上找出其应有计数率为若干。

(3) 将用二源法及比例源法所作的死时间校正的结果进行比较。

V. 仪器及器材：

定标器 一台

停表 一支

标本盘 十三个

P^{32} 溶液 (比较放射性为 $1.5 \mu c/c.c.$ 及 $0.3 \mu c/c.c.$ 各若干)

0.1 c.c. 吸管 二支

5 c.c. 注射器 二支

实验(四) 绝对测量的校正系数

及具有一定相对比放射性的放射稀溶液的制备

I. 目的：利用放射性标准源，在一定条件下，决定计数管绝对测量的校正系数，利用求得的校正系数，进行所需要的相对比放射性的放射性稀溶液的制备。

II. 原理：

一个放射性同位素的标本，它的绝对放射性是用居里毫居里，微居里等单位来量度的，1居里的放射性，就表示这个标本每秒钟衰变 3.7×10^{10} 次，假若这标本是已放射性的那就意味

看每秒钟有 3.7×10^{10} 个 β 粒子由标本射出，因此标本的绝对放射性就是指标本的居里或毫居里数值，也就是每秒钟内衰变的次数，进行标本的绝对放射性测量，就叫做绝对测量，一般用计数管标本进行测量，所得到的脉冲计数率，不是每分钟标本的衰变次数，而比它小得多，因此脉冲计数率不能代表标本的绝对放射性，一般测量标本所得到的脉冲计数率叫做这个标本的相对放射性，相应的测量就叫做相对测量。

为什么计数管对标本直接测量只能得到标本的相对放射性？这是因为下面各种原因：

1. 计数装置的死时间使进入计数管的粒子，在这段时期内，就不能被记录。

2. 标本和计数管的相对几何位置，标本所发射的粒子是向着空间四面八方发射的，是一个球面，但是计数管只占有球面的一部分，不可能把标本全部所发射的粒子都记录下来。

3. 计数管窗或管壁对于粒子有吸收作用，标本与管窗与管壁间的空气层也有吸收作用。

4. 标本层自己的吸收。

5. 减低标本的底座反向散射的作用等。上述各种原因使得标本脉冲计数率不等于每分钟衰变次数，因此要想测量标本的绝对放射性，就必需对计数管实际所得标本的脉冲计数率（相对放射性）进行校正。上述各项原因，每次都可以用物理理论及试验的方法求得相应的校正系数，这些校正系数乘在一起，成为一个总的校正系数 n 。假设标本的绝对放射性是 A 毫居里，测得标本的相对放射性是 N 脉冲/分则标本每分钟衰变的次数是 $A \times 3.7 \times 10^7 \times 60 = 2.22 \times 10^9 A$ 衰变/分此值与相对放射性 N 脉冲/分的关系，应如下式所示：

$$2.22 \times 10^9 A n = N \quad \text{即} \quad A = \frac{N}{2.22 \times 10^9 n} \quad (1)$$

n 就叫做绝对测量校正系数，只要知道了 n ，就可以从测量得到的相对放射性，求出标本的绝对放射性了。

我们可以利用标准源来求得绝对测量校正系数 n ，设若已知一标准源它的绝对放射性是 A_{MC} ，则可直接测量得到其相对放射性设为 N 脉冲/分，由公式 (1)：

$$\text{可求得} \quad n = \frac{N}{2.22 \times 10^9 A} \quad (2)$$

但应该注意的是 n 的数值和下列一些因素都有关系：

(1) 标本和计数管的相对几何位置。

(2) 所用计数管的型式。

(3) 标本底座的形式和材料。

(4) 标本脉冲计数率的大小。

(5) 标本层的厚度

(6) 标本内所含放射性同位素的种类，所发射粒子能量分布的情况等。

η 应该在上述各项因素一定的条件下求得，若在测标本时上述因素中若干因素改变，则 η 的数值也会随之改变。

因此在用标准源求绝对测量校正系数 η 时，最好所用的标准源与欲测的标本所有上述各种条件都一样，固定不变，这样求出的标本的绝对放射性才比较准确，但在一些试验中，对所求的绝对放射性不要求很准确：则对标准说不一定要求得严格，但对于放射源和计数管的相对几何位置计数管的型式，放射源底座的型式和材料等条件，仍应该尽量争取固定不变。

B 标准源一般采用较长半衰期的放射性同位素，并且放出的射线要求能量比较大，这样的放射源，它的放射性在几年甚至有些在几百年内几乎是不变的。

与子体 UX 、 UX_2 及 UZ 、 UY 达到平衡的纯化的天然油 U_3O_8 常被用做标准源，其中 UX_2 所放出的 β 粒子最大能量 2.3 MeV，铀的半衰期是 4.5×10^9 年，故标准源的放射性在几百年内基本上不会改变。

Sr^{90} (锶) 也常被采用为标准源，它所放出的 β 粒子最大能量是 2.3 MeV，半衰期是 19.9 年。

在放射性指示剂工作中，一般标本的相对放射性不超过 5000 脉冲/分。标本的制备是在小锡纸底盘内放入一块小滤纸用微量移液管移取放射性溶液，滴入底盘内，在红外线灯下烤干即成。

设若滴 0.1 c.c. 放射性溶液到底盘内，烤干后，放在计数管下测量，要求它的相对放射性是 1000 脉冲/分，则这于放射性溶液的相对比放射性是

$$\frac{1000}{0.1} = 10000 \text{ 脉冲/分毫升}$$

但一般出厂的原始放射性溶液都具有很高的比放射性，因此必需将它冲稀几百到几千倍，下面介绍计算稀释倍数的方法。

原始溶液的绝对比放射性假设是 a 毫居里/毫升现要制备 V_1 毫升相对比放射性是 I_1 脉冲/分毫升的稀溶液，设需取原始溶液 V 毫升，稀放射性溶液总相对放射性是 $I = I_1 V_1$ 脉冲/分。

该稀溶液的总绝对放射性是 $a_1 = \frac{I_1 V_1}{2.22 \times 10^9 \eta}$

式中 η 是绝对测量校正系数

原始溶液取 V 毫升，其总绝对放射 $A = aV$ / 毫居里。

今 $a_1 = A$

$$\frac{I_1 V_1}{2.22 \times 10^9 \eta} = a V$$

$$\therefore \text{稀释倍数} = \frac{V_1}{V} = \frac{2.22 \times 10^9 a \eta}{I_1} \quad (3)$$

例: $\text{Na}_2 \text{HP}^{32} \text{O}_4$ 溶液, 其绝对比放射性是 $\frac{\text{毫居里}}{\text{毫升}}$

欲制备相对比放射性是 50000 脉冲/分毫升的稀溶液, 需如何稀释?

设绝对测量校正系数 $\eta = 0.05$

代入上公式 (3)

$$\frac{V_1}{V} = \frac{2.22 \times 10^9 \times 1 \times 0.05}{50000} = \frac{2.22 \times 5 \times 10^7}{5 \times 10^4} = 2.22 \times 10^3$$

$$= 2220 \text{ 倍}$$

III. 实验方法及步骤

1. 在盛标本的小碟内放一层滤纸, 在红外线灯下烤三分钟, 然后用扭力天秤量碟及滤纸的重量, 再用红外线灯烤碟及滤纸, 再用扭力天秤称其重量, 若重量较前次所称有改变, 则需再烤再称, 一直到重量没有改变为止, 记下碟及滤纸之重量, 设为 m_1 毫克。

2. 用微量移液滴管 (满度 0.1 c.c.) 移取少量 U_3O_8 酒精悬浮液, (事先制备) 滴入标本碟内, 滴时注意使液体尽可能均匀铺开, 然后把碟放在红外线灯下烤干。

3. 把带有 U_3O_8 的标本碟放在扭力天秤上称其重量, 设为 m_2 毫克, 则 $(m_2 - m_1)$ 毫克就是 U_3O_8 盐的重量, 使碟内均匀铺盖的 U_3O_8 盐的重量约为 40-50 毫克 (一次在碟内滴 U_3O_8 酒精悬浮液, 烤干后, 称量, 重量不够, 则再滴再烤干, 一直到重量达到要求为止, 注意, 在最后一次烤干时, 亦应和步骤 1 一样, 烤后称, 再烤再称重量, 一直到 m_2 值不改变为止。这样放射性标准源就制成。

4. 根据 U_3O_8 的重量 $(m_2 - m_1)$ 毫克, 称其绝对放射性 A 毫居里。

5. 把标准源放在计数器上固定位置, 测量其相对放射性脉冲/分, 测五次, 每次相对均方根误差, 不大于 $\pm 1\%$, 最后取平均值 N_{av} 脉冲/分。

6. 由步骤 4 与 5 所得的数据标出绝对测量校正系数 η 的数值。

7. 取一未知绝对放射性的标本 (事先制备), 放在计数器上, 求其相对放射性 (注意几何位置等条件均不变) 共测五次, 每次相对均方根误差, 不大于 $\pm 1\%$, 最后取平均值, 利用 η , 求得其绝对放射性与已知值对比, 看误差是多少。

IV. 仪器: 定标器, 计数器, 停表标准放射源。

实验(五) β 射线的吸收和能量的测定

I. 目的:

了解 β 射线在物质中的吸收现象并测定其吸收曲线, 求出 β -能谱的最大能量。

II. 原理:

原子核在进行 β 衰变时所放出的 β 粒子的能谱是具有从零到最大值的连续能谱, 对各种不同的放射性元素其分布曲线形状大部相似但具有不同的最大能量值。

β 粒子通过物质时由于与原子中的电子作用, 将其一部能量传给电子使其激发, 此种能量的损失称为电离损失, 另一种为 β 粒子与物质的原子核作用产生电磁辐射, 即所谓辐射损失。由于这些原因, 当 β 射线通过物质时即会有吸收作用产生, β 射线的吸收可近似地以指数定律来表示, 即

$$I = I_0 e^{-\mu d}$$

当吸收物质有足够的厚度时 β 粒子可以全部地被吸收, 此种全吸收厚度即 β 粒子的最大射程, 是与其最大能量有关的, 可以用下面的经验公式表示:

1. 当 $0.15 \text{ MeV} < E_{\max} < 0.8 \text{ MeV}$ 时.

$$R_{\max} = 0.407 E_{\max}^{1.38}$$

或当 $0.03 \text{ g/cm}^2 < R_{\max} < 0.3 \text{ g/cm}^2$ 时.

$$E_{\max} = 1.92 R_{\max}^{0.725}$$

2. 当 $E_{\max} > 0.8 \text{ MeV}$ 时

$$R_{\max} = 0.542 E_{\max}^{0.133}$$

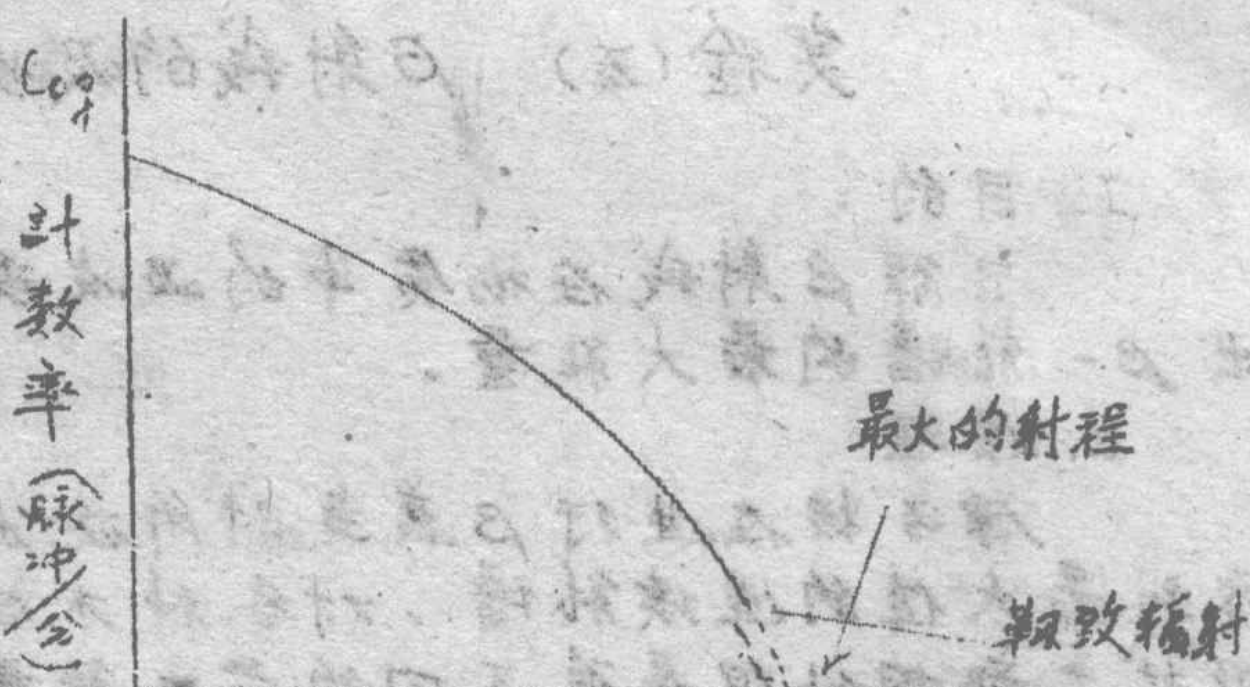
或当 $R_{\max} > 0.3 \text{ g/cm}^2$ 时

$$E_{\max} = 1.85 R_{\max} + 0.245$$

在一定的条件下可以直接从吸收曲线上判定 β 射线的最大射程。如图所示, 从而依照上面的公式求出其最大能量。 β 射线通过物质时会产生轫致辐射, 此为一种软 α 射线, 因此即使吸收体的厚度已超过 β 射线的最大射程仍然会有大于本底的计数。用此种方法来测定 β 粒子的最大射程只有在曲线到达本底时其强度已减弱到原来的1%或更小时此法才可靠。

III. 方法:

1. 将钟罩管装在计数管架上并在其下面第一格上放一中间有孔的铝片, 使 β 射线只能从孔中穿过以后吸收片即放于此铝片上将圆孔盖住。



选取适当的放射源一个, 使其在距计数管 5-7 厘米处的计数率为 7000-10000 脉冲/分。

2. 测本底 5 分钟。

3. 先不放吸收片开始测量, 然后再依照下列次序放入铝吸收片测量。

0-600 mg/cm^2 时每次加 40 mg/cm^2

600-900 mg/cm^2 时每次加 20 mg/cm^2

将铝片厚度增加至计数率不再继续减小时即终止测量, 每次测量的时间最好能使其相对误差小于 5% 为佳。

IV. 记录: 1. 将结果记入下表:

吸收片 厚度 mg/cm^2	测量时 间 $t(\text{分})$	机械计 数器计 数 A	氖灯计 数 B	总计数 N	计数率 $I_A + \phi$ 脉冲/分	计数率 I_A 脉冲/分	经死时 校正后 的计数 率脉冲/分	统计误 差 $\epsilon = \pm \sqrt{N/t}$

2. 以计数率为纵坐标, 以射程 (即铝吸收片的厚度 mg/cm^2) 为横坐标在半对数坐标纸上作出 P^{32} 的吸收曲线。

3. 将曲线延长外推至与 x 轴相交, 其交点即为 P^{32} 的最大射程。

4. 根据所得的 P^{32} 的最大射程计算其 β 粒子的最大能量为若干并与公认值比较。

V. 仪器及器材:

定标器 一台

P^{32} 放射源 一个

钟罩管 一支

铝吸收片若干片。

停表 一支

实验(六) 核蜕变的统计规律及测量结果的处理

目的:

1. 了解核蜕变所服从的统计规律,
2. 熟悉放射性辐射测量误差的表示方法,
3. 了解测量时间对准确度的影响,
4. 学会根据准确度的要求选择测量时间.

仪器:

1. 64 进位定标器
2. 计数管架
3. CTC-6 计数管
4. 停表
5. 放射源

原理:

实验证明, 在对长寿命放射性物质强度进行多次重复测量时, 即使条件相同, 每次测量的结果仍多不相同. 然而, 每次结果都围绕某一平均值上下涨落, 并且, 这种涨落是服从一定的统计规律的.

如 $\bar{N}$ 为长时间测量中所得某放射源在时间间隔 t 内的平均计数, 则在某一指定的时间间隔内测得计数为 N 的几率 $P(N)$ 服从统计规律中的泊松分布:

$$P(N) = \frac{(\bar{N})^N}{N!} e^{-\bar{N}} \quad \text{--- (1)}$$

泊松分布在平均数 $\bar{N}$ 比较小的情况下较为适用, 如果 $\bar{N}$ 的数值相当大时, 计算起来十分复杂, 在实际应用中很不方便, 这时可以利用 Stirling 近似公式

$$N! \approx \sqrt{2\pi N} N^N e^{-N}$$

将泊松分布转化为高斯分布:

$$P(N) = \frac{1}{\sqrt{2\pi N}} \cdot e^{-\frac{(\bar{N}-N)^2}{2N}}$$

高斯分布说明 N 对 $\bar{N}$ 的偏差具有对称性, 而且偏差大的几率大.

根据计算可得:

$$\rho^2 = \bar{N} \quad \rho = \pm \sqrt{\bar{N}}$$

ρ 称为标准误差, 它的意义是指完全相同条件下, 再作重复一次的测量时, 其计数结果将有 68.3% 的几率在 $\bar{N} \pm \rho$ 之间, 而有 31.7% 的几率在 $\bar{N} \pm \rho$ 之外.

当 N 相当大时, N 和 $\bar{N}$ 相差无几, 因此常用一次测得的 N

替代 $\bar{N}$ 而有:

$$P = \pm \sqrt{N}$$

P 是计数 N 的绝对标准误差, P 和 N 的比值称为计数 N 的绝对标准误差, (P 相对)

$$P_{\text{相对}} = \frac{P}{N} = \pm \frac{\sqrt{N}}{N} = \pm \frac{1}{\sqrt{N}}$$

如果要求每分钟内计数 n ($n = N/t$) 的标准误差则有:

$$\text{绝对标准误差} = \pm \frac{\sqrt{N}}{t} = \pm \frac{\sqrt{Nt}}{t} = \pm \sqrt{\frac{N}{t}}$$

$$\text{相对标准误差} = \pm \sqrt{\frac{N}{t}} / n = \pm \frac{1}{\sqrt{Nt}}$$

本底对测量准确度的影响, 当样品的计数率和本底的计数率处在同一数量级时, 本底就明显地影响到测量的结果, 如对某一样品进行测量, 测得计数率为

$n_a = n_{a+b} - n_b$ (n_{a+b} 为包括本底在内时样品的计数率, n_b 为本底的计数率) 则 n_a 的标准误差 P_a 可由测量 n_{a+b} 和 n_b 时的标准误差

P_{a+b} 和 P_b 来决定

$$P_{a+b} = \pm \frac{\sqrt{N_{a+b}}}{t_{a+b}} = \pm \sqrt{\frac{N_{a+b}}{t_{a+b}}}$$

$$P_b = \pm \frac{\sqrt{N_b}}{t_b} = \pm \sqrt{\frac{N_b}{t_b}}$$

$$P_a = \pm \sqrt{P_{a+b}^2 + P_b^2}$$

$$P_{\text{相对}} = \pm \sqrt{\frac{N_{a+b}}{t_{a+b}} + \frac{N_b}{t_b}} / (n_{a+b} - n_b)$$

由上式可以看出, 本底计数率愈大, 对放射性测量的准确度的影响也愈大, 测量的时间 t_{a+b} 和 t_b 愈大, 准确度就愈高, 因此我们在测量过程中经常要维持较小的本底和较长的测量时间, 但是过长的测量时间对我们并不利, 选择合适的测量时间是我们要考虑的问题, 究竟如何选择测量时间, 要根据我们对测量准确度的要求而定, 测量时间和相对标准误差有如下的关系:

$$t_{a+b} = \frac{n_{a+b} + \sqrt{n_{a+b}^2 - n_b^2}}{n_a^2 \cdot P_{\text{相对}}^2}$$

如果本底和样品的计数率之比小于所需求的准确度, 即

$\frac{n_b}{n_a} < P_{\text{相对}}$ 时, 则可参攷下式:

$$t = \frac{1}{\pi_a p_{\text{相对}}}$$

应用以上公式先用 1-2 分钟测出 π_{a+b} 及 π_b ，并将结果代入上述公式之一，求出 t_{a+b} 及 t_b ，实际测量时间可参照计标结果取整数。

放射性测量的结果可用下式表示：

$$\pi_a = \left(\frac{N_{a+b}}{t_{a+b}} - \frac{N_b}{t_b} \right) \pm \sqrt{\frac{\pi_{a+b}}{t_{a+b}} + \frac{\pi_b}{t_b}}$$

如果本底比被测量的放射性小很多（例如只有其 1% 或更小）因而可以忽略的话，则上式可以简化为：

$$\pi_a = \frac{N}{t} \pm \sqrt{\frac{\pi}{t}}$$

实验步骤：

1. 测量时间对计数率标准误差的影响

- (1) 接好定标器及计数管线路，检查计数管的阳极是否接定标器的正高压。
- (2) 让高压调节处在最低电压，检验定标器是否进位正常。
- (3) 调节高压到计数管的工作电压，测量本底 5 分钟。
- (4) 将放射源放在计数管下面的适当位置上，使计数率为 1000-5000 脉冲/分，用不同的时间间隔（ $t=1, 5, 10$ 分钟）测量计数率三次。
- (5) 将放射源放得离计数管远些，使计数率为 200-500 脉冲/分，用不同时间间隔（ $t=1, 5, 10$ 分钟）测量计数率三次。

2. 根据放射源的强度和测量准确度的要求，选择测定时间。

- (1) 要求相对标准误差为 4%，调节放射源和计数管的距离，使其计数率 200-300 脉冲/分，利用公式计算出测量时间，然后用这时间测量放射性强度（必须 $\frac{\pi_b}{\pi_a} > p_{\text{相对}}$ ）。
- (2) 要求相对标准误差为 4%，调节放射源和计数管的距离，使其计数率为 4000-5000 脉冲/分，利用公式计算出测量的时间，然后用这时间测量放射性强度（必须 $\frac{\pi_b}{\pi_a} < p_{\text{相对}}$ ）。

结果：

1. 测量时间对计数率标准误差的影响。

将步骤 1. (4) (5) 中的数据填入下表：

$$\text{本底 } \pi_b = \frac{N_b}{t_b}$$

