

实验名称：β射线的吸收

实验人员：朱天宇

学号：202211010110

实验目的

- 1、了解β射线在物质中的吸收规律。
- 2、利用吸收系数法和最大射程法，确定β射线的最大能量，并鉴别放射性核素。

实验原理

测定射线的能量是鉴别放射性核素的一种常用方法。β射线能量的测量可用β吸收法或利用各种β谱仪直接测量β谱。本实验介绍一种最为简单的方法——吸收法，即通过测定β粒子在吸收物质中的吸收系数或最大射程，然后换算出能量。此法求得能量的不确定性低于5%,目前在核燃料后处理、保健物理及污染分析等工作中有着广泛的应用。原子核在发生α衰变时，放出的α粒子其强度随能量变化为一条从零开始到最大能量Eβmax的连续分布曲线。一般来说，核素的不同，其最大能量Eβmax不同，因此，测定β射线的最大能量便提供了一种鉴别放射性核素的依据。一束β射线通过吸收物质时，其强度随吸收层厚度增加而逐渐减弱的现象叫做β吸收。对大多数β谱，吸收曲线的开始部分在半对数坐标纸上是一条直线，这表明它近似地服从指数衰减规律。

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu_m d_m}$$
 ,其中μm为物质的质量吸收系数，dm为质量厚度

连续β谱的吸收曲线是许多单能电子吸收曲线的叠加；同时，β射线穿过吸收物质时，受到原子核的多次散射，运动方向有很大改变，因此无确定的射程可言，亦不能如同单能α粒子的吸收那样，用平均射程来反映粒子的能量。确定β射线最大能量的方法，常用的有以下两种：

一、吸收系数法

实验证明，不同的吸收物质，μm随物质的原子序数Z的增加而缓慢增加。对一定的吸收物质，μm还与Eβmax有关。对于铝有下面的经验公式μm = 17 / Eβmax^1.14，其中μm的单位取cm^2/g, Eβmax的单位为MeV。

二、最大射程法。

一般用β射线在吸收物质中的最大射程Rβ来代表它在该物质中的射程。因此全吸收厚度就代表Rβ。通过Rβ与Eβmax的经验公式或曲线即得到Eβmax。经验证明，在铝中的Rβ(g/cm^2)和Eβmax(MeV)的关系如下：

当Eβmax>0.8MeV时，Eβmax = 1.85Rβ + 0.245

当0.15MeV < Eβmax<0.8MeV时，Eβmax = 1.92Rβ^0.725

当Eβmax<0.2MeV时，Rβ = 0.685Eβmax^1.67

在这种方法中，Eβmax的不确定性与Rβ和射程——能量关系式的准确程度有关。实际测量中，常把计数率降到原始计数率（无吸收）万分之一的吸收厚度作为Rβ。在测量吸收曲线时，β射线和韧致辐射干扰能够使得在吸收厚度超过Rβ后仍有较高的计数。

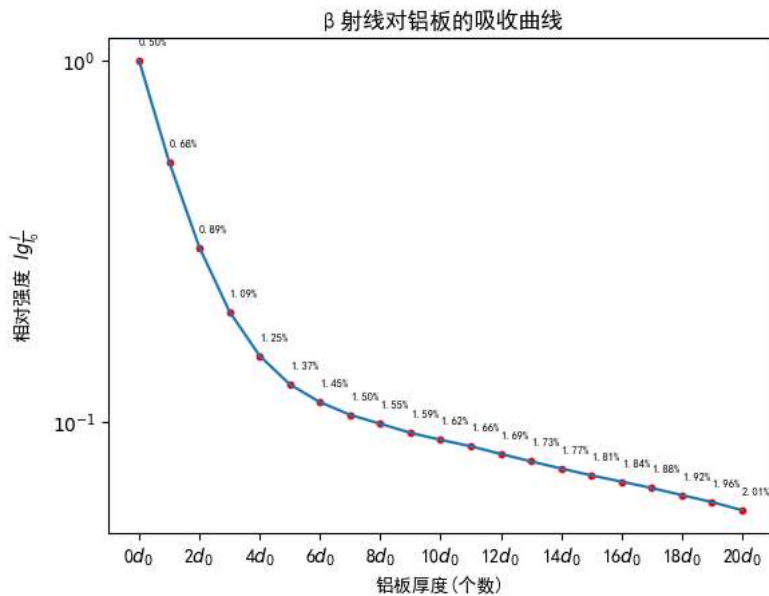
实验结果与数据处理

- 1. 在半对数坐标纸上画出吸收曲线，计算并标出各实验点的相对误差。

根据实验测定的数据，要求误差小于2%，故去除单次计数小于2500的通道的数据。本底射线的强度（计数率）为：49.83 计数/秒。α射线的强度以及穿过各个铝板后的强度如下表：

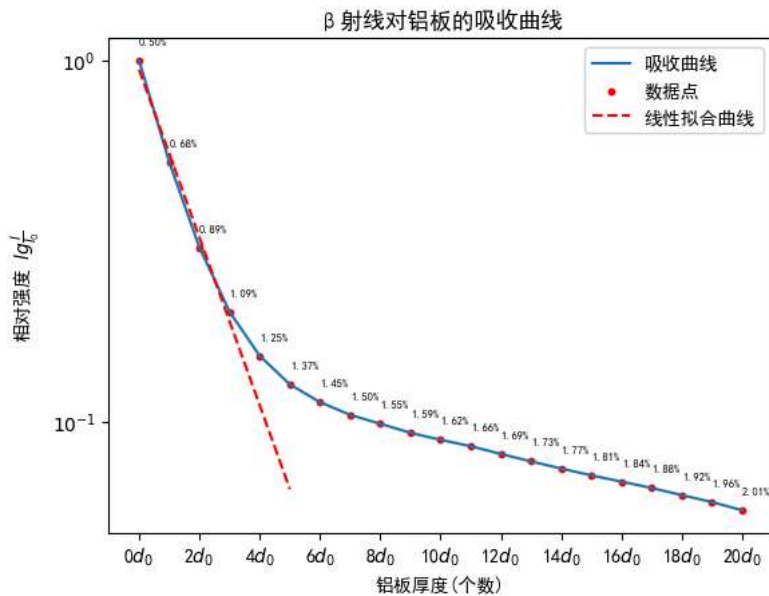
铝板个数	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
计数率 (计数/秒)	11652.630	6117.335	3577.815	2389.621	1816.609	1522.838	1365.184	1263.21	1195.879	1131.615	1081.17
续表	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
-----	1043.08	995.5294	951.4133	911.6598	874.8266	842.5933	811.1026	777.2444	745.8831	710.44	

去除本底强度后，将计数数据取对数lg，绘制出吸收曲线



2. 利用吸收曲线上近似直线部分的实验点，进行直线拟合确定 μ_m 并计算出 $E_{\beta max}$

考虑到铝板厚度小时，部分低能的 β 粒子也能穿过，应取吸收曲线的后半部分，又考虑到接近最大射程后有韧致辐射干扰，取 $0d_0 - 3d_0$ 的数据点进行拟合



得到参数 k 及其误差为 $k = -(0.232 \pm 0.016)/(\text{个数})$

注：由于我们以铝板个数而非厚度进行拟合，并且取10为底数，得到的参数 k 实际是吸收系数乘以单个铝板质量厚度 $\rho d_0 = 0.02g/cm^2$ 以及系数 $lg(e)$ 的参数 $lg(e)\mu\rho d_0$.计算能量为

$$E_{\beta max} = \left(\frac{17}{\mu_m}\right)^{1/1.14} = \left(\frac{17}{k/lg(e)/d_0\rho}\right)^{1/1.14} = 0.5583 \text{ Mev} = 558.3 \text{ keV}$$

3.用直接外推法，求出 R_β ，并计算 $E_{\beta max}$ 。

按照直接外推法，求出相对强度降低到百分之一的厚度，从2中的拟合图像可知 $y=k*x+b$ ，当 $y=10^{-2}$ 时， $x = (-2 - b)/k = 7.7067$,乘以单片的质量厚度 $\rho d_0 = 0.02g/cm^2$ ，得到 $R_\beta = 0.154g/cm^2$ ，从2知 $E_{\beta max}$ 应在 $0.15-0.8Mev$ 左右，套用公式 $E_{\beta max} = 1.92R_\beta^{0.725} = 0.4949Mev$ 比较知待测源为Cs-137，查资料知其最大 β 衰变的能量为 $0.512MeV$ 。相对误差为3.34%。

思考题

- 1.内转换常在重原子的最内几个电子壳层中发生，发射 γ 射线，其能量较高； β 射线一般会取代外层电子，能量较低。
2. α 射线的穿透能力差，在空气中的射程只有1~2厘米； β 射线穿透本领较强。 α 粒子是带正电的重粒子，在空气中极易电离，也容易与其他粒子碰撞，所以速度降低得很快，穿透能力差。

3.取 $E_{\beta max} = 0.765 MeV$,代入经验公式求出 $R_{\beta} = 0.2810 g/cm^2$,不能, 不同元素的电子排布不同, 致密程度也不同, 测出来的经验曲线也不同, 经验公式也不同。

4.粒子被散射后, 所测得粒子数减少, 测得吸收系数增大。可以选择原子核比较小的元素充当吸收片从而减少散射的影响。

5.采用较薄的吸收片, 依此增加吸收片的数量, 直到吸收曲线明显不成直线。因为这样测出来比较精确, 单吸收偏数量要多, 多次测量导致时间过长。

6.吸收系数法直接通过 μ_m 求出最大能量, 需要对曲线斜率进行拟合, 但总体来说比较方便。直接外推法, 有三段拟合公式, 拟合较为精准, 但是外推的过程误差很大。