

β 射线的吸收

赵宇航

摘要: 本实验测量了铝片对 β 粒子的吸收系数, 确定了 β 的最大能量。

1 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。

2 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—— β 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 β 衰变时, 放出的 β 粒子其强度随能量变化为一条从零开始到最大能量 $E_{\beta max}$ 的连续分布曲线。一般来说, 核素的不同, 其最大能量 $E_{\beta max}$ 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。如图 4-1 所示, 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

$$I = I_0 e^{-\mu d} = I_0 e^{-\mu/\rho(\rho d)} = I_0 e^{-\mu_m d_m} \quad (1)$$

(1)式中 I_0 为 β 射线通过吸收物质前的强度; I 为 β 射线通过吸收物质后的强度; d 和 d_m 是吸收物质的厚度和质量厚度(单位分别为 cm 和 g/cm^2); ρ 为 β 吸收物质的密度(g/cm^3); μ 和 μ_m 是线性吸收系数(cm^{-1})和质量吸收系数(cm^2/g)。

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:

2.1 吸收系数法

实验证明, 不同的吸收物质, μ_m 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,

μ_m 还与 $E_{\beta max}$ 有关。对于铝有下面的经验公式

$$\mu_m = \frac{17}{E_{\beta max}^{1.14}} \quad (2)$$

其中 μ_m 的单位取 cm^2/g , $E_{\beta max}$ 的单位为 MeV.可见只要取吸收曲线的直线部分的数据,进行直线拟合求出 μ_m ,并将 μ_m 值代入 (2)式,就可算出 $E_{\beta max}$ 。

2.2 最大射程法

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

当 $E_{\beta max} > 0.8MeV$ 时 ($R_\beta > 0.3g/cm^2$),

$$E_{\beta max} = 1.85R_\beta + 0.245 \quad (3)$$

当 $0.15MeV < E_{\beta max} < 0.8MeV$ 时 ($0.03g/cm^2 < R_\beta < 0.3g/cm^2$),

$$E_{\beta max} = 1.92R_\beta^{0.725} \quad (4)$$

当 $E_{\beta max} < 0.2MeV$ 时,

$$E_{\beta max} = 1.85R_\beta^{1.67} \quad (5)$$

在这种方法中, $E_{\beta max}$ 的不确定性与 R_β 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 R_β 。在测量吸收曲线时, β 射线和韧致辐射的干扰能够使得在吸收厚度超过 R_β 后仍有较高的计数。例如,为原始计数率的 1%,这就给射程的估计带来很大的误差。通常可用以下方法处理: 1.直接外推法将吸收曲线上各点计数,作本底和空气吸收厚度校正后,连接成一条新曲线,在新曲线上,计数率降低为原始计数率的百分之一处对应的横坐标之值 (g/cm^2) 即为最大射程 R_β 。对曲线不够长,需按趋势外推到百分之一处,故此法称为直接外推法。此种处理方法,对较强的单能纯 β 源求得的 R_β 较精确,但当源较弱或同时放出两种以上 β 射线且有 γ 射线时,外推的任意性较大,因此所求得的 R_β 误差也较大

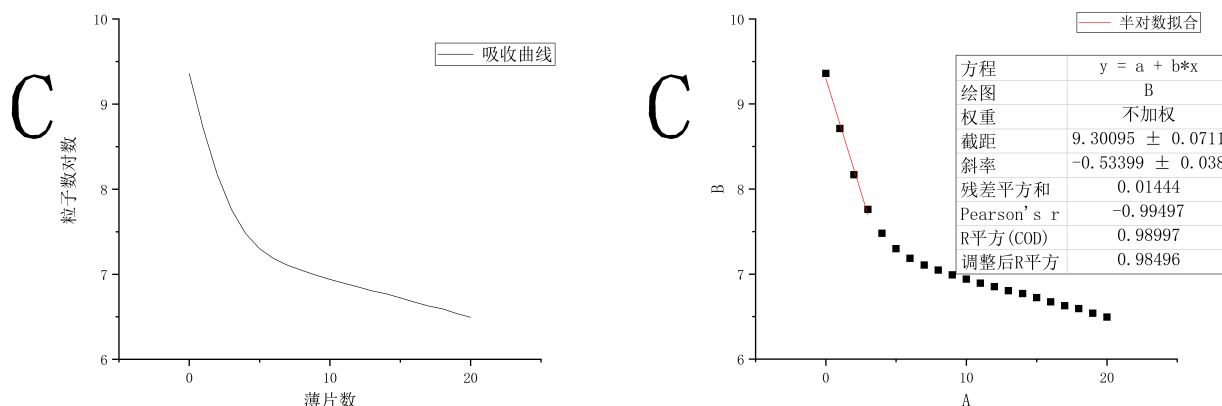
3 实验结果

3.1 吸收系数法

前后两次本底计数的均值都在50,去除本底后吸收片的数量与粒子数及其误差如下表

吸收片数量	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
粒子数	11608	6072	3528	2346	1769	1479	1320	1219	1148	1086	1033
相对误差(%)	1.17	1.73	1.50	1.52	1.62	1.67	1.73	1.46	1.54	1.61	1.69
吸收片数量	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
粒子数	986	945	901	871	831	790	756	730	692	661	
相对误差(%)	1.74	1.81	1.86	1.94	1.78	1.76	1.82	1.86	1.91	1.68	

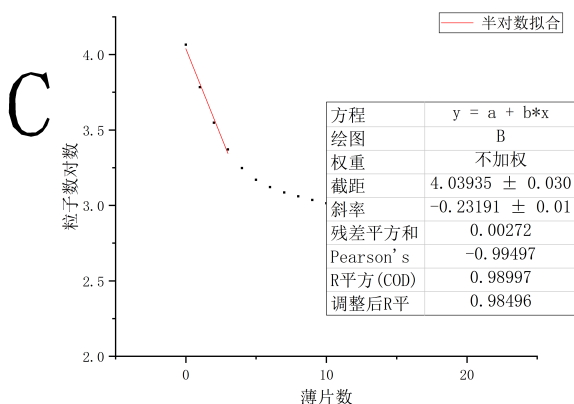
对粒子数取对数后，半对数坐标纸上画出吸收曲线如下（实验相对误差如上表）



拟合曲线如上，注意到实验中每片质量厚度为 $0.02\text{g}/\text{cm}^2$ ，故 $\mu_m = 26.7\text{cm}^2/\text{g}$ 。利用式(2)可以求得 $E_{\beta\max} = 0.673\text{MeV}$ 。

3.2 直接外推法

对粒子数以10为底取对数后，画出吸收曲线如下



延长后知直线与 $y = 2$ 交于 $(8.87, 2)$ ，即 $R_\beta = 0.1774\text{g}/\text{cm}^2$ 。利用式(4)，求得 $E_{\beta\max} = 0.548\text{MeV}$ 。

比较知待测源为 $\text{Cs} - 137$ ，查资料知其最大 β 衰变的能量为 0.512MeV 。相对误差为7.0%。

4 讨论

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。

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。

利用式(2)可以求得最大射程 $R_\beta = 0.281g/cm^2$ 。不能否用同一经验公式估计它在硅中的射程，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。

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减少散射的影响。

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，也节约了一部分时间。

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。