

卢瑟福散射

乔颖¹

1. 北京大学物理学院, 海淀区 北京 100871;

摘要: 本实验用 ^{241}Am 的 α 射线轰击金箔, 通过测量散射 α 粒子的计数, 得到了计数 N 与角度函数 $\frac{1}{\sin^4(\theta/2)}$ 的线性关系, 在一定程度上验证了卢瑟福散射公式.

关键词: 卢瑟福散射, α 粒子

1 引言

卢瑟福散射实验是近代物理学史上具有重大影响的实验, 它的作用在于由此发现并提出了原子的核式模型, 使人类对微观世界的认识进入了新的里程. 后来, 人们进而创造了一种用粒子的散射来研究物质结构的新实验方法—卢瑟福散射. 现在该方法成为材料科学, 特别是微电子应用领域的重要试验方法之一.

1909 年卢瑟福 (E.Rutherford) 和其他合作者盖革 (H.Geiger) 及马斯登 (E.Marsden) 用天然放射性 Ra 所发出的 α 粒子打到 Pt 箔上, 发现绝大部分 α 粒子平均只偏转 2° - 3° , 但大约 $1/800\alpha$ 粒子发生散射角大于 90° , 甚至接近于 180° , 即发现大角度散射的物理现象, 不能用汤姆逊原子模型来解释. 卢瑟福认为原子中的正电荷应该紧密地集中在一起的, 当 α 粒子碰到这点时就被弹了回来. 由于具有对物理现象的深刻洞察力, 卢瑟福最终提出了原子的核式模型.

卢瑟福实验已过去近百年, 至今仍有很强的指导意义. 通过实验, 学习透过物理现象认识微观世界的事物本质, 并从中总结出物理规律, 是我们设置教学实验的初衷.

2 实验原理

卢瑟福散射的基本思想: α 粒子被看做一带电质点, 在核库仑场中的运动遵从经典运动方程; 原子核的大小和原子相比是很小的, 且原子核具有正电荷 Ze 和原子的大部分质量; 电子的质量很小, 对 α 粒子运动的影响可忽略不计.

2.1 瞄准距离与散射角的关系

设 α 粒子以速度 v_0 沿 AT 方向入射, 由于受到靶核电荷的库仑场作用, α 粒子将沿轨道 ABC 运动, 即发生了散射. 因原子核的质量比 α 粒子的质量大得多, 可近似认为靶核静止不动. 如图所示, 原子核与 α 粒子入射方向之间的垂直距离 b 称为瞄准距离 (碰撞参数), θ 是入射方向与散射方向之间的夹角. 有

$$\cos\theta = \frac{2b}{D} \quad (1)$$

其中 $D = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2Ze^2}{mv_0^2/2}$ 始终为 α 粒子的质量.

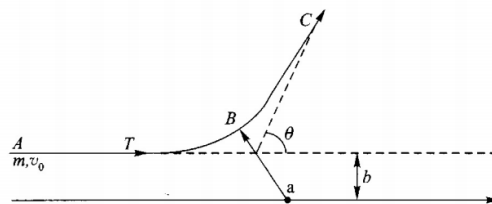


图 1 散射角与瞄准距离的关系示意图.

2.2 微分散射截面

有散射角与瞄准距离的关系式(2)可见,瞄准距离 b 增大,散射角 θ 就小;反之, b 小, θ 就大。只要瞄准距离 b 足够小,就可以足够大,这就解释了大角度散射的可能性。我们无法测量瞄准距离 b ,然而我们可以求出 α 粒子按瞄准距离的分布,根据这种分布就可以推出散射 α 粒子的角分布,而这个角分布是可以直接测量到的。

计算可以得到微分散射界面的公式为

$$\frac{d\theta}{d\Omega} = \left(\frac{D}{2}\right)^2 \frac{1}{\sin^2(\theta/2)} = \left(\frac{1}{4\pi\sigma_0}\right)^2 \left(\frac{Ze^2}{mv_0^2}\right)^2 \frac{1}{\sin^2(\theta/2)} \quad (2)$$

试验过程中,探测器灵敏面积对靶所张的立体角为 $\Delta\Omega$,则由卢瑟福散射公式得到某短时间内观察到的粒子数为

$$N = \left(\frac{1}{4\pi\sigma_0}\right)^2 \left(\frac{Ze^2}{mv_0^2}\right)^2 nt \frac{\Delta\Omega}{\sin^4(\theta/2)} T \quad (3)$$

式中 T 为该时间内射到靶上的 α 粒子总数。由该式可见,在 θ 方向上 $\Delta\Omega$ 内所观测到 α 粒子数 N 与散射靶的核电荷数 Z 、 α 粒子动能 $1/2mv_0^2$ 及散射角 θ 等因素都有关,其中 N 正比于 $1/\sin^4(\theta/2)$ 的关系是卢瑟福理论的最有力的验证。

3 实验内容和结果

本次的实验仪器如图所示:

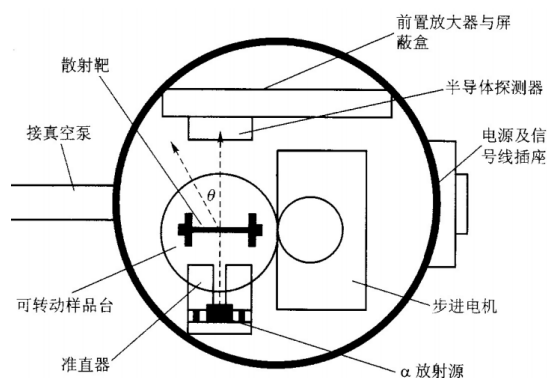


图2 实验装置中机械系统示意图。

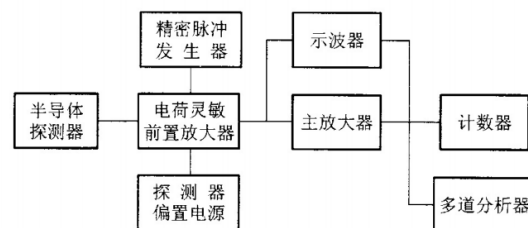


图3 实验装置中探测系统示意图。

按照图示连接好仪器后,首先是找出 $\theta = 0^\circ$ 的具体位置。确定方法是在 $\theta = \pm 10^\circ$ 附近测量,找到计数最大的位置。测量数据如下:

表1 物理 0° 角测量

位置/ $^\circ$	计数	位置/ $^\circ$	计数
-10	147	1	46937
-9	597	2	46068
-8	2684	3	46169
-7	5383	4	43877
-6	11191	5	42416
-5	15771	6	38985
-4	24345	7	36485
-3	30642	8	31000
-2	37596	9	25837
-1	42380	10	17687
0	45779	-	-

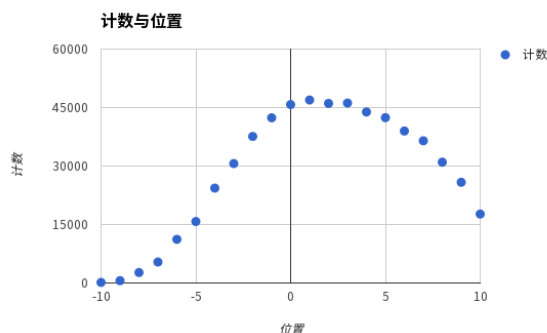


图4 计数随角度的变化曲线

从数据中可以看出在 1° 处为物理的 0° 。因此后续的计算就可以以此做矫正。(后续的角度数据都已修正)

而后测量在不同角度下的本底计数,数据如下:

表 2 本底计数

角度/°	计数
20	62
25	8
30	4
35	3
40	1
45	0
50	0

同理换上金箔靶，重新校正物理 0 点以及测量不同角度下的计数，数据如下：

表 1 加入 Au 箔靶后物理 0° 角测量

位置/°	计数	位置/°	计数
-10	1637	1	32143
-9	2876	2	31598
-8	6278	3	31241
-7	9344	4	29459
-6	13448	5	27311
-5	17206	6	23617
-4	22086	7	19750
-3	25427	8	15727
-2	28665	9	11917
-1	30007	10	7849
0	31532	-	-

表 2 卢瑟福散射计数，净计数为扣除本底计数后的结果

角度/°	计数	净计数
20	1289	1227
25	367	359
30	161	157
35	64	61
40	52	51
45	24	24
50	18	18

做出卢瑟福散射净计数和 $1/\sin^4(\theta/2)$ 的关系图如下：

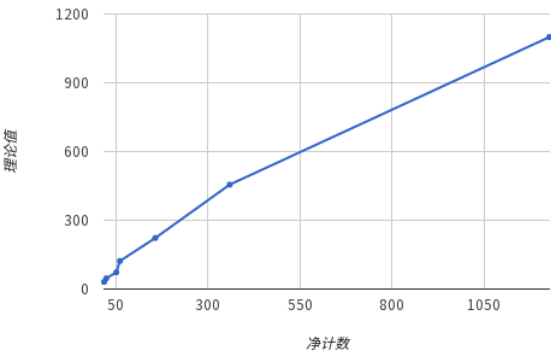


图 5 卢瑟福散射公式的验证.

从图中可以看出，散射 α 计数 N 与 $\frac{1}{\sin^4(\theta/2)}$ 基本呈线性关系，定性上验证了卢瑟福散射公式。

4 结论

本实验用 ^{241}Am 的 α 射线轰击金箔，通过测量散射 α 粒子的计数，得到了计数 N 与角度函数 $\frac{1}{\sin^4(\theta/2)}$ 的线性关系，在一定程度上验证了卢瑟福散射公式。

5 参考文献

[1] Peking Unviersity, Fudan University Nuclear Experiment Nuclear Publishing House, 1989 (in Chinese) (北京大学，复旦大学. 原子核实验 原子能出版社, 1989)