

相对论验证试验中的一些问题

A8 电子科学与技术

07300300074

王海东

摘要：讨论了在 β 粒子验证相对论动量与能量关系中实验曲线较理论曲线越偏越大的原因
讨论了是先定标还是先测 β 粒子的问题
对 γ 能谱仪和相对论实验合并做出建议

简单介绍实验

1 实验原理

经典力学动能与动量关系

经典力学认为时间和空间是两个独立的观念，没有联系。一切力学规律在伽利略变换下是不变的。

假设一个质量为 m ，速度为 v 的物体

动量 $P=mv$

动能 $E_k=mv^2/2$

动能动量关系 $E_k=P^2/2m$

如果从图像来看， E_k 和 P 之间是一个二次函数的关系

狭义相对论的动能与动量关系

爱因斯坦于 1905 年提出了狭义相对论：并据此导出了从一个惯性系到另一个惯性系的变换方程即“洛仑兹变换”

静止质量为 m_0 ，速度为 v 的物体

动量 $P=mv$

动能 $E=mc^2$

其中 $m = m_0 / \sqrt{1 - \beta^2}$, $\beta = v/c$

动能与动量关系 $E_k = E - E_0 = \sqrt{c^2 p^2 + m_0^2 c^4} - m_0 c^2$

如果从图像上看， E_k 和 P 之间更接近与一次函数的关系

2 实验方法

由 $^{90}_{38}\text{Sr}-^{90}_{39}\text{Y}$ 源出射的 β 粒子垂直射入均匀磁场，因受到与运动方向垂直的洛伦兹力作用而作圆周运动。在磁场外距 β 源 ΔX 处放置一事先进行过能量定标的闪烁探测器来接收从该处出射的 β 粒子，则这些粒子的能量即可由探测器直接测出；而粒子的动量值为：

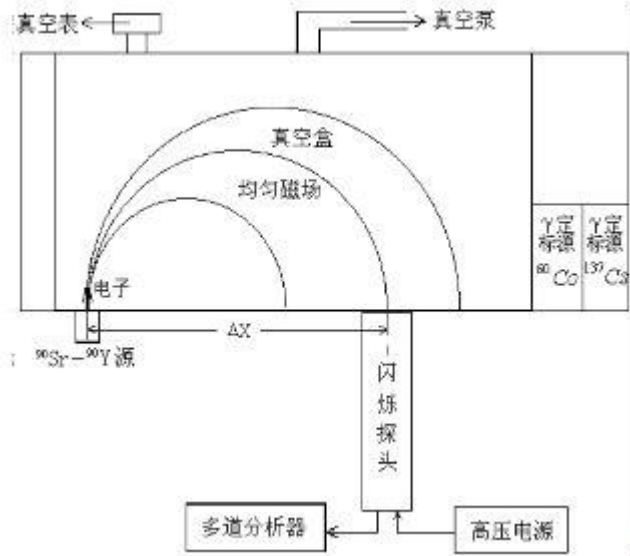
$$p = eB R = eB \Delta X / 2.$$

由于从 β 源 $^{90}_{38}\text{Sr}-^{90}_{39}\text{Y}$ 射出的 β 粒子具有连续的能量分布(0~ 2127MeV)，因此探测器在不同位置(不同 ΔX)就可测得一系列不同的能量值及与之对应的动量值。这样就可以确定测量范围内动能与动量的对应关系，进而验证相对论给出的理论公式的正确性。

实验中用 ^{137}Cs 和 ^{60}Co 对 NaI(Tl) 闪烁探头进行能量定标以确定入射粒子的动能 E 与道数 CH 的关系并在 31.5、27.5、22.5、20.1、17.6 这 5 个地方进行了测量

3 实验装置

实验装置主要由以下部分组成：①真空、非真空半圆聚焦 β 磁谱仪；② β 放射源 $^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$ (强度 ≈ 1 毫居里)，定标用 γ 放射源 ^{137}Cs 和 ^{60}Co (强度 ≈ 2 微居里)；③ $200\mu\text{mAl}$ 窗 NaI(Tl) 闪烁探头；④数据处理计算软件；⑤高压电源、放大器、多道脉冲幅度分析器。



实验中的数据以及原始处理

实验中定标记录

定标物	channel	能量
Cs	90	0.184Mev
	340	0.662Mev
Co	597	1.170Mev
	684	1.330Mev

用最小二乘法拟合，得到直线方程：

$$Y=0.0141+0.0019X$$

探头位置 (cm)	采集时间 (s)	全能峰位置 (channel)	能量 (Mev)
31.5	500	854	1.6367
27.5	500	646	1.2415
22.5	500	385	0.7456
20.1	500	258	0.5043
17.6	500	117	0.2364

实验数据校正处理

1 β 粒子的能量损失

实验中 β 粒子在磁谱仪中高速运动，将会通过 3 种形式损失部分能量：

1) 由磁谱仪射出时穿过 1 层有机塑料密封膜损失能量；

对于实验中用的探测器 NaI (Tl)晶体的缺点是容易潮解，因此在表面要用 200um 的铝来密封，此外还有 20um 的铝膜反射层；这部分铝对 γ 射线的能量没有影响（定标无需校正），但是会衰减 β 射线的能量。这种能量损失和入射粒子能量的关系基本上近似为指数衰减形式，可以达到 10%左右

$E_0(\text{MeV})$	$E_K(\text{MeV})$	$E_0(\text{MeV})$	$E_K(\text{MeV})$	$E_0(\text{MeV})$	$E_K(\text{MeV})$
0.317	0.200	0.887	0.800	1.489	1.400
0.360	0.250	0.937	0.850	1.536	1.450
0.404	0.300	0.988	0.900	1.583	1.500
0.451	0.350	1.039	0.950	1.638	1.550
0.497	0.400	1.090	1.000	1.685	1.600
0.545	0.450	1.137	1.050	1.740	1.650
0.595	0.500	1.184	1.100	1.787	1.700
0.640	0.550	1.239	1.150	1.834	1.750
0.690	0.600	1.286	1.200	1.889	1.800
0.740	0.650	1.333	1.250	1.936	1.850
0.790	0.700	1.388	1.300	1.991	1.900
0.850	0.750	1.435	1.350	2.038	1.950

2) 与磁谱仪中空气摩擦损失能量；

由于实验中的 β 射线是在低真空条件下进行的（实验中抽了真空），因此与空气摩擦损失的能量非常的小，实验室并没有给出校正

3) 穿过探头上的金属密封片损失能量

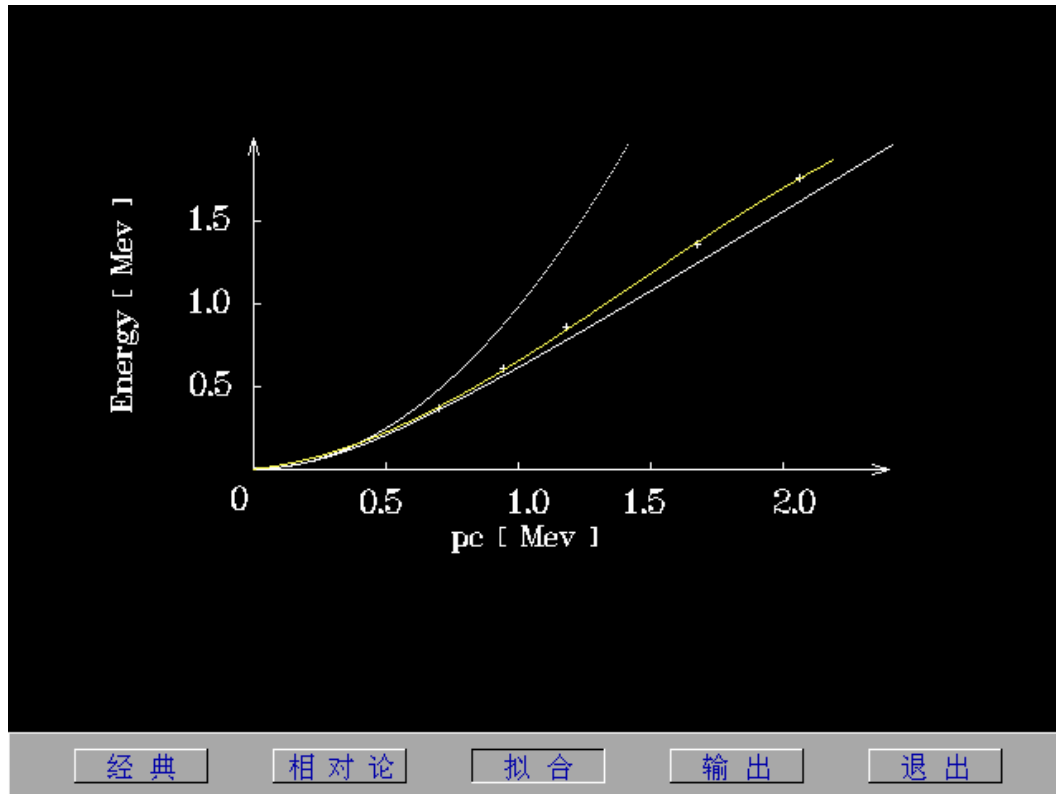
实验中，封装真空室的有机塑料薄膜对 β 射线也存在一定的能量吸收

$E_K(\text{MeV})$	0.382	0.581	0.777	0.973	1.173	1.367	1.567	1.752
$E_0(\text{MeV})$	0.365	0.571	0.770	0.966	1.166	1.360	1.557	1.747

因此经过校正后

CH=340	E=0.662				
CH=90	E=0.184				
CH=597	E=1.170				
CH=684	E=1.330				
CH=854	E=1.759	X=31.5	PC=2.065	PCT=2.212	DPC=6.6%
CH=646	E=1.355	X=27.5	PC=1.675	PCT=1.795	DPC=6.7%
CH=385	E=0.850	X=22.5	PC=1.183	PCT=1.261	DPC=6.2%
CH=258	E=0.608	X=20.1	PC=0.948	PCT=0.996	DPC=4.8%
CH=117	E=0.363	X=17.6	PC=0.702	PCT=0.709	DPC=1.0%

然后可以拟合出图像

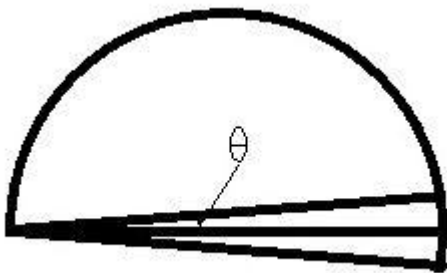


实验结果讨论以及改进

1) 我通过实验所得曲线，发现斜率比理论值偏大

因此，我从计算公式出发对可能造成的原因进行了猜想，首先我从公式出发。在实验中我们用 $P=eBR$ 对动量进行了计算。从这个实验中可以发现 B 和 R 是变量。

在实验中 B 采用的是平均磁场进行拟合，虽然肯定有误差，但是如果是 B 的原因，可能下偏也可能上偏，但是在实验中我们得到的大多数都是上偏的。于是我猜想是 R 的原因如下图



我猜想可能由于摆放，或者之类的原因，实际测的的 R 并没有通过圆心，即比实际值要偏小，导致 P 偏小，这是一个 $R\cos\theta$ 的关系。这也可以解释为什么越偏越大的原因。不过由于是在整理报告的时候发现的，我并没有回实验室进行进一步的实验，因此这还是猜想阶段。

2) 在实验中我发现有的人先进行定标，再测量 β 粒子的能量，有的组先测 β 粒子的能量，再对本底进行测量

我从实验结果得出结论，我认为这个实验还是应该先测 β 粒子再进行定标，因为从实验结果可以看见 β 粒子在 $D=31.5$ 处的能量为 1.7 左右，而定标的最大值是 1.330MeV，如

果先定标，然后根据定标物调节道指的话很有可能会在 31.5 处看不到全能峰。因此还是要根据实际情况做相应的改变。

3) 关于 γ 能谱仪实验和相对论实验合并的提议

我发现相对论实验中运用了大量的 γ 能谱仪实验中的原理，并且定标的参照物也相同，完全可以两个实验合并，一起做。希望实验老师加以考虑

本实验得到了姚老师的悉心指导，深表感谢

参考文献:

- [1] 粒子验证相对论动量_能量关系实验中的一些问题 郭慧民 周会
[2] 近代物理实验补充讲义