

相对论效应实验报告

林照翔

2022级理论物理2班

学号:320220935801

组号:38

(Dated: 2024 年 12 月 29 日)

摘要

本实验通过测量高速运动电子的动量和动能来验证狭义相对论的动量和动能关系。通过本次实验可以简单了解半聚焦磁谱仪的原理与应用，掌握 $\gamma - \beta$ 闪烁谱仪以及多道脉冲器的应用并通过数据处理及计算机软件绘图提高实验研究的基本能力。

I. 引言

A. 相对论效应实验原理

1. 经典力学中动能和动量的关系

经典力学中，电子动能 E_k 和动量 p 的关系为：

$$E_k = \frac{p^2}{2m_0}$$

其中， m_0 是电子的静止质量。

2. 狭义相对论中能量和动量的关系

在狭义相对论中，爱因斯坦质能方程给出：

$$E = mc^2$$

其中， E 是运动电子的总能量， m 是运动电子的动质量， c 是光速。

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

其中， v 是电子的速度。

当电子静止时，静止能量为：

$$E_0 = m_0c^2$$

狭义相对论中电子的能量和动量的关系：

$$E^2 - p^2c^2 = m^2c^4 - m^2v^2c^2 = m^2c^2(c^2 - v^2) = \frac{m_0^2}{1 - v^2/c^2}c^2(c^2 - v^2) = m_0^2c^4$$

电子的动能是电子的总能量与静止能量之差：

$$E_k = E - E_0 = \sqrt{(p^2c^2) + (m_0c^2)^2} - m_0c^2$$

这就是狭义相对论中动能与动量的关系。

II. 实验方法

A. 半圆形磁谱仪

β 源射出的高速 β 粒子经准直后垂直入射一竖直方向的均匀磁场，粒子受与运动方向垂直的洛伦兹力而作圆周运动。运动方程为：

$$evB = \frac{mv^2}{R}$$

因此：

$$v = \frac{eBR}{m}$$

$$p = mv = eBR$$

其中， R 为圆形轨道的半径，为源与探测器间距的一半：

$$R = \frac{1}{2}(x - x_0)$$

其中， x_0 是源的位置， x 是探测器的位置。

B. 能量定标

闪烁探测器采用多道分析器， β 粒子的动能 E_k 与道数 CH 成正比。本实验采用 ^{137}Cs 标准源进行能量定标。动能与道数的关系为：

$$E_k = a + b \times \text{CH}$$

表 I. 能量定标

| | | |
|---------|-------|-------|
| 能量(MeV) | 0.184 | 0.662 |
| 道数 | 92 | 727 |

从中可以得到：

$$a = 0.115\text{MeV}, \quad b = 7.53 \times 10^{-4}\text{MeV}$$

III. 结果与讨论

A. 实验结果和数据处理

放射源位置 $x_0 = 9.50\text{cm}$ ，磁场强度 $B = 740\text{G}$

表 II. 探测器位置与道数关系

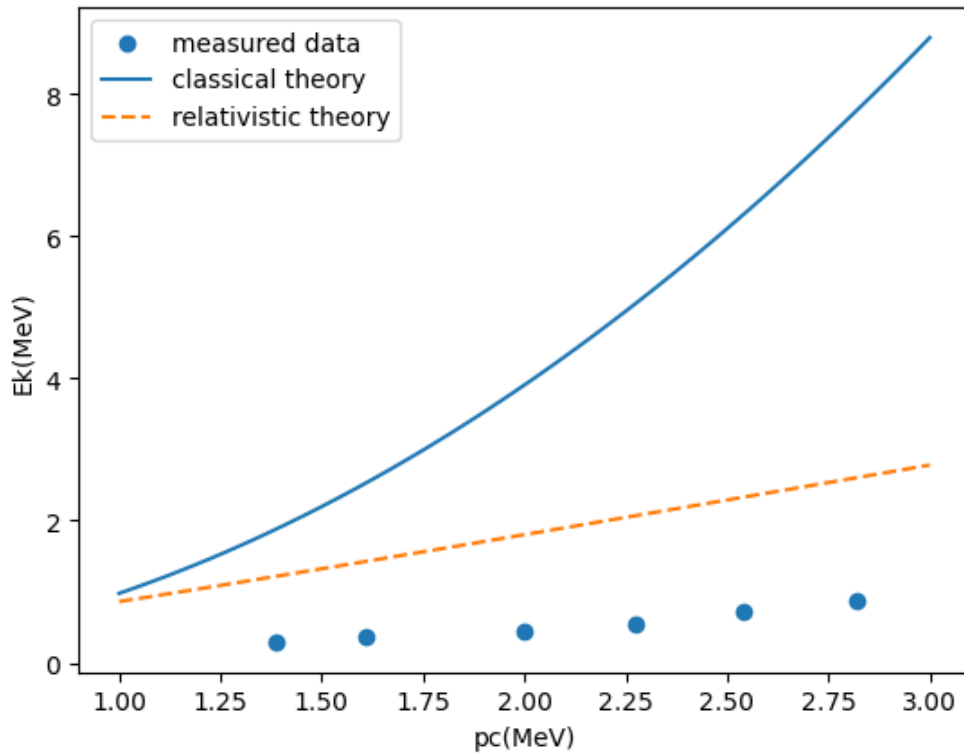
| | | | | | | |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 探测器位置 x (cm) | 34.90 | 32.40 | 30.00 | 27.50 | 24.00 | 22.00 |
| 道数 CH | 995 | 809 | 581 | 435 | 335 | 237 |

根据 $p = eB(x - x_0)/2$, $E_k = a + b \times \text{CH}$ 可得:

表 III. 动能与动量关系

| | | | | | | |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| pc (MeV) | 2.8149 | 2.5419 | 2.2755 | 1.9980 | 1.6095 | 1.3875 |
| 动能 E_k (MeV) | 0.8642 | 0.7241 | 0.5525 | 0.4426 | 0.3673 | 0.2935 |

采用 pc 而非 p 作为横坐标, 是为了使动能 E_k 与 pc 的数值在数量级上相差不大。且 E_k 与 pc 有相同量纲, 更便于分析二者关系。

图 1. E_k 与 pc 关系图

IV. 结论

本实验通过测量高速运动电子的动量和动能来验证狭义相对论的动量和动能关系。将所测数据点分别与经典的动量-动能关系和相对论的动量-动能关系的线型进行对比, 验证了高速运动的电子的动量-动能关系服从相对论的动量-动能关系。