

快速电子动量与动能的相对论关系虚拟仿真实验

物理学系 陈艳艳 18307110449

一、实验目的

- 1、掌握测量快速电子的动量、动能方法，研究它们的相对论关系；加深对爱因斯坦狭义相对论理解；
- 2、理解对快速电子的能量修正的必要性；
- 3、掌握半圆聚焦磁谱仪、闪烁能谱仪等实验仪器使用方法；
- 4、体会用核技术方法实现动量、动能的同时测量这一实验设计的巧妙之处。

二、实验仪器及材料

真空半圆聚焦磁谱仪、闪烁体探测器、多道分析软件测量、仿真铯 90 β 放射源、铯 137 γ 放射源、钴 60 γ 放射源等。

三、实验原理

- 1、经典力学和狭义相对论理论中运动粒子动量与动能的关系。电子的 $m_0c^2 = 0.511MeV$ 。

$$\text{经典力学: } E_k = \frac{1}{2} \frac{p^2 c^2}{m_0 c^2} = \frac{p^2 c^2}{2 \times 0.511}$$

$$\text{狭义相对论: } E_k = \sqrt{p^2 c^2 + m_0^2 c^4} - m_0 c^2$$

- 2、快速电子动量(PC)的测量

垂直于匀强磁场入射的电子由于受洛伦兹力作用沿半圆轨道做圆周运动。由探测器位置 X、放射源位置,得到进入探测器的快速电子做圆周运动的直径,由半径和磁场强度可计算出快速电子动量 (PC) 的大小, $p = mv = eBR$, 为简便计算, 定义 $PC = pc = eBRc$, 其中 c 为光速。

- 3、快速电子动能的测量

由于能量的大小与能峰的位道址值是成线性关系的，若测得几个已知能量的粒子峰位道址值，则能对该线性关系进行能量定标。实验中利用铯 137 γ 放射源的 0.661MeV、和钴 60 γ 放射源的 1.17 MeV、1.33 MeV 能量进行定标。定标后，把快速电子能峰测量的道址值代入定标关系式中，就可以得到快速电子动能的大小。

4、能量修正

把测量出的快速电子动能加上能量探测器的能量修正值 ΔE (ΔE 可以从实验操作界面铭牌上直接读出)，能实现简单的能量修正。

四、实验内容

1、测量钴 60 的 γ 能谱，观察 1.33MeV 光电峰的峰顶记数达到 1000 以上后(尽量减少统计涨落带来的误差)，对能谱进行数据分析。记录下 1.17MeV 和 1.33MeV 两个光电峰在多道能谱分析器上对应的道数；

2、测量铯 137 的 γ 能谱，观察 0.662 MeV 光电峰的峰顶记数达到 1000 后对能谱进行数据分析，记录下 0.662 MeV 光电峰在多道能谱分析器上对应的道数；

3、真空状态下，测量铯 90 源快速电子的动量和动能，探测器与铯 90 源的距离 X 在 20.00~37.50cm 范围，保证获得动能范围分布较广的单能电子；选定探测器位置后开始逐个测量单能电子能峰，记下峰位道数 CH 和相应的位置坐标 X ；

4、非真空环境下观察铯 90 辐射源的快速电子运动轨道变化，对比真空和非真空条件下运动轨道变化。

五、实验数据的处理及结果

1、原始数据表格

参考最佳电压值U为 572.2 V。

实验中半圆磁谱仪上所标注的磁场强度B为 610.49 Gs。

光电倍增管能量修正值 ΔE 为：0.26 MeV。

(1) 用钴 60、铯 137 给能谱仪定标

进行定标操作后，将钴 60 全能峰 1.17MeV 和 1.33MeV 及铯 137 全能峰

0.661MeV 所对应的道址记录在表一：

表一 定标原始数据

E 峰 (MeV)	1.170	1.330	0.661
道址值	529	601	292

(2) 利用 ^{90}Sr 放射源进行实验验证相对论关系

在高压电源输出值稳定的情况下，在 20.0-37.50cm 之间改变铯 90 放射源与闪烁探测器之间的距离（其中放射源的位置固定为 9.00cm），通过探测器得到对应的全能峰峰位道址，原始数据记录于表二。

表二 探测器位置和全能峰峰位道址数据

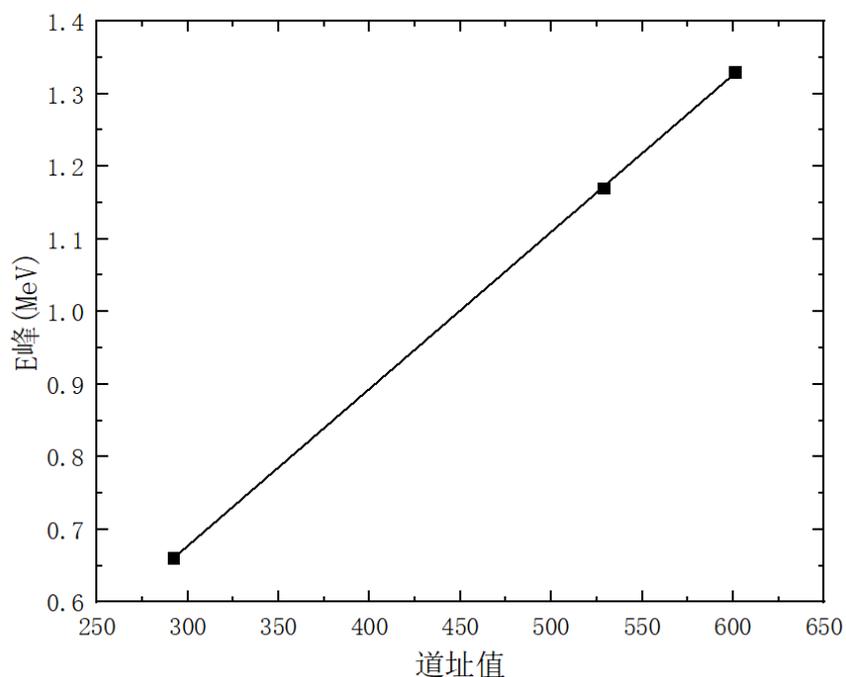
位置 x (cm)	20.00	22.50	25.00	27.50
全能峰峰位 N	195	279	364	448
位置 x (cm)	30.00	32.50	35.00	37.50
全能峰峰位 N	533	616	703	785

2、实验数据处理

(1) 用最小二乘法对表一数据进行线性拟合，得到定标斜率和截距分别为：

$K=0.00216\pm 0.00002$, $B=0.029\pm 0.007\text{MeV}$ 。R 平方为 0.99998。

图一 全能峰峰位道址和探测器位置关系的线性拟合结果



(2) 由测出的位置数，得到探测器探测处半径，计算出 PC 值，计算经典力学的动能大小 E_k 经典，计算得到 E_k 相对理论值；由测量的全能峰峰位，根据定标线，得到 E_k 相对测量值，最后利用光电倍增管能量修正值得到 E_k 相对修正值，如表三所示。

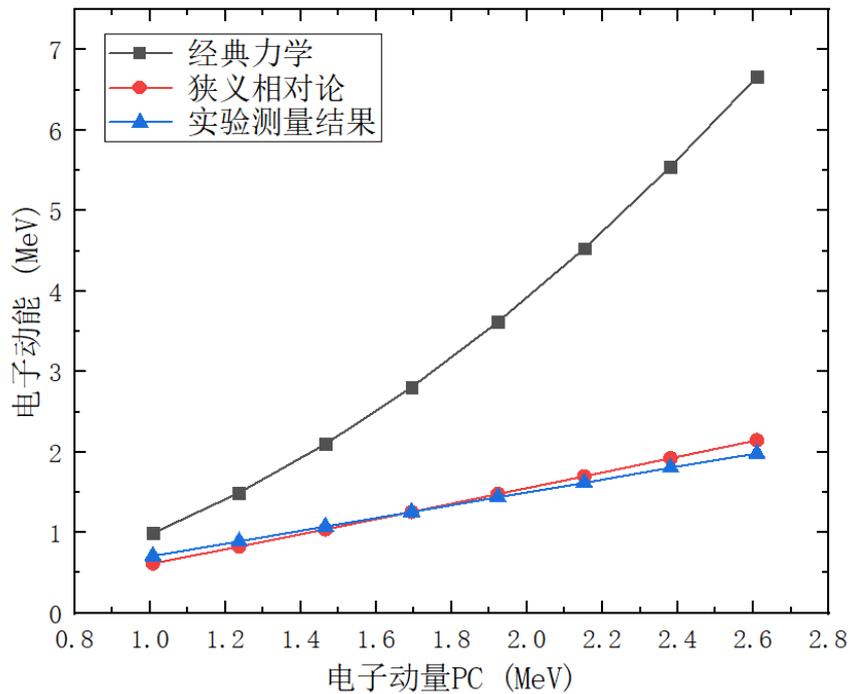
表三 数据处理表 (放射源位置 9.00cm)

位置 x (cm)	20.00	22.50	25.00	27.50	30.00	32.50	35.00	37.50
半径 R(cm)	5.50	6.75	8.00	9.25	10.50	11.75	13.00	14.25
PC(MeV)	1.01	1.24	1.47	1.69	1.92	2.15	2.38	2.61
E_k 经典 (MeV)	0.99	1.50	2.10	2.81	3.62	4.53	5.55	6.66
E_k 相对 (理论 MeV)	0.62	0.83	1.04	1.26	1.48	1.70	1.92	2.15
全能峰峰位 N	195	279	364	448	533	616	703	785

E_k 相对 (测量 Mev)	0.45	0.63	0.82	1.00	1.18	1.36	1.55	1.72
E_k 相对 (修正 Mev)	0.71	0.89	1.08	1.26	1.44	1.62	1.81	1.98

(3) 以 PC 为横轴, E_k 经典、 E_k 相对 (理论)、 E_k 相对 (修正) 为纵轴, 作出经典力学理论和相对论理论以及实验测量结果的快速电子动量动能关系图。由图可得, 当电子动量较小时, 经典力学给出的动能是狭义相对论的极限。当电子动能增大时, 两者给出的动能偏差越来越大, 狭义相对论更能解释实际电子的运动情况。

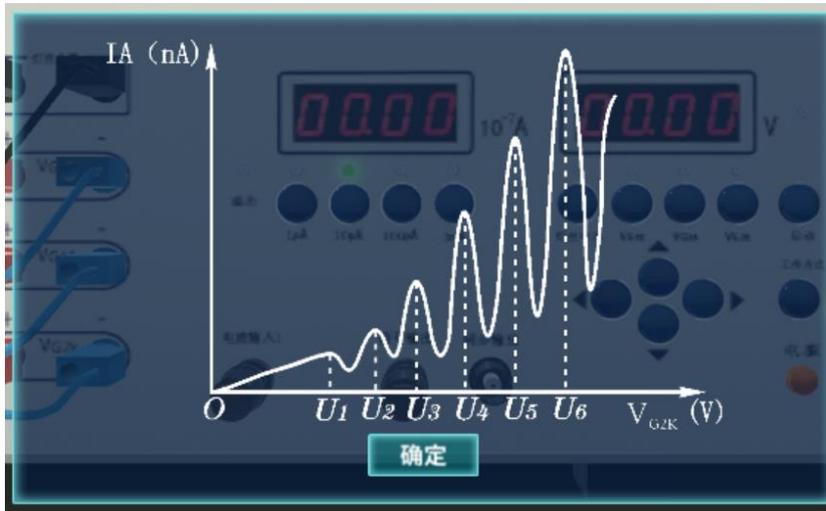
图二快速电子动量动能关系图



基于原子尺度的微观物理虚拟仿真实验

陈艳艳 18307110449

一、弗兰克赫兹实验的结果及数据分析



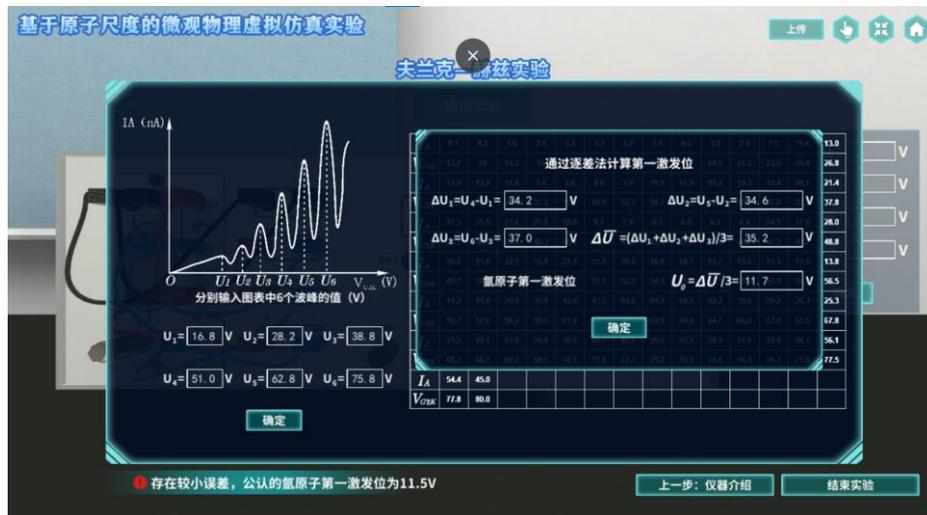
测量电流随电压的变化，读出六个峰值点对应的电压值。

U1	U2	U3	U4	U5	U6
16.8V	28.2V	38.8V	51.0V	62.8V	75.8V

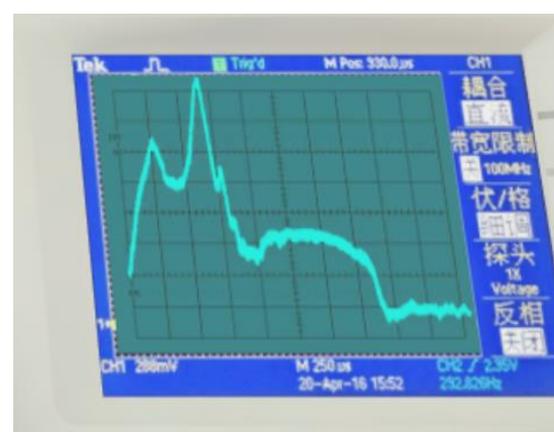
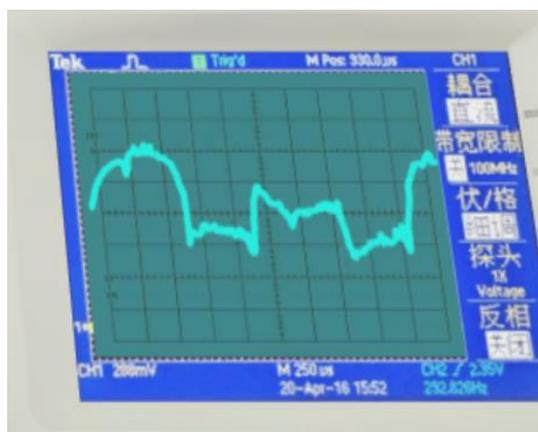
逐差法计算第一激发位：

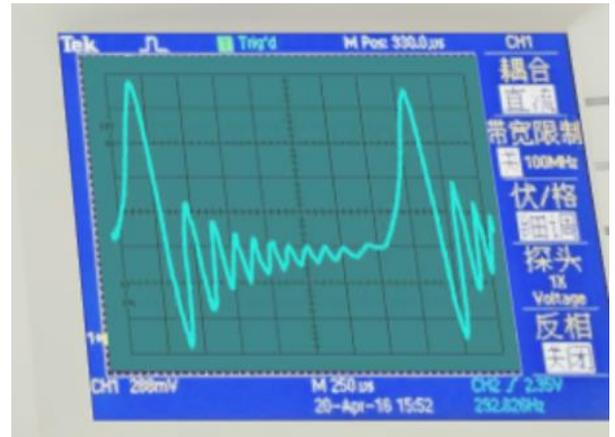
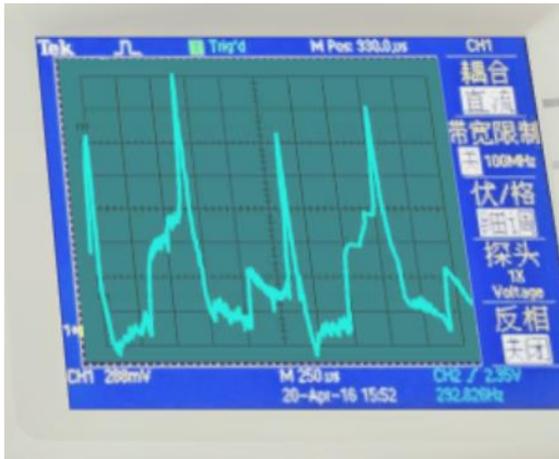
$U_3 - U_1 = 34.2V$; $U_4 - U_2 = 34.6V$; $U_5 - U_3 = 37.0V$ 。平均值 ΔU 为 $35.2V$ 。

实验得到的原子第一激发位为 $U = \Delta U / 3 = 11.7V$ ，与公认的原子第一激发位相比误差为 1.74%。



二、核磁共振实验





出现较明显的波形（第 3 幅波形图）之后，进行微调，直至能看到较多尾波的波形（第 4 幅波形图）。

此时频率计显示的频率是 20.44 赫兹，此即对应达到核磁共振时的频率。