

磁 β 谱仪中弱磁场分布的测量

孙亲仁、林树棧、茅乃丰、司国建、吴登喜

(原子能研究所)

摘 要

利用二次谐波磁通门磁强计测量了一台低能有铁双聚焦 β 谱仪的弱磁场(磁感应强度约10高斯)分布,相对测量精度好于 $\pm 0.05\%$ 。这台谱仪用于氚 β 衰变 β 谱的测量,以进一步测定电子反中微子的静止质量。

一、引 言

测量氚 β 衰变的电子能谱是目前确定电子中微子静止质量的一条重要途径。北京原子能研究所将一台实验型255°双聚焦电磁分离器^[1]改装为磁 β 谱仪,用于中微子质量测定的研究工作。

这台谱仪的中心轨道半径为40cm,真空室尺寸为 $170 \times 140 \times 35\text{cm}^3$,具有较高的分辨率和透射率。

真空室的上下铁盖板就是谱仪磁铁的上下极靴,而用于磁场成形的铁磁垫片和垫补线圈就安装在盖板的内侧。谱仪磁场在空间的变化范围为6.6到15.4高斯。由于谱仪对场的空间分布有较高的精度要求,因此必须精密地测量真空室中间平面上场沿径向和辐向的分布,而后改变真空室外侧特定位置上的小型铁垫片和垫补线圈中的垫补电流以获得所要求的场分布^[2]。

因为工作磁场很弱,所以谱仪剩磁、地磁以及周围环境杂散电磁场对它均有影响,应一并加以考虑。

二、测量方法

霍尔法可以用于弱场的测量,它的响应快,特感区小,使用方便,但测量精度不高。霍尔片FC-34的不等位势约为0.84mV,而在工作场下的讯号低于这个值,即讯号淹没在不位势中。可以采取的措施来消除不等位势,而后将讯号通过数据放大器放大数百倍以提高分辨率。测量结果表明其精度可达 $\pm 2\%$ 。但不等位势的不稳定性和霍尔片在弱磁场下的非线性限制了精度的进一步提高。

二次谐波磁通门磁强计^[3]是弱磁场定点测量的理想工具。为此,我们采用这类磁强

计(CHO-1 型^[4])进行磁场测量。所用仪器的探头由宽 2mm 的高导磁率的坡莫合金带绕成长 50mm 的跑道磁芯。在 50KHZ 交流讯号的激励下,磁芯很快饱和,输出对称的梯形波。如果把探头放入被测场,梯形波上下半周变得不对称,从其中取出二次谐波分量,这个分量正比于被测场强。

为了适应我们的测量工作,仪器的量程扩大到 20 高斯。仪器的绝对测量精度一般为 $\pm 2\%$, 故不宜作为 β 能谱的绝对定标,但可用于磁场的高精度相对测量。用于相对测量时,精度的提高主要通过外接数字电压表,用提高灵敏度和分辨率的办法来实现。使用六位数字表(如 Thurlby 1905 A)时最后一位为 1×10^{-4} 奥,灵敏度是足够的。

三、测量支架

测量支架安装在真空室中间,用来带动探头沿径向和辐角方向运动并进行测量。

支架上有一径向导轨,一小车沿径向导轨运动,小车上固定着毫奥计的探头,导轨上每隔 20mm 安装一个定位销,定位销使小车准确地停留在测量位置上,定位误差为 0.02—0.03 mm。

真空室的中心有一不锈钢支柱,支架还可绕此中心柱作辐角方向运动。

支架,特别是探头附近支架零件的材料和加工工艺,必须慎重考虑。不同牌号的防磁不锈钢的防磁性能相差很大,选用时要慎重。

四、测量精度分析

1. 线性: 用螺管线圈标准场对探头进行了逐点检定,螺管线圈常数为 4.708 高斯/安,误差不大于 0.05%。对于检定测量得到的一组数据进行最小二乘拟合,得到线性函数

$$y = -12.409 \times 10^{-3} + 1.0138x \quad (\text{高斯}) \quad (1)$$

式中 x 为螺管线圈场, y 为仪器读数。测量值与计算值的均方根误差为 4.77×10^{-4} 。

由此可见,虽然绝对值误差较大,但探头和仪器的线性是相当好的。

2. 仪器的温漂和时漂: 120×10^{-3} 高斯/24 小时。测量一组工作场分布的数据只需半小时,故漂移的影响不大。

3. 仪器的零点: 在零场空间(磁屏蔽筒)中加以校正。

4. 工作场的稳定度: 好于 $\pm 1 \times 10^{-4}$ /小时。

5. 探头的尺寸效应: 探头的径向尺寸为 2 mm,轴向尺寸为 50 mm。由此引进的测量误差小于 5×10^{-4} ,修正后误差还可减小。

6. 环境影响: 虽然谱仪上下极靴对杂散磁场有一定的屏蔽作用,但周围铁磁物质与天车的移动对工作场的影响仍是不可忽视的,在测量期间周围铁磁物质及产生杂散场的设备要尽可能远离,并且处于静止或关闭状态。

通过以上的误差分析和消除误差的措施,弱磁 β 谱仪场分布的相对测量精度可以好于 $\pm 0.05\%$ 。

参加部分工作的还有卢妙根、徐冠琴、王福成等同志。

[1]

[2]

[3]

[4]

spe
the
ctri
tiu

参 考 文 献

- [1] 茅乃丰等, 255° 双聚焦质量分析磁场—离子光学设计和场成形计算, 1979 年全国加速器技术交流会论文选集, 成都, 第 438 页.
- [2] Naifeng Mao (茅乃丰) et al., "Magnetic Field Shaping of an Iron-core Double-focusing Low-energy β Spectrometer", submitted to the 9th Int. Conf. on Magnet Technology, Zurich, Switzerland, Sept. 9-13, 1985.
- [3] 孙亲仁等编, 分析磁铁设计和测量, 第三分册: 磁场测量方法, 北京电机工程学会, 1980.
- [4] 地质矿产部北京地质仪器厂. CHO-1 型毫奥计研制报告, 1982.

MEASUREMENT OF LOW MAGNETIC FIELD DISTRIBUTION OF A β SPECTROMETER

SUN CHEN-REN LIN SHU-YAN MAO NAI-FENG

SI GUO-JIAN WU DENG-XI

(Institute of Atomic Energy, Académia Sinica)

ABSTRACT

The low magnetic field distribution of an iron-core double-focusing low-energy β spectrometer is measured with a second harmonic magnetic flux gate magnetometer, the relative measuring precision is better than $\pm 0.05\%$. The field strength of the spectrometer is about 10 G. This spectrometer is used to measure the β spectrum from tritium β decay for estimating the rest mass of electron antineutrion.