

简易 180° 聚焦 β 谱仪^{*†}

梅鎮岳 陈宏芳 譚伯廉 陈景峯 馮 杰

(中国科学技术大学)

提 要

本文描述一台简易的 180° 聚焦 β 谱仪。谱仪的电子运动轨道平均半径是 100mm。谱仪的均匀磁场是由单轭磁铁所产生的。D形真空室高 70mm，利用磁极面作为底盖，用橡皮垫圈密封。谱仪的磁场测量采用“零点测磁仪”。测磁仪的心脏部分是一个偏心地安装在张紧的钨丝上的小的测量线圈。要使线圈在磁场中保持某一特定方向，就得使通过线圈的电流随着磁场的变化而作相应的改变，使得电磁作用所产生的力矩和作用于线圈的机械力矩相平衡。因为重力矩固定不变，通过线圈电流的大小将和磁场强度成反比。测量所得电流读数可以作为磁场强度的度量。包括磁场测量在内谱仪测量总的线性和重复性都在 0.1% 左右。

经过调整和改进以后，谱仪目前的最好的分辨率是 0.7%，那是利用源宽 0.8mm 的 Hg^{198} K 内转换谱线测得的。对于源宽 2mm 的 Ba^{137} K 内转换谱线我们测得的谱仪分辨率是 0.9%。谱仪的主要优点在于它的简易。

一、引 言

磁场聚焦 β 谱仪是测量 β 和 γ 射线能量的主要仪器。在确定原子核低伏能级特性的工作上，它们的应用是极为关键的。此外，在放射性同位素的应用方面也可以利用它们来定量地确定某一同位素的存在。

作为一种射线测量工具，现代的磁场聚焦 β 谱仪的发展趋向是追求高度的能量分辨本领，或高度的透射率，或十分良好的分辨和透射性能。不过，磁场安排所形成的电子光学聚焦或多或少地都会有象差，往往不容易在两个方面都达到完善的程度。双聚焦 β 谱仪有很好的能量分辨本领，但是在透射率方面并不比平面聚焦的 β 谱仪改进很多。有些 β 谱仪，例如桔柑式 β 谱仪的透射率可达 9%^[1]，可是分辨率并不好。近些年来对于磁场聚焦 β 谱仪性能方面的改进是令人满意的。不过它们往往在制造和运用方面有各种各样的高度技术要求。例如文献 [2] 所报道的无铁双聚焦 β 谱仪具有巨大的不包含铁磁物质的金属结构，而且它要求有高稳定度的大电流供应。桔柑式 β 谱仪的特殊磁场安排在制造上是很费事的。

作为一种一般的教学和研究上用的 β 谱仪，我们对于它的性能要求往往并不过高，例如具有千分之几的分辨率和不太坏的透射率，也就能符合要求。可是我们希望在制造和运用上能简便些。本文所报道的 180° 聚焦 β 谱仪就是这样的一种 β 谱仪。

这台 180° 聚焦 β 谱仪的设计和制造都非常简单。经过两年多的运用和改进，发现它

* 1965年10月12日收到。

† 本文的部分取材于谭伯廉、陈景峯和冯杰在中国科学技术大学的毕业论文。

的工作情况也是可靠和稳定的,运用起来也很方便。当然,它也有它的局限性和缺点,有待于进一步的改进。这台谱仪的激磁电流可以用常用的6伏汽车蓄电池供应。目前我们采用自己制作的“零点测磁仪”来进行磁场测量,可以测量的范围是从30到500高斯,相应于从10千电子伏到1兆电子伏能量范围内的电子的测量。只要把仪器稍加修改,这个量程是能扩大的。

这台 β 谱仪的分辨率相当好。我们曾用 Hg^{198} 的412千电子伏电磁跃迁的内转换谱线进行过测量。当源宽是0.8mm时,能量分辨率是0.7%。可是,正如设计理论所预期的,这种 β 谱仪的透射率不好。

下面是关于这台 180° 聚焦 β 谱仪的详细描述。

二、 β 谱仪结构

180° 聚焦 β 谱仪的总体安排可以从图1的照片中看到。

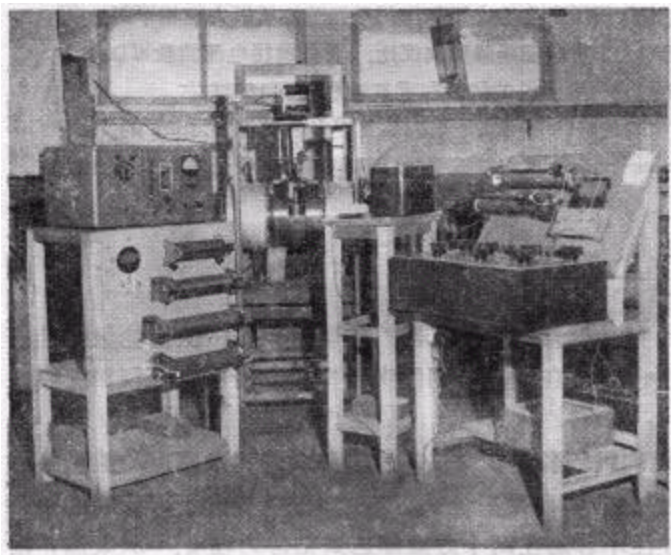


图1 180° 聚焦 β 谱仪

谱仪的均匀磁场由磁极面直径为 $\varnothing 310\text{mm}$ 的单轭磁铁所产生。磁极面之间装有D形真空室。D形室平直部分的两端分别装置计数管和放射源室,真空管道从平直部分的中间通过,和抽气系统相连。

1. 磁场

根据仪器分辨率在千分之几,分析最大能量大约为3兆电子伏的电子的要求来选定磁场设计参量和磁铁结构。我们决定采用电子运动平均轨道半径 $\rho = 100\text{mm}$,这样,仪器的结构不至于过大。圆形磁极面的

直径是 $\varnothing 310\text{mm}$ 。安排成比电子运动轨道稍大的磁极面,一方面为的是可以安装D形真空室,另一方面主要还是在保证磁场有效部分的均匀性。

β 谱仪所要求的磁场强度不高,为经济起见采用单轭磁路。磁铁结构表示在图2。轭铁和磁极都是用20#钢锻成的。轭铁由截面 $150 \times 85\text{mm}^2$ 的U形铁D和 $\varnothing 150\text{mm}$ 的两个轭臂E、F组成。磁极B和轭臂利用螺钉固定相连。每个轭臂都分别通过轭铁中的 $\varnothing 90\text{mm}$ 长75mm的孔来定位。其中的一个轭臂E用螺纹固定在轭铁上,另一个轭臂F上有调距离的螺丝A,

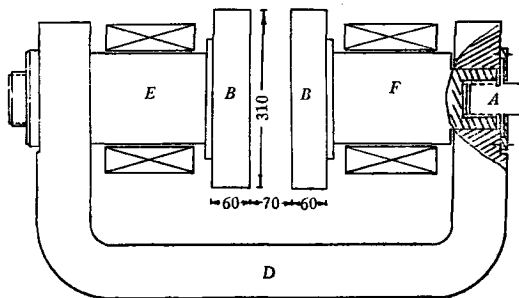


图2 磁铁结构

调节 A 可以使磁极面有 2mm 的滑动范围。磁极是 $\phi 310\text{mm}$ 厚 60mm 的圆板。极面研磨成光洁度 $\nabla\nabla\nabla 8$ 。磁极材料中,尤其是靠近极面,不能有砂孔或其它缺陷。

要求轭铁中的定位孔和轭臂滑动配合,孔轴平行。磁铁安装后要调整磁极面的平行度。我们采用垫片的办法使磁极面边缘的不平行度小于 0.02mm。在这种情况下用 $\phi 8\text{mm}$ 的探测线圈和冲击电流计所测得的磁场分布结果表示在图 3 和图 4。

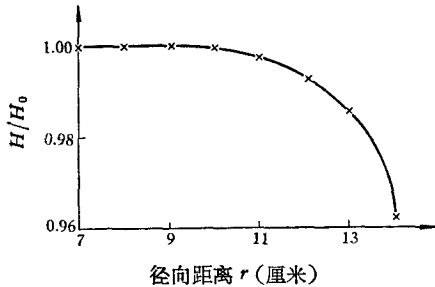


图 3 磁场的径向分布

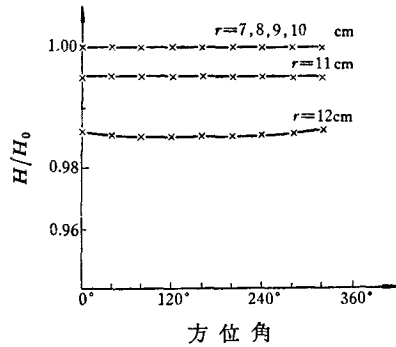


图 4 各个方位上的磁场分布

激磁线圈架是由两块外径 $\phi 300\text{mm}$ 、内径 $\phi 155\text{mm}$ 、厚 5mm 的环形铝板连以 12 根 $\phi 8\text{mm}$ 长 150mm 的铝棒制成。导线是 $\phi 1.5\text{mm}$ 的双纱包线,每个线圈分成两个绕组,共 2300 匝,电阻 15 欧姆,重 22 公斤。激磁电流由 6 个汽车蓄电池供给。测量能量为 1 兆电子伏的电子谱线时,激磁电流约为 1 安培。相对于线圈的散热体积,电流的发热功率不大,线圈不需要任何冷却装置。

2. 真空室、障板系统

D 形真空室表示在图 5。真空室的 D 形壁高 70mm,由厚 3mm 的黄铜板弯成半径为 147mm 的半圆形和厚 8mm 的黄铜平板焊接而成。壁的两端用厚 8mm 的铜板焊成法兰盘,上有密封槽。工作时填入橡皮垫圈,将真空室安放在磁极面之间,利用后者作为真空室的底盖,推进磁极面,就能利用垫圈将真空室密封。

在 D 形真空室的平直部分,离中心 $\rho = 100\text{mm}$ 处安排有一 $\phi 55\text{mm}$ 的放射源室。放射源支架用螺钉在真空室内壁固定。支架上

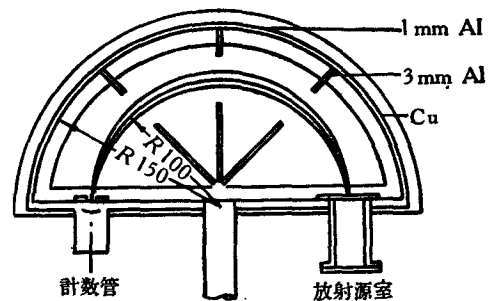


图 5 D 形真空室

有销钉,以保证安装放射源时几何位置的可重复性。在平直部分的另一端 $\rho = 100\text{mm}$ 处装有计数管窗前狭缝。从平直部分的中心处有一 $\phi 30$ 长 500mm 的黄铜管通出来和抽气系统相连接。抽气系统由一般的金属外壳油扩散泵和机械泵组成。

真空室内壁衬有 1mm 厚的铝片。在和真空室平直部分成 45° 、 90° 和 135° 处各安置一块障板^[3]。它们孔径的径向宽度分别是 26.5mm, 30.5mm 和 26mm,轴向宽度分别是 21mm, 26.5mm 和 20mm。

3. 探测设备

我们一直采用钟罩形 GM 计数管作为探测器。曾用过厚度分别为 3 毫克/厘米² 和 1.2 毫克/厘米² 的云母窗计数管以及火棉胶薄膜窗的计数管等。计数管的周围有时得安排铅屏蔽,以防止放射源所放射的 γ 射线的直接照射。

三、磁 场 测 量

β 谱仪测量工作中的磁场测量部分是很重要的,它直接影响到能谱测量的可靠性,重复性和准确度。为简便起见我们采用“零点测磁仪”来进行磁场的相对测量。目前的测量范围是由 30 高斯(相应于 10 千电子伏的电子能量)到 500 高斯(相应于 1 兆电子伏的电子能量),可是,如把仪器稍加修改,量程不难扩大或改变。这种仪器制造容易,使用简便。仪器的核心部分是一个安装在张紧的钨丝上的测量线圈。线圈在磁场中保持某一特定方向,为了克服作用于线圈的固定机械力矩,随着磁场的改变,线圈中通过的电流也必须作相应的改变。根据通过线圈的电流的精确测量就可以得到磁场强度的数值。

“零点测磁仪”的主要部分表示在图 6。测量线圈的框架是用有机玻璃做成的,框架长 30mm,宽 20mm。用 $\varnothing 0.06\text{mm}$ 的漆包线共绕 60 圈。在线圈的中心线处固定一平面镜,再将线圈偏心地固定在一 $\varnothing 0.1\text{mm}$ 的钨丝上。钨丝的一端固定在仪器架上,另一端用弹簧拉紧。 $\varnothing 8\text{mm}$ 的螺旋形弹簧是用 $\varnothing 1\text{mm}$ 的磷青铜丝绕成的。在仪器架上有限制装置,使线圈只能在小角度范围内转动。

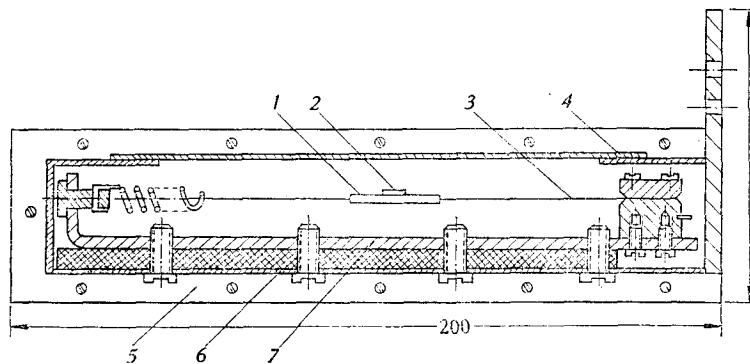


图 6 零点测磁仪

1—测量线圈, 2—反光小镜, 3—钨丝, 4—窗盖(有机玻璃),
5—外壳, 6—防震橡皮, 7—固定器。

我们采用简单的光学系统来安排读数装置。首先把带有标线的平行光束投射在探测线圈的平面镜上,在平面镜上反射后,光束经过偏转再投射在一米远处的标尺上。在标尺上可以看到标线的象。根据标线的位置可以很容易地确定测量线圈的方向。这种读数办法可以保证测量的准确度在 0.05% 左右。

保持测量线圈平衡的重力矩的大小要细致地调整。我们在线圈框架一侧加上少许万能胶,或粘上一小段漆包线,来构成重力矩。对于目前的装置,在磁场强度为 300 高斯时,平衡电流大约是 10 毫安左右。

整个测磁仪装置是水平地固定在磁极面之间的,测量线圈位置在 $\rho = 100\text{mm}$ 处。由

于受重力矩的作用,在不工作时线圈平面是偏斜于水平方向的,当 β 谱仪工作时,加上磁场,我们再在线圈中通过大小合适的电流,使线圈平面保持水平,也就是使平面的法线和磁力线相垂直。这时由于平衡电流和磁场相互作用所产生的力矩和机械力矩相平衡,因此平衡电流的大小将和磁场强度成反比。我们利用电位差计和标准电阻来测定平衡电流,事实上可以直接用电位差计的读数来作为磁场的度量,读数和磁场强度成反比。因为谱仪磁场在大范围内是均匀的,比例常数可以利用标准内转换谱线的 $H\rho$ 值来获得。

在制造和使用测磁仪的过程中我们发现要保证测磁仪的良好性能,必须在测磁仪所用的全部材料中绝对避免铁磁性物质。在安装和使用时要注意清洁,避免引入尘屑杂物等。所以把整个仪器安装在密封盒内是有好处的,这样做还可以防止气流的影响。在安装钨丝时要防止拉直后的钨丝的扭曲。为避免测量线圈电流引线产生力矩,引出端要落在钨丝所在的直线上,以螺旋线状环绕着钨丝引出。

我们曾分别利用 Ba^{137} 的 661 千电子伏和 Hg^{198} 的 412 千电子伏电磁跃迁的 K 内转换谱线(它们的 $H\rho$ 值分别是 3381.3 ± 5 和 2222.4 ± 4)来测定包括测磁仪在内的 β 谱仪测量的线性和重复性。测量的过程中发现测磁仪有一定的温度系数,如果能保持测磁仪周围温度的变化不超过 5°C 左右,测量结果表明 β 谱仪测量的线性和重复性都在 0.1% 左右。

四、 β 谱仪的调整

我们主要是利用 Ba^{137} 的 661 千电子伏电磁跃迁的内转换谱线,有时也用 Hg^{198} 的 412 千电子伏电磁跃迁的内转换谱线来调整谱仪。对障板位置、形状和数目等以及计数管窗前狭缝大小等对于谱仪性能的影响,都进行过试验。我们把安装在真空室内离放射源 45° , 90° 和 135° 处的障板分别标为 1, 2 和 3, 它们都是用厚 2mm 的铝板制成的。测量结果可列表如下:

表 1 β 谱仪性能调整记录表

实 验	障 板	计数管窗宽 (mm)	放射源宽 (mm)	分 辨 率 (%)	相对透射率
1	无	2.5	2	2.6	1
2	无	1.2	2	2.6	0.26
3	2	1.9	2	1.4	0.22
4	2	1.0	2	1.4	0.15
5	1, 2, 3	0.9	2	0.9	0.12
6	1, 2, 3	0.9	0.8	0.7	—

表中实验 1 到 5 都是利用 Ba^{137} 的内转换谱线来进行的,实验 6 是用 Hg^{198} 的内转换谱线来进行的。障板项目下的“2”表示只安排障板 2,“1, 2, 3”表示三块障板都用。

从表 1 不难看出,采用障板以后谱仪的分辨率得到改进。三块障板都用的情形,分辨率的改进特别显著。障板的作用一方面是限制射线的张角,因此改善谱仪的能量分辨,也就是从降低透射率来得到较好的分辨率。可是另一方面,障板也抑制射线的散射,这对于连续 β 谱,尤其是低能量方面的测量非常起作用。这个结论是我们从连续 β 谱的畸变的详细观察中得到的。在表 1 中实验 5 的条件下所观察到的放射源 Cs^{137} , 放射出的连续 β 谱和内转换谱线表示在图 7。

利用 Hg^{198} 的内转换谱线所进行的实验 6 的结果特别好。这显然是因为放射源宽度减小的结果。不过,放射源制备方法的改进也有贡献。其它实验所用的放射源都是用液滴蒸发法得到的。可是实验 6 的放射源制备利用真空蒸发法,源的几何形状的完整和均匀度都要完善得多。一般说来,放射源制备工作是能谱测量中极为重要的环节。谱仪测量所得到的 Hg^{198} 的 412 千电子伏电磁跃迁的内转换谱线表示在图 8。

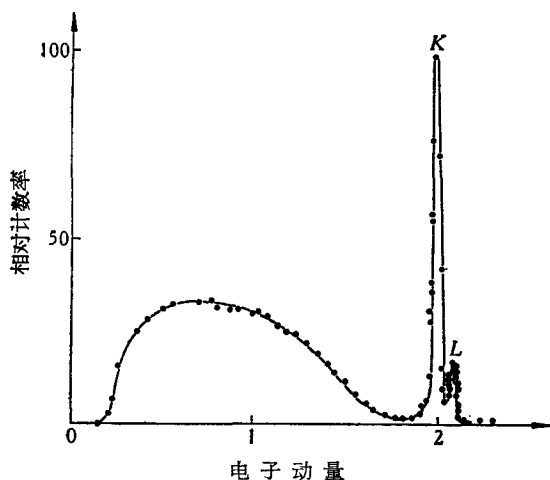


图 7 Cs^{137} 源所放射的 β 射线能谱分布

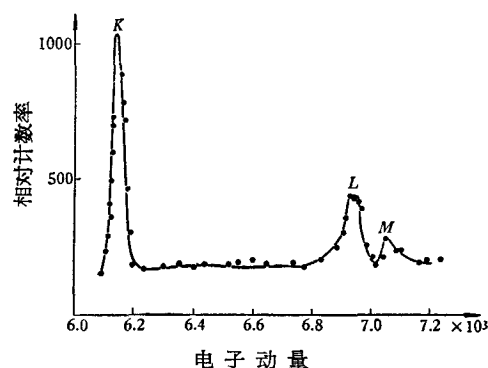


图 8

五、討 論

本文所报道的 180° 聚焦 β 谱仪自从制成以来已经过一段时间的使用和改进。总的看来,作为一般的教学和研究方面的应用,它的性能是合格的。当然,它也有一定的局限性,例如谱仪所能测量的电子的能量不能过高或过低。上限是由于磁铁的饱和和线圈散热能力的限制,使得磁场强度不能加大,而且电子运动平均轨道又比较小,只能对于能量为 3 兆电子伏以下的电子进行测量。主要是不均匀的磁铁剩磁引起的磁场散焦使谱仪进行低能测量有困难,可是放射源的厚度以及计数管的窗厚等方面的局限也是严重的。

为了简便和经济起见,真空室和磁极面间的间隙都设计得比较小,电子散射效应成为不可避免。在低能量方面的测量情况会更差一些,看来利用这种谱仪进行内转换谱线测量比较合用,用它来测量低能连续 β 谱的谱形是会有问题的。

谱仪的磁场测量问题始终解决得不够理想,目前所采用的“零点测磁仪”制作和使用都比较简便,可是要把精确度和重复性再提高就必须作出重大的和更进一步的努力。

如果在放射源的制备上以及一些其它方面加以改进,谱仪的分辨率还不难有所提高。谱仪的透射率显然差一些,但和无铁双聚焦谱仪的透射率相比较,相差并不大。

这台谱仪最大的优点还是在于它的简便。

我们对于有关单位在 Hg^{198} 内转换谱线源的制备以及其它方面的帮助表示感谢。

王道康同学对于谱仪磁场测量曾进行过一些试探性工作,对于我们的谱仪磁场测量工作是很有用的,对此我们表示感谢。

参 考 文 献

- [1] Kofoed-Hansen, O., Lindhard, J., Nielsen, O. B., *Kgl. Danske Videnskab. Selskab. Mat.-fys. Medd.*, 25 (1950), No. 16.
- [2] Graham, R. L., Ewan, G. T., Geiger, J. S., *Nuclear Instr.*, 9 (1960), 245.
- [3] Owen, G. E., Cook, C. S., *Rev. Scient. Instr.*, 20 (1949), 768.

A SIMPLIFIED 180° FOCUSING β RAY SPECTROMETER

MEI J. Y. CHEN H. F. TAN B. L. CHEN J. F. FENG J.

(University of Science and Technology of China)

ABSTRACT

A simplified 180° focusing β ray spectrometer was described. The average radius of the trajectories of the electrons in the spectrometer is 100 mm. The uniform magnetic field of the spectrometer is produced by an electromagnet of single yoke. With two pole faces as bases, the vacuum chamber has D shape side walls. They are sealed together with rubber gaskets. The radioactive source and the G-M counter can be set along the flat part of the side wall. The magnetic field of the spectrometer is measured by a "zero point magnetometer". Its measuring coil is fixed on a tungsten filament in tension. In order to keep the coil, which is mechanically unbalanced, in a given direction, we must pass a current through the coil, so that the mechanical moment can be counteracted by the moment produced by the interaction between the current in the coil and the magnetic field of the spectrometer. As the mechanical moment is fixed for different magnetic field the current passing through the coil must be varied in order to make the balance.

The potentiometric readings of the current can be taken as the measures of the magnetic field. Including the magnetometric measurement, the readings of the spectrometer as a whole have their linearity and precision both at about 0.1%.

After a series of rearrangement and improvement, the spectrometer attains its best resolving power for a $\text{Hg}^{198}K$ conversion line with a source of 0.8 mm width. It is 0.7%. For $\text{Ba}^{137}K$ conversion line with a source of 2 mm width it attains a resolving power of 0.9%.

The essential merit of the spectrometer is its simplicity both in construction and in operation.