

中國科學院物理研究所

雙磁鏡 β 譜儀總結報告

梅鎮岳 鄭林生 徐英庭

編號： C 0002

一九五八年七月

本工作的目的为建造双磁鏡 β 譜仪供本所研究放射性同位素以及核反应产物的 β, γ 能譜之用。工作从 1953 年 12 月开始至 1956 年 6 月告一段落。双磁鏡 β 譜仪已建成調节校正完毕,初步能供研究同位素的 β, γ 能譜之用。仪器的性能如下: 分辨率 $\frac{\Delta P}{P} = 1.5\%$, 透射率 $\sim 1\%$ 。綫圈通过的最大电流約 50 安培, 可以測量 9 Mev 左右以下的电子的能量。

目 录

1. 引 言.....	(1)
2. 建 造.....	(5)
3. 调 节.....	(11)
4. 校 正.....	(14)
5. 参考文献.....	(16)
6. 附 录.....	(17)

双磁鏡 β 譜仪总結报告

1. 引言

在原子核光譜学中磁性 β 譜仪占有很重要的地位。它的发展历史很久,到现在磁性 β 譜仪的种类已很多。根据磁場的分布和它聚焦的特性 β 譜仪可以分为两大类: 横向磁場 β 譜仪与纵向磁場 β 譜仪。前者电子在磁場中的軌迹主要是与磁場方向相垂直的,后者主要是与磁場方向相平行的。由于磁場的分布和聚焦特性不同,横向磁場的可以分为: 180° 半圓式,三級单向聚焦式,双聚焦式等。纵向磁場可以分为: 螺綫管式,短磁鏡式,长磁鏡式,双磁鏡式等。

分辨率与透射率是 β 譜仪的主要性能。分辨率 $\frac{\Delta P}{P}$ 是单值能量綫譜的半寬度 ΔP 与它动量 P 的比值。透射率是放射源放出的 β 粒子能够被聚焦,被探测器记录的百分数。由于象差,分辨率与透射率是 β 譜仪互相矛盾的二个性能,改正 β 譜仪的分辨率,时常只能减小它的透射率。实验的正确性不仅仅与 β 譜仪的分辨率有关,在很多情况下,如不能得到足够強度的放射性同位素等,我們时常宁愿减小 β 譜仪的分辨率而提高它的透射率。

最早用磁場方法来分析 β 能譜的要算 Baeyer 和 Hahn^[1]。在 1910 年他們用均匀磁場使放射源 S 放出的 β 粒子偏轉,用照相片记录(图1),由于 β 粒子的能量不同,通过

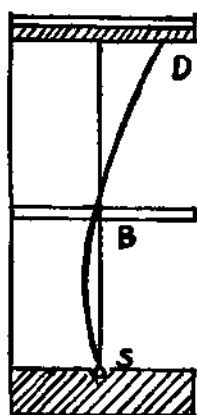


图1. 直接偏轉法: S 放射源, B 狹縫, D 照相板

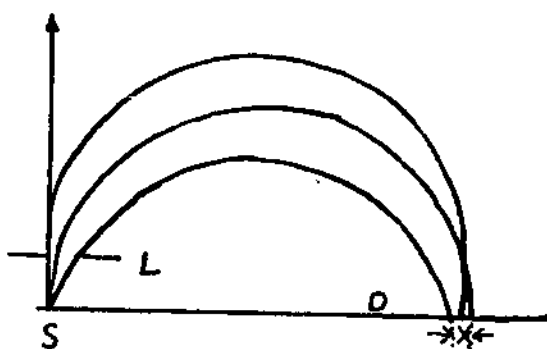


图2. 半圓型 β 譜仪內的单值能量 β 粒子的軌道

* 本文于 1956 年 7 月写成。

狹縫 B 后,記錄在照相片 D 不同的位置上。在直接偏轉法的裝置中沒有聚焦作用,因此分辨率不好,在他的實驗中可以看出橫向磁場在分析 β 射綫时的作用,与三稜鏡分析日光光譜的作用一样。

1911年 Danysz^[2]指出在均匀磁場中用半圓形軌道可以得到聚焦。半圓型 β 譜儀比直接偏轉法分辨率提高很多。图2是半圓型 β 譜儀聚焦的原理。从放射源 S 中放出的 β 粒子經過狹縫 L 后聚焦在照相片 D 上。根据計算,如果 ΔS 是放射源的寬度,从放射源 S 射出,被狹縫 L 限制的 β 粒子束,在垂直磁場方向与平行磁場方向的張角分别为 ϕ, ψ 时,則单值能量 β 粒子在照相片 D 上綫譜的底寬度为:

$$\Delta X = \Delta S + \rho(\phi^2 + \psi^2)$$

ρ 是軌道的半径。 $\rho(\phi^2 + \psi^2)$ 二項是由于电子光学系統聚焦不完善,由于它的象差而引起的。由于象差項 $\rho(\phi^2 + \psi^2)$,尤其是在平行于磁場方向沒有聚焦作用而引起的象差項 $\rho\psi^2$,使半圓型的 β 譜儀的透射率很小。1946年 K. Siegbahn 和 N. Svartholm^[3]提出改正均匀磁場,消去象差項 $\rho\psi^2$,在平行于磁場方向上也有聚焦作用的双聚焦原理。它的作用原理最初是从研究电子在电子迴旋加速器中的运动軌道而得到的^[4]。如果在 r_0 处的磁場強度为 H_0 ,磁場 H 跟 r 变化的情形为

$$H = H_0 \left(\frac{r_0}{r} \right)^n \quad 0 < n < 1 \text{ 时}$$

电子的徑向与軸向振動角速度分别为

$$\omega_r = (1 - n)^{1/2} \omega_0$$

$$\omega_s = n^{1/2} \omega_0$$

其中

$$\omega_0 = \frac{e c H}{m}$$

当

$$n = \frac{1}{2} \text{ 时} \quad \omega_r = \omega_s = \frac{\omega_0}{\sqrt{2}}$$

所以聚焦的角度为 $\sqrt{2}\pi$ 。因为有二个方向聚焦,所以双聚焦的 β 譜儀比半圓型 β 譜儀透射率增加很多。双聚焦 β 譜儀除了透射率大以外,并且还有另外一个优点:双聚焦 β 譜儀的磁場強度是随 r 增加而減小的,当 β 粒子的能量高时,它的軌道半径也大,因此运动在磁場較弱的区域。因此使运动半径更大,使不同能量的 β 粒子分得更开。在半圓式 β 譜儀,只有前一原因的作用。这样就增加了双聚焦 β 譜儀的色散率,因而使它的分辨率比半圓式的增加一倍。

另一种改正磁場的 β 譜儀就是三級单向聚焦的 β 譜儀^[5],主要是消去象差項 $\rho\phi^2$,与磁場垂直方向上 β 射綫束的角度 ϕ 可以增加很大。

利用磁透鏡的色象差来分析 β 能譜最早是 Kapitza^[6]提出来的,1924年 Tricker 做出来的。Tricker 做的是螺綫管式 β 譜儀,用螺綫管来产生均匀磁場。图3是螺綫管 β

譜儀, C 是螺線管綫圈, B 是選擇從放射源 S 放出來 β 射綫束的出射環形狹縫。由於色象差只有經過環形狹縫一定動量的 β 粒子, 才可以進入探測器的入射狹縫 D 。螺線管式 β 譜儀的優點是電子軌道可以正確計算, 調節容易, 受外界的磁場影響小, 缺點是磁鏡綫圈的安培匝數多, 體積大。

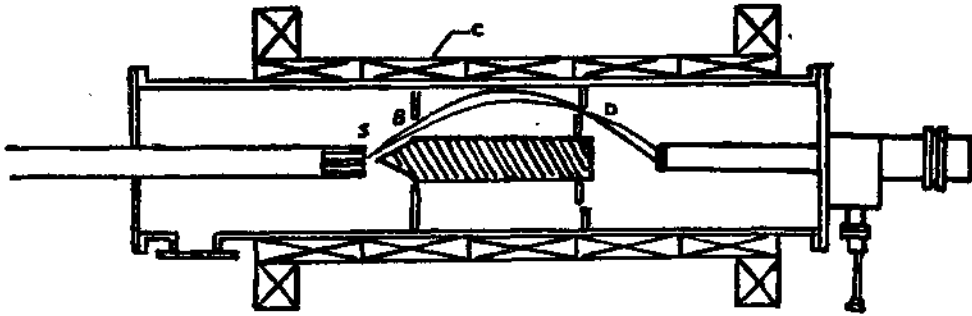


圖 3. 螺線管式 β 譜儀: C 螺線綫圈, S 放射源, B 出射環形狹縫, D 入射狹縫

其次是短磁鏡式 β 譜儀。它與螺線管式的差別是磁鏡綫圈比較短, 因此磁場集中在中間比較狹窄的區域內。Deutsch, Elliot, Evans^[8] 等對短磁鏡式 β 譜儀做過理論上的分析, 把磁場綫圈看做只具象差的薄透鏡。象與實物服從薄透鏡公式

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

其中 v, u 為象和實物與透鏡的距離, f 是透鏡的焦距,

$$f = C \left(\frac{P}{ni} \right)$$

P 為粒子的動量, ni 為綫圈的安培匝數, C 為與綫圈幾何形狀相關的常數。對很靠近軸的射綫

$$f = \frac{4P^2}{\int_{-\infty}^{\infty} H_z^2 dz}$$

H_z 是鏡軸上的磁場強度。因為焦距 f 與軸上的磁場強度 H_z^2 的積分成反比, 所以磁場較集中的短磁鏡 β 譜儀對聚焦一定能量的 β 粒子, 綫圈所需的安培匝數比磁場分布在較廣區域內的長磁鏡 β 譜儀和螺線管式 β 譜儀要少得多。

圖 4 所表示的為同樣動量出射角 θ 不同的 β 粒子束在磁鏡綫圈的作用下的軌道。從圖 4 中可以知道出射角大的 β 射綫束聚焦在離綫近的 A 點。出射角小的聚焦在離綫圈遠的 B 點。這就是磁鏡式 β 譜儀的象差。它的產生是由 2 個原因引起的^[9]。1. 出射角大的 β 粒子束, 它在鏡軸方向上的分量比出射角小的要小, 即 $\cos$ 的作用 ($\cos$ effect)。2. 出射角大的 β 射綫束在彎折區域 (bending zone) 中經過磁場強度較大的區域。圖 5 是短磁鏡軸上的磁場分布。軸外的磁場強度

$$H_z(z, r) = H_z(z, 0) - \frac{r^2}{4} \frac{\partial^2 H_z}{\partial z^2} \dots$$

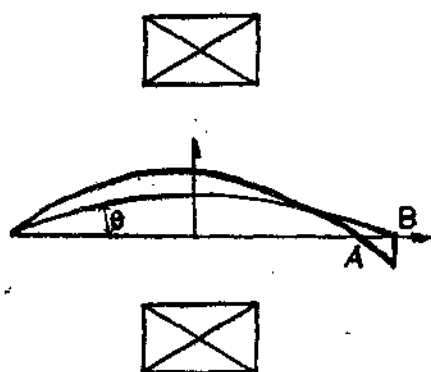


图 4. 短磁鏡式 β 譜儀的象差

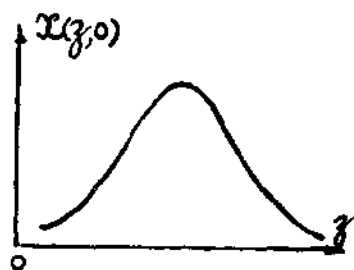


图 5. 短磁鏡 β 譜儀的磁場分布

对短磁鏡和长磁鏡的 β 譜儀的磁場 $H_z(z, r) > H_z(0, z)$ (H_z 是鏡軸方向上的磁場強度) 这二个原因所引起的象差都是正的。螺線管式 β 譜儀产生象差的原因只是 $\cos$ 的作用, 因此它的象差要比短磁鏡的要小。减小短磁鏡 β 譜儀的象差的办法就是用长磁鏡綫圈, 使磁場分布在一個較大的範圍內, 使 $\frac{\partial^2 H_z}{\partial z^2}$ 尽量小, 使弯曲区域磁場分布曲線的斜率小。

理論計算得到沒有象差的磁場分布如图 6 所示。

Siegbahn^[10] 做过一 β 譜儀, 如图 7, 綫圈用鉄包起来, 使磁場分布尽量减小象差。

綫圈中用鉄的优点是聚焦一定能量的 β 射綫可以减小綫圈的安培匝数。缺点是失去了 $H \propto i$ 的关系, 要用另外方法測定磁場。并且还有剩磁等問題, 使磁場的分布与电流大小有关。

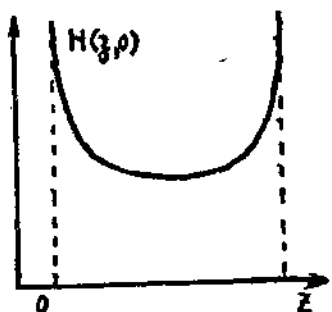


图 6. 理想的磁場分布

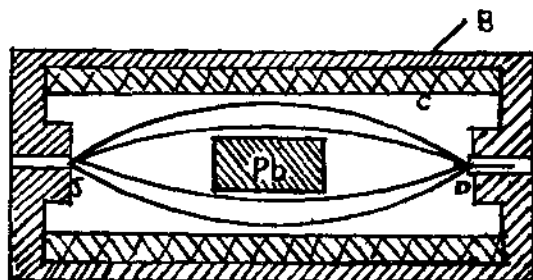


图 7. Siegbahn β 譜儀

C 綫圈, B 鉄壳, S 放射源, D 計數管

Quade Halliday^[11] 用相距一定距离的双磁鏡綫圈(图 8), 使在弯折区域中的磁場分布曲線中間有一低下去的部分, 使 $\frac{\partial^2 H}{\partial z^2}$ 为正, 以减小象差。他們也研究了綫圈的距离与象差的关系。

不同类型的 β 谱仪有它自己的特点,直到现在为止,各种类型的 β 谱仪都在应用。现在发展的趋向用得最多的是双聚焦 β 谱仪。用那一类 β 谱仪主要是由实验的目的与它特殊的要求决定的。双聚焦 β 谱仪的分辨率接近半圆型 β 谱仪,透射率接近短磁镜的 β 谱仪。因此目前研究同位素的 β^- , γ^- 能谱多用这种型式的 β 谱仪。它的缺点是放射源在磁场内,不便做散射实验。我们的目的是建造供测量核反应产物的 β^- , γ^- 能

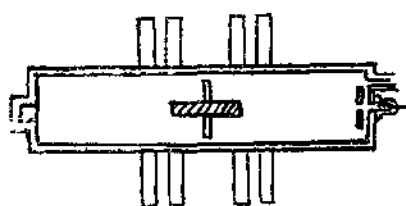


图 8. Quade Halliday 双磁镜 β 谱仪

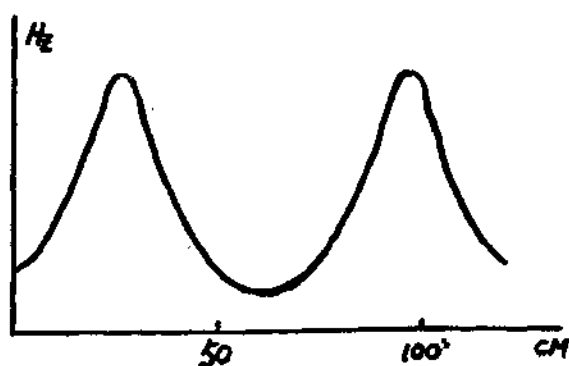


图 9. 双磁镜 β 谱仪的磁场分布

谱之用的 β 谱仪。选择双磁镜 β 谱仪的原因是因为它具有与长磁镜 β 谱仪或螺旋管 β 谱仪相接近的性能,比短磁镜式的要好。放射源与计数管在磁场外面,加速器出来的离子流很少受到谱仪磁场的作用。放射源与计数管之间的距离很远,中间有一块很厚的铅可以减少加速器和核反应产物的高能 γ 射线本底。因为核反应产物的 β^- , γ^- 能量一般较高,因此希望谱仪能量到 10 Mev 左右电子的能量。同时也希望它具有一般的分辨率(1—2%)和高的透射率($\sim 1\%$)。

2. 建 造

图 10, 11 是我们建造的双磁镜 β 谱仪的照片,图 12 是它主要部分的切面图,它的主要组成部分是产生轴对称磁场的二个磁镜线圈 1, 放在放射源 S 计数管 GM 中间对称的位置上。二线圈中心相距的距离为 54.5 厘米(二者距离在需要时可以改变,把二个线圈靠在一起,则双磁镜 β 谱仪变成了短磁镜 β 谱仪),每个线圈的厚度为 21 厘米,内径为 28.2 厘米,外径约为 80.5 厘米。线圈扁铜线的截面为 7.2×3.4 毫米²,用包二层厚度约 0.03 毫米的薄绸绝缘起来。每个线圈分开 TA 和 BE 二部分,每一部分由六薄饼(pancake)组成,每一薄饼共有 140 匝,二个线圈总共 3360 匝。因此线圈总共分开 T, A, B, E 四部分(图 12),每一部分的电阻分别为 1.074_1 ; 1.074_2 ; 1.074_3 ; 1.074_4 。为了使磁场的分布尽量对中心对称,TE, BA 分别串联在一起,使通过 TE 的电流相等,通过 BA 的电流相等。TE 与 BA 串联时线圈的总电阻为 4Ω , TE 与 BA 并联时总电阻为 1Ω 。因此对一定的磁镜线圈电源电压,TE 与 BA 并联时通过线圈的电流比 TE, BA 串

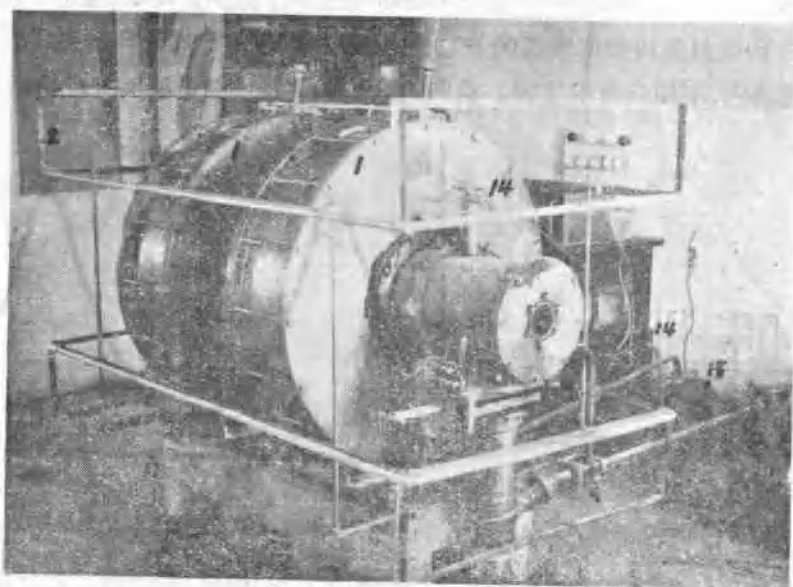


图 10.

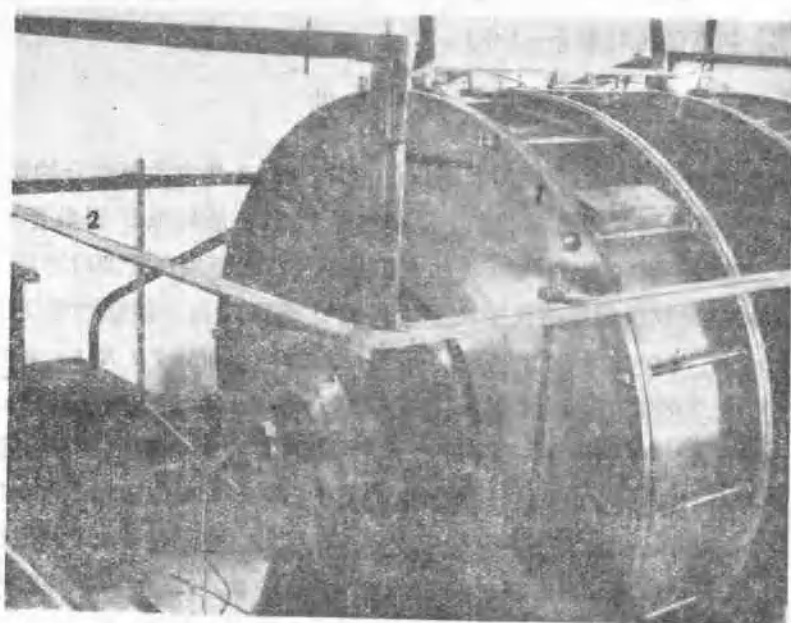


图 11.

联时可以增加一倍。二线圈分别装在鑄銅制的銅盒子(1)内,銅盒子中加入变压器油,用以冷却线圈通电时发生的热量。变压器油用油泵(15)循环,当油经过热交换器(14)时,油被通过热交换器中的螺旋形紫銅管中的水所冷却。线圈通过的最大电流为 50 A,因此消耗的功率为 10 kW。线圈电源部分工作是 52 組席德明同志完成的。它的电源是 17.5 kW 的直流发电机(125 V, 140 A)。控制直流发电机的激磁发电机的激磁电流达到线圈磁场的稳定,在十分鐘内稳定度可以达到 0.02%。通过线圈的电流用电位計測定与线圈串联的标准电阻(康銅线)的电压降测量。

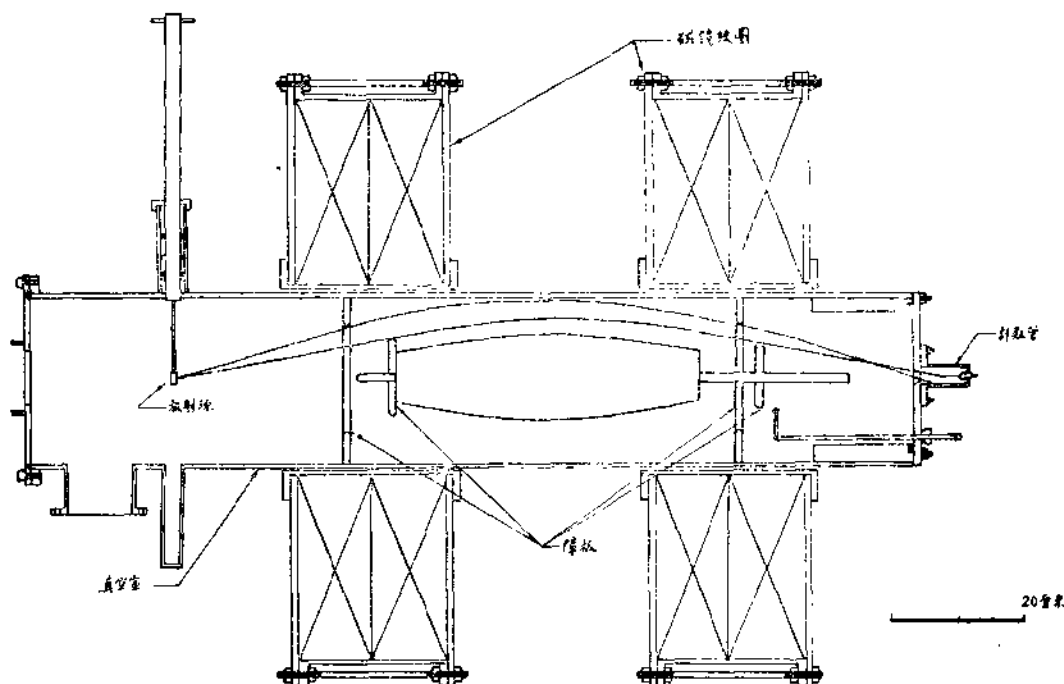


图 12.

銅盒子放在木架(17)上面的銅框子(18)上,可以用螺絲(19, 20)調节线圈的几何位置(图 10 照片)。线圈的重量約 1800 公斤,譜仪的总重量約 2500 公斤。鑄銅盒子的材料发見有显著的順磁性,用强的馬蹄形磁鉄在距离 2—3 毫米内能够吸住銅盒子加工时切削下来的銅屑。用磁鉄吸过后的銅屑具有明显的順磁性。20 組杜厚玉等同志化学分析确定鑄銅含鉄量在 3%—3.2% 之間,光谱分析确定含 Ni 量接近 10%,在 10% 以上。因此当譜仪用在低能区域时,它的磁场分布可能受到銅盒子中含有鉄磁性物質的影响*。

线圈的磁场分布用直径 1 厘米的探索线圈(Searching coil)和冲击电流計測定。把探索线圈放在线圈中心軸的各个位置上,探索线圈的軸与线圈的軸相合,当通过线圈的

*对仪器在低能时的影响还没有发見,在試驗时发見譜仪下面的鋼筋对磁场分布有影响。

电流由 1.5 安培变到零, 讀出冲击电流計的偏轉数 d (毫米)。探察綫圈的面积和电流計常数用标准螺綫管校正, 图 13 中的实綫是实验測得的二个磁鏡綫圈磁場分布結果。从实验測定的二个綫圈的磁場分布曲綫的迭加而得的虛綫, 表示二綫圈的距离为 54.5 厘米时, 磁場的分布情形。放射源与計数管間的距离为 110 厘米, 因此磁場分別在譜仪中心与放射源計数管中間处約为最大, 約 42.25 高斯/安培实验測得的結果与計算所得的結果很相符合。

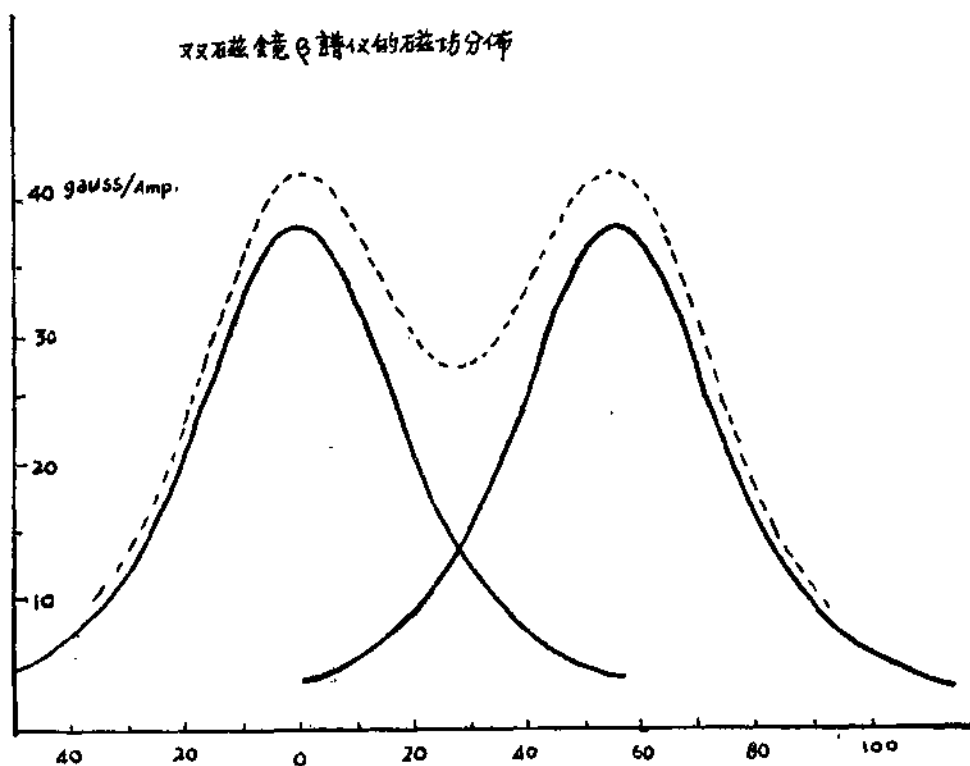


图 13. 双磁鏡 β 譜仪的磁場分布。实綫是实验測得結果, 虛綫是实綫迭加的结果

地磁場的垂直強度与水平強度用轉动探察綫圈的方法測定, 得結果为 $H_{\perp} = 0.365$ 高斯, $H_{\parallel} = 0.205$ 高斯。地磁場的垂直強度用相距 55 厘米, 96 厘米 $\times$ 165 厘米的二个矩形中和綫圈 (2) 所产生的磁場抵消。当中和綫圈的电流为 0.65 A 时, 譜仪中心的磁場強度为零。

放射源背景 (backing)、真空室壁、障版系統以及真空室中的剩余气体都能引起 β 粒子的散射。尤其是低能区域散射是影响实验結果的主要因素。为了减少剩余气体中和真空室壁的散射, 真空室必須要达到足够高的真空度。真空室要大、可以使容易引起散射的物質与放射源的距离較远, 并且尽量用原子序数較小的元素作材料。譜仪的真空室 (3) 为一长 131 厘米, 内径 25.4 厘米, 厚 0.476 厘米的黃銅管, 用銅架 (20) 固定在銅底板 (18) 上。法兰盘 B 的圓銅板中心开了一个直径 8 厘米的玻璃窗, 从这玻璃窗可以

看到懸掛在放射源支架上的放射源。玻璃窗的主要目的是當譜儀用來研究核反應產物的 β, γ 能譜時,玻璃窗的圓孔可以直接與加速器的真空室相接,使離子流通過圓孔打在放射源支架上的靶子上,法蘭盤C的中心有一直徑3.8厘米的圓孔,可以套上具有不同直徑的中心孔的圓銅板E,在沒有調焦圈(ring focus)時,中心孔作為計數管的入射孔。中心孔的直徑應該等於放射源的直徑^[8]。

放射源的支架(圖14)固定於直徑1吋銅棍W上。W再套上一端密封的銅管m,放射源支架S裝上放射源後,W與m用絲扣套緊,沿H管向下插。當m上的小孔O與銅管H上的小孔O'相合時,在m中的空氣由F管被機械抽氣機抽走。因此O孔經過最下面一個O⁻圈時,不會影響整個真空室的真空度。W完全插下後m即套在J管內,J管底部凸出的小銅塊V鑲入M底部的槽u,使轉動W時m不會轉動。轉動W使W絲扣退出m管的絲扣,再提起W。當放射源在譜儀的中心軸上時,用夾具把W夾住。此時m留在J內。需要把放射源從譜儀的真空室中取出,可以把W插下,與留在J內的m管套住,然後再提起W。等到m已抽出1厘米後,用夾具把m夾住。退出W與m的絲扣,就可以把W從m上取開。這時候m仍留在H管內,使真空室不致漏氣。j是壓O⁻圈用的螺絲帽。經過試驗象圖所用的裝置,換一次放射源只需一分鐘左右的時間,並不影響譜儀的真空。螺絲帽j不把O⁻圈壓緊,抽動W時阻力很小,也沒有一次發見漏氣。這種設計的優點是用銅管J與三個O⁻圈代替真活閥,因此構造比較簡單,使用時也很方便。

(9)為直徑1吋的真空閥,(8)為直徑4吋的真空閥,(23)為直徑4吋的三級分體式油擴散抽機,(7)為抽氣速率1立升/秒的機械抽氣機。K為真空室經過真空閥V直接與機械抽氣機相接的分路,它的作用是打開真空室後,擴散抽氣機不需要停止加熱,可以用分路V直接抽真空室。用1立升/秒抽氣速率的抽機,要13分鐘左右的時間,可以把真空系統從大氣壓力抽到幾百 μ 。達到使擴散抽機工作的真空度。機械抽機能夠達到20 μ 至5 μ ,擴散抽機能夠達到 2×10^{-5} 毫米水銀柱以下。

真空閥的設計,考慮了真空閥關閉時的方便,通氣的阻力,以及機械結構上的簡單。直徑1吋的真空閥9是根據Wahl^[13]的真空閥設計的,它的主要優點是關閉方便,通氣阻力小,缺點是O⁻圈容易被活板(Vane)磨損或擠出。為了防止O⁻圈被活板擠出,Wahl用了直徑比橡皮槽直徑小的O⁻圈。我們的主要改正是把橡皮槽開成外面小里面大。O⁻圈槽深 $=\frac{4}{5}$ O⁻圈直徑,槽外面寬度 $=\frac{4}{5}$ O⁻圈直徑。最里面寬度使O⁻圈鑲入橡皮槽後完全或很少受到壓擠,即仍舊保持O⁻圈截面的大小與形狀。如果活板厚度適當均勻而光滑,不論活板的那一邊是大氣壓力,真空閥都不會漏氣。

4吋真空閥8是根據King^[14]的真空閥設計的,為了防止真空閥漏氣時打不開,在平板P₂上不用O⁻圈,並且開了小孔。(圖15)

為了確定 β 射線的軌道和減小電子的散射,在真空室中按上障板abcd(圖12)。bc分別為內徑180毫米,160毫米厚3.5毫米的環形圓銅板。ab分別為直徑115毫米104

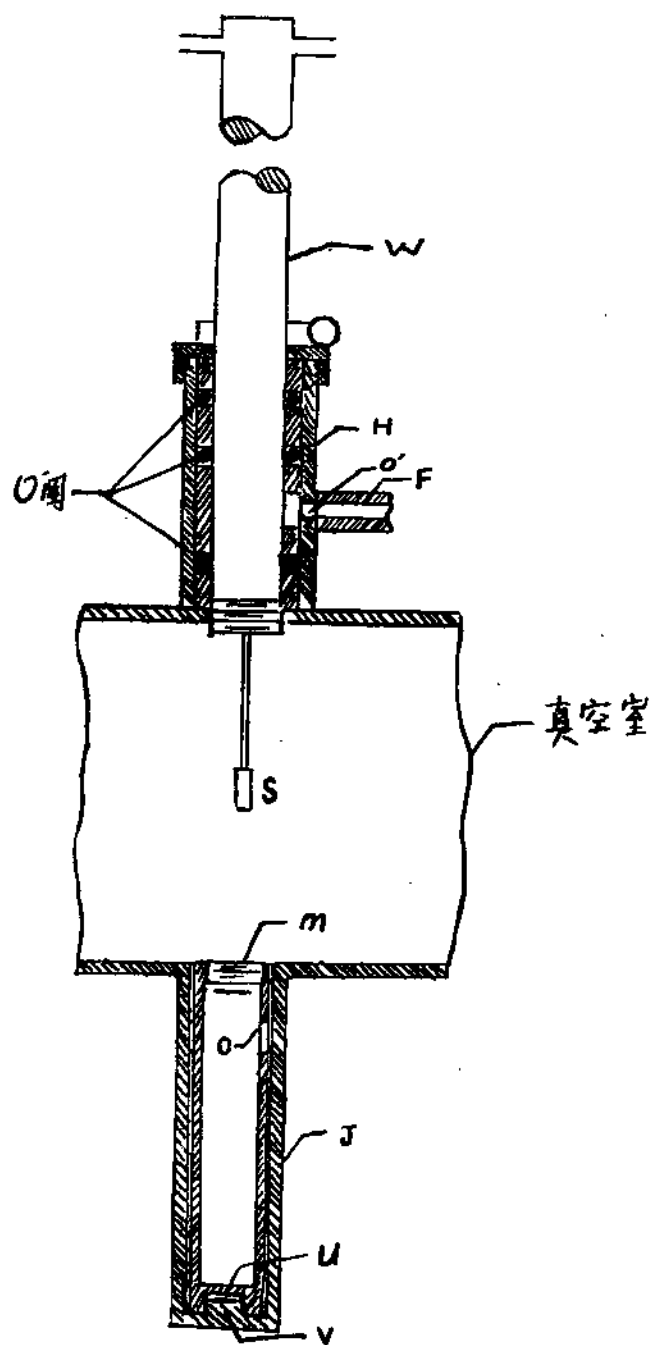


图 14. 放射源支架与真空腔

毫米厚 3.5 毫米的圓銅板。它們的位置与大小从考虑用电子枪測定的軌道而确定的。 ab 二障版所确定的 β 粒子束的范围略大于 cd 所确定的范围。障版 d 可以用銅棒 (16) 使它在銅棍 e 上面前后滑动, 以調节譜儀的分辨率与透射率 (图 12)。鉛块 L 的长度为 45 厘米, 用以挡住 γ 射綫, 尤其是核反应产生的高能 γ 射綫。 $abcd$ 的障版二面都貼有与障版大小相同的树胶板 (Lucite), 用来减少 β 粒子在障版上的散射。用电子枪代替放射源試驗时, 发现电子打到树胶板上后, 由于板的絕緣性能很好, 吸收电子以后得到很高的电位, 使电子束不能通过障版所确定的环形狹縫。考虑到放射源强度大时可能也有类似的情况, 因此把障版 abc 靠近放射源一面的树胶板都蒸发上一层鋁, 使它表面导电。障版 d 的树胶板用鋁板代替。用放射源 Cs^{137} 做实验时, 障版 a 可以减少本底 20%。如果考虑到散射在低能区域时严重, 得到减少本底 20% 所用的計数管的云母窗的厚度只能透过能量大于 40 keV 的 β 粒子。因此研究低能区域的 β 能譜时, 障版 a 减少散射更有显著的作用。

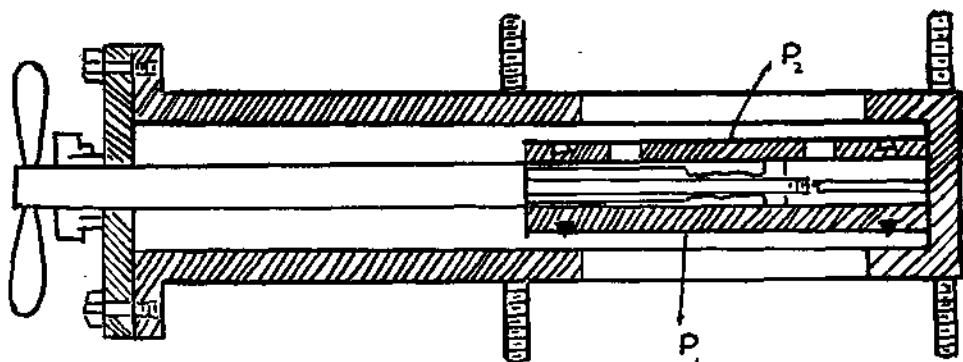


图 15. King 真空室, 直徑 4 吋

探测器 (5) 为鐘形薄窗計数管。用譜儀本身的真空系統抽气与用与它相接的儲气桶充气的 β 計数管充气系統的工作正在进行。GM 输出的脉冲經过阴极跟随器 (13) 后, 再輸入控制桌上的 64 进位器。

3. 調 节

β 譜儀磁鏡綫圈的軸与地磁的南北方向相合, 放射源与計数管的入射孔在綫圈的軸上, 地磁場的垂直強度用中和綫圈抵消。 β 譜儀对各种不同单值能量 β 粒子的綫譜曲綫才是对称的, 峯值計数率也为最大。如果放射源或計数管的位置不在磁鏡綫圈的軸上, 峯值計数率可以减少很多, 綫譜曲綫 (window curve or line profile) 不对称, 甚至每一綫譜有二个峯。使譜儀的分辨率不好。电子枪提供調节綫圈位置一个方便的方法, 先把綫圈的軸对准磁針所指的南北方向, 根据几何形状, 真空室圓筒对准綫圈的中心軸, 电子枪放在放射源的位置上。电子枪放出的电子束經过磁場綫圈聚焦后成象子計

极管处的荧光板上。调节线圈的位置与方向,使磁镜线圈所产生的磁场方向与地磁场水平分量的方向相同与相反时,在荧光板上聚焦的电子束的光点的位置不变。磁镜线圈对电子束的作用与透镜对光线的作用一样。当物不在透镜的光轴上时,它的象也不在光轴上。电子束在磁场线圈作用下,除了对光轴象对实物有一转角外,也有类似的情形。通过磁镜线圈的电流方向相反时,象对实物旋转的角度也相反,因此使电子枪与荧光板中心不在线圈轴上时,磁镜线圈电流方向不同,荧光板上光点的位置也不同。只有当二者都在磁镜线圈磁场的对称轴上时,光点的位置才不变。线圈的轴没有在地磁的南北方向时,不同电流方向线圈产生的磁场与地磁场相加的合磁场的方向不同,因此在荧光板上光点的位置也不相同。所以可以调节线圈的位置,使电流方向变更时,电子束在荧光板上亮点的位置不变,这时候线圈的轴就在南北方向上,电子枪与电子束在荧光板上的亮点就在线圈的轴上。

根据 Van Atta^[12] 变更中和电流在不同磁镜线圈电流方向得到图 16 所示的电子束在荧光板上亮点的轨迹。1 是线圈的位置未经调节时所得的结果。中和电流的数值由 0.6, 0.7...1 安培变更。光点的轨迹 *ab* 二条直线交点的中和电流,不同线圈电流方向分别为 0.9; 0.76。经过一次位置调节后,交点的中和电流值分别为 0.84; 0.81。经过第二次位置调节后交点的中和电流值分别为 0.825; 0.825。这时候电子的能量为 1 kev。提高电子枪能量为 4.7 kev, 中和电流为 0.825 时,不同磁镜线圈电流方向光点位置变更 1 毫米[注]。

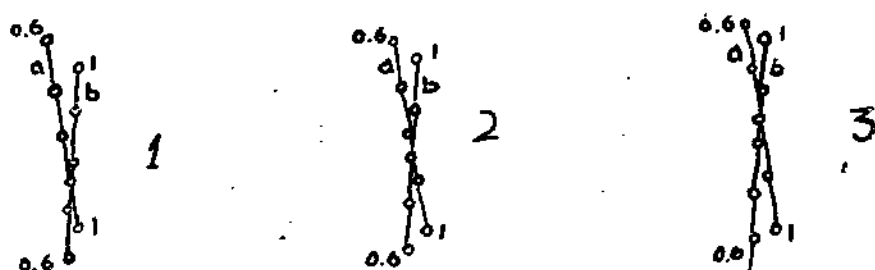


图 16. 变更中和电流, 电子束在荧光板上亮点的轨迹。

a 为磁镜线圈的电流为 aiding (即磁镜线圈产生的磁场与地磁场南北方向相合) 时所得轨迹,
b 为 backing (即磁镜线圈产生的磁场与地磁场南北方向相反) 时所得轨迹

线圈通过 50 安培电流以后, 谱仪下面钢筋混凝土梁有很强程度的磁化, 等于在谱仪下面放了一条很大的条形磁铁, 产生比地磁场垂直强度大好几倍的不均匀扰乱磁场, 电子束受到这样大的不均匀磁场作用后, 不能聚焦在荧光板的中心, 同时有很大程度的象散性。通以适当的相反方向的电流以后 (约 15—20 安培) 能够把钢筋的磁性显著的去掉。经过去磁后能够完全恢复到原来的情况。钢筋对磁镜线圈磁场分布的轴对称性有很坏的影响, 它的主要问题是当线圈通过大电流使它磁化后, 磁化所产生的磁场严重的影响线圈通小电流时的磁场分布。所以每通一次大电流 (20 安培以上) 后, 当谱仪用在

低能区域时,必須要經过去磁的手續。

用在真空室中可以前后移动的螢光屏 S (图 17) 可以确定在磁鏡綫圈作用下,不同出射角电子束的軌道,以及軌道的旋轉角度。从軌道可以設計障版系統和确定調焦圈的位置。图 17 是确定 β 譜儀的电子軌道的裝置。真空室譜儀中間按上开有几組中心綫的直径分别为 204, 186, 168, 150 毫米的小孔的圓銅板 PP' 。从电子枪 g 中射出的电子束,通过小孔 OO' 后再投到螢光屏上。螢光屏 S 可以用桿子 (16) 在真空室的軸上前后移动,测定在不同位置通过各組小孔的电子束在螢光屏上所成圓的直径,結果测定在探测器一側电子束的軌道如图 18 所示,通过中心綫直径为 204 毫米 150 毫米小孔的电子束,它們在靠近探测器处的軌道很接近与譜儀中心軸成 $18^\circ 30'$, $12^\circ 30'$ 的二条綫段。在它們相交的位置上,前后移动螢光屏,可以发見二組电子束打在螢光屏上发螢光的二个圓,由分开而随漸重合,重合的位置就是調焦圈的位置。測量的結果調焦圈的直径为 37.7 毫米与計数管孔的距离为 67 毫米。通过另外二組中心綫直径为 186 毫米与 168 毫米的小孔的电子軌道与通过中心綫直径为 204, 150 毫米的小孔的电子束軌道不

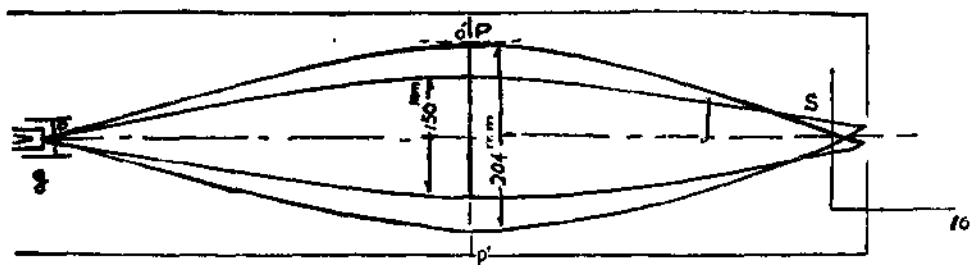


图 17. 确定 β 譜儀电子軌道的裝置

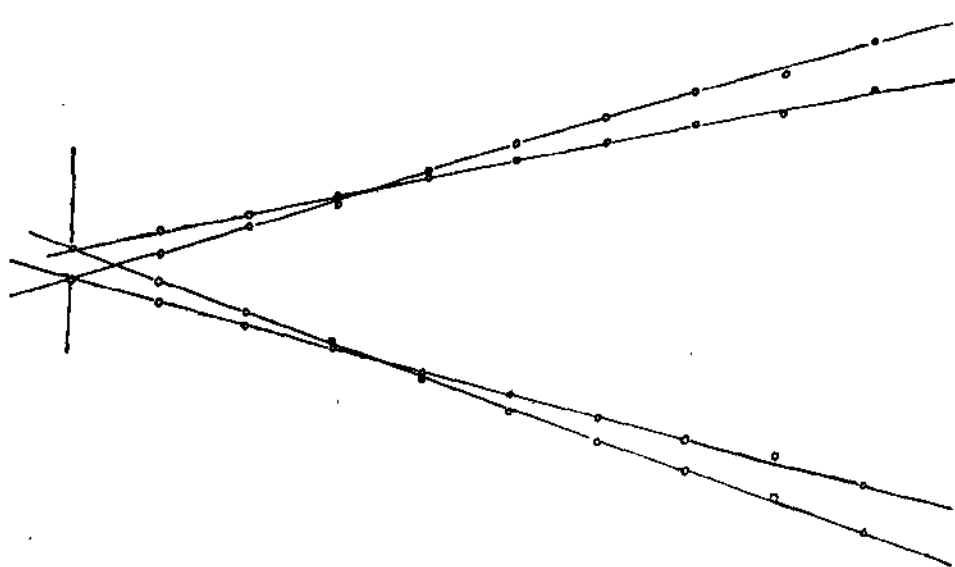


图 18. β 譜儀的电子軌道

同,因此它們的調焦圈的位置也不相同。出射角愈是大的电子束,它們調焦圈的直径也愈大,与計数管孔的距离也愈远。調焦圈的位置与选择电子束的出射角范围很有关系。

用电子枪也同时測量了磁鏡綫圈所組成的电子光学系統,象对实物的旋轉角度 θ 。在电子枪前面装上开有二个对中心对称直径为 13.3 毫米小孔的銅套子,观察在計数管处的螢光屏上这二个孔成象的位置。图 19 *ab* 为当磁鏡綫圈的磁場与地磁場的水平方向相合时象的位置,*cd* 为磁場方向相反时的位置。因为磁場方向相反时,象的轉角相等而方向相反,因此可以从图中得出象的轉角 $\theta = 99^\circ$ 。象的旋轉主要发生在磁鏡綫圈电子光学系統的弯折区域内 (bending zone)。

4. 校 正

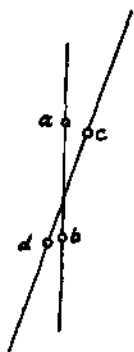


图 19. 象的旋轉

所有利用磁場的 β 譜仪都是利用 β 粒子的动量不同,在磁場中的运动軌道也不同。与运动軌道直接相关的是粒子的动量 $H\rho$,所以譜仪測定的也是粒子的动量。利用动量与能量相关的公式

$$E = E_0 \left\{ \sqrt{\left(\frac{e}{m_0} \frac{B\rho}{c} \right)^2 + 1} - 1 \right\}$$

$$E_0 = m_0 c^2 = (510,984 \pm 0.016) \text{ kev}$$

$$\frac{e}{m_0} = (1.75888 \pm 0.00005) \cdot 10^7 \text{ emu g}^{-1}$$

$$c = (2.997929 \pm 0.000008) \cdot 10^{10} \text{ cm sec}^{-1}$$

可以求出 β 粒子的能量。所有 β 譜仪中,只有 180° 半圆型的 β 譜仪。理論上与几何上的条件最简单,可以用来絕對測定 β 粒子的动量,其他型式的 β 譜仪一般都用能量已知的 γ 射綫內轉变或外轉变綫譜校正。用絕對測定方法定出的 γ 能量或內轉变綫譜能量都可以当作标准綫譜。标准綫譜的能量差不多分布在不同能量区域内,因此可以应用不同能量区域的綫譜来校正含有鉄磁性物質的 β 譜仪,研究鉄磁性物質影响 β 譜仪直綫性的程度。我們所用的标准放射源为 Cs^{137} ,它的优点是容易得到足够的強度, γ 能量为 661.65 kev^[15]的內轉变电子的能量大于含量 95% β 連續譜的最大能量 518 kev,內轉变綫譜在連續譜外面,內轉变系数 $\alpha_2 = 0.095$ 很大。放射源的直径为 6 毫米,GM 入射孔的直径为 6+ 毫米,改变障版 *d* 的位置,得到在不同透射率时 Cs^{137} 的 K 內轉变綫譜 (图 20)。图 21 为从图 20 的內轉变綫譜而得的相对透射率与分辨率的关系。分辨率由 0.86% 改变到 1.64%,相对透射率約增加十倍。根据放射源一端障版的几何位置,估計譜仪的立体角約 1.6%。但是透射率主要被計数管一端的障版限制,故透射率要比 1.6% 小。* 如果用調焦圈 (ring focus) 有希望在分辨率为 1.5% 时,透射率可以提高

* 求透射率需要知道放射源的絕對強度。 Cs^{137} 的 518 kev β 不与 661 γ 符合 (coin. indence) 故不能用符合技术測定它的絕對強度。