

# 吴健雄教授科学实验的启发

唐孝威

(浙江大学物理系交叉学科实验室 杭州 310027)

吴健雄教授是一位杰出的实验物理学家,做过许多精彩的物理实验。这里简单介绍她做过的六个物理实验,并且谈谈这些实验的启发。

## 1 第一个实验—— $\beta$ 衰变电子能谱形状的实验<sup>[1]</sup>

20 世纪 30 年代,吴健雄开始了她的实验研究。早在 30 年代末到 40 年代中期,她就在实验上研究过伴随电子俘获的内韧致辐射,以及铀裂变中的放射性氡。1946 年起她着手研究原子核  $\beta$  衰变,进行了一系列的实验。

在原子核  $\beta$  衰变中,原子核内一个中子转变为一个质子,同时放射一个电子和一个反中微子。此外还有放射正电子的  $\beta$  衰变。Fermi 的  $\beta$  衰变理论给出了  $\beta$  衰变电子能谱的形状。

实验上精确验证 Fermi  $\beta$  衰变理论遇到了各种困难。为了得到好的统计数据,测量时要用强度足够高的放射源,同时面积又不能大,为此就采用厚的放射源。但是在厚的放射源内电子发生吸收和散射,因而改变能谱的形状,尤其是造成能谱低能部分的畸变。此外,放射源发射电子后本身可能带电,也使得能谱低能部分受影响。对发射电子或正电子的  $\beta$  衰变,这种影响还不相同。

吴健雄和合作者仔细考虑了这些问题,专门设计制造了电子能谱仪,采用了大面积的、均匀的薄放射源进行测量,减少了在放射源内电子的吸收和散射。同时还采取了措施,减少放射源衬底的背散射,并避免放射源带电。因此她的一系列实验成功地澄清了许多当时存在严重分歧的问题,实验的结果很好地验证了 Fermi 的  $\beta$  衰变理论。

她测量过<sup>35</sup>S 放射源  $\beta$  衰变电子能谱的形状(见图 1),还专门对不同厚度放射源进行测量。<sup>64</sup>Cu 衰变不但放射电子,还放射正电子,她测量过电子能谱,还测量过正电子能谱(见图 2)。此外,她和合作者还测量过<sup>10</sup>Be, <sup>40</sup>K, <sup>41</sup>A, <sup>204</sup>Tl 等许多不同的  $\beta$  衰变。

从这些实验得到的启发是:一个科学家要在选择的研究领域中进行深入的、系统的研究。一个实验科学家要十分精通实验技术,用精益求精的态度,精心

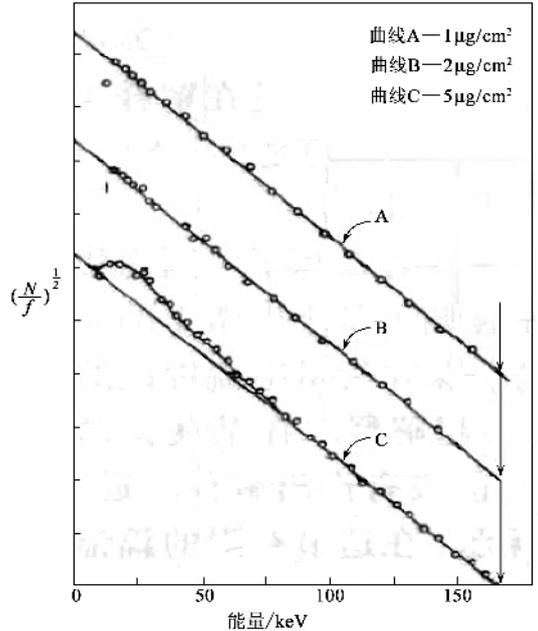


图 1 <sup>35</sup>S  $\beta$  衰变电子能谱的居里标绘(引自文献[2])

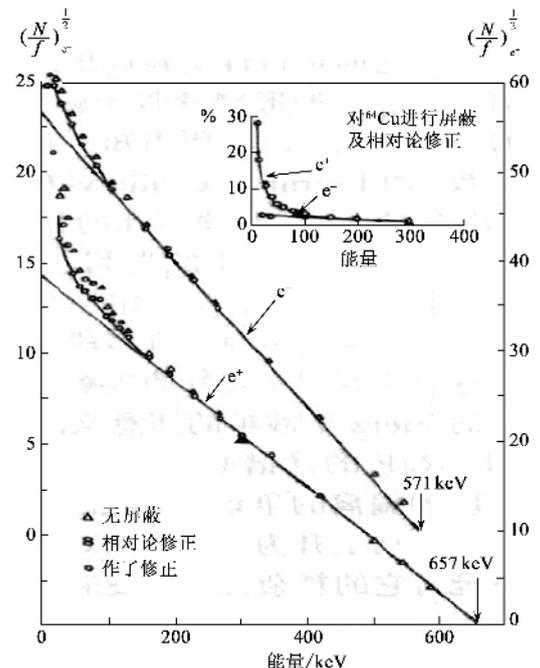


图 2 <sup>64</sup>Cu  $\beta$  衰变的电子能谱和正电子能谱的居里标绘(引自文献[2])

设计实验方案,改进实验仪器和实验方法,严格控制实验条件,认真进行实验测量,使实验结果正确可靠。

## 2 第二个实验——发现 $\beta$ 衰变中宇称不守恒的实验<sup>[3]</sup>

1956 年,吴健雄和合作者在<sup>60</sup>Co  $\beta$  衰变中检验宇称守恒,证明弱相互作用中宇称守恒定律破坏。当时李政道和杨振宁提出弱相互作用中宇称不守恒的理论。她和合作者设计和进行实验来验证这个理论,实验方法是利用<sup>60</sup>Co 放射源的  $\beta$  衰变过程: $^{60}\text{Co} \rightarrow ^{60}\text{Ni} + e^- + \bar{\nu}_e$ ,测量极化的<sup>60</sup>Co 原子核发射的电子角分布,来判断这个过程中宇称是否守恒,实验装置见图 3。

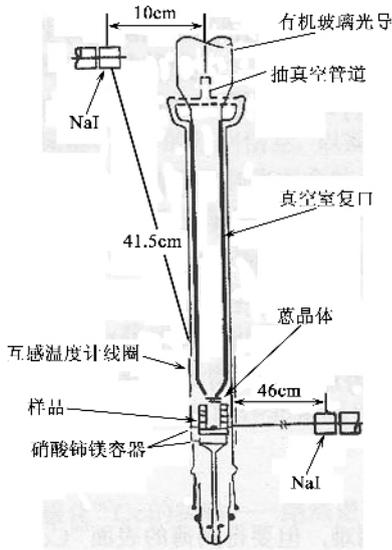


图 3 发现  $\beta$  衰变中宇称不守恒的实验装置 (引自文献 [2])

为使<sup>60</sup>Co 原子核的自旋按一定的方向排列,用顺磁性物质退磁技术,把<sup>60</sup>Co 放射源冷却到极低温,减少分子热运动,同时加外磁场使<sup>60</sup>Co 原子核极化。还用样品上面的蒽晶体记录极化的<sup>60</sup>Co 原子核衰变发射的电子的数目。然后反转<sup>60</sup>Co 原子核的极化方向,再用蒽晶体测量原子核发射的电子的数目。

这个实验设计得非常巧妙:把<sup>60</sup>Co 放射源铺在硝酸铈镁晶体的表面,放在强磁场中,在低于 0.01K 的极低温条件下进行原子核的极化;记录电子的蒽晶体也放在低温装置内部,蒽晶体记录电子时的荧光通过玻璃窗和 4 英尺的有机玻璃光导传送到光电倍增管,它远离磁场,因而不受磁场影响;还在外面两个方位上用 NaI  $\gamma$  闪烁计数器来测量<sup>60</sup>Co 的  $\gamma$  射线,从而确定<sup>60</sup>Co 原子核的极化程度。

她和合作者的实验结果表明,向<sup>60</sup>Co 原子核极化矢量相反方向发射的电子数目远多于向<sup>60</sup>Co 原子

核极化矢量相同方向发射的电子数目,这种不对称现象确定地证实了  $\beta$  衰变中宇称守恒的破坏(见图 4)。

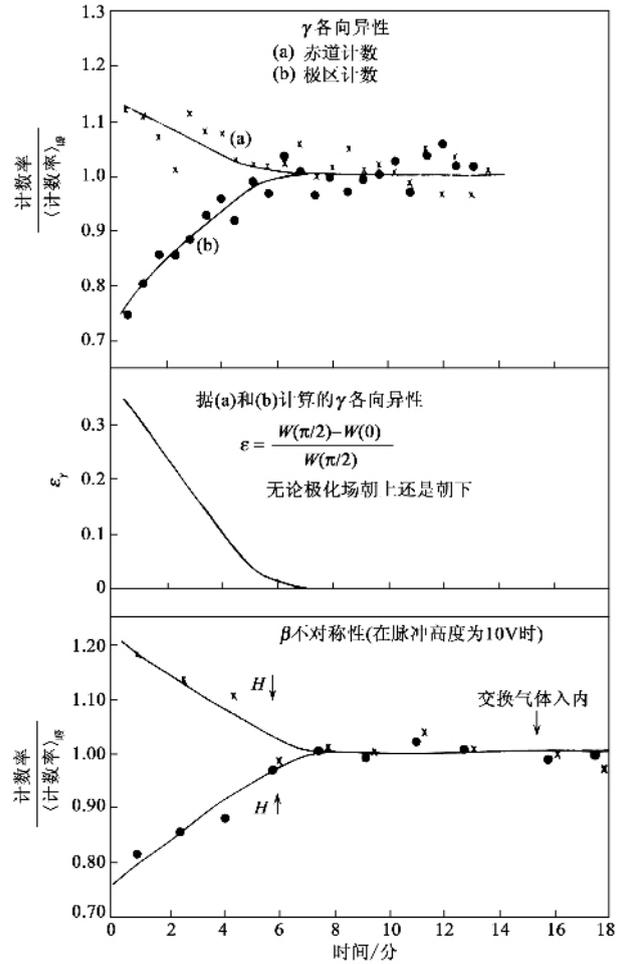


图 4 极化<sup>60</sup>Co 原子核的衰变电子的不对称性(引自文献 [2])

从这个实验得到的启发是:一个科学家要有独立主见,不被“权威”吓倒,肯坚持做自己认为重要而别人不愿做的研究。在当时,许多人认为“宇称不守恒”违反已有的常识,而且这种实验难度很大,所以不愿意做这种实验;但是吴健雄却认为  $\beta$  衰变中宇称守恒的结论尚未经过严格的实验检验,对这个基本问题应当进行检验,即使它不被实验所推翻,结果也非常重要,所以她坚持做这个困难的实验,并且取得了成功。

## 3 第三个实验——证实矢量流守恒的实验<sup>[4,5]</sup>

在发现  $\beta$  衰变中宇称不守恒之后,吴健雄并没有放慢她研究工作的步伐,很快就投入了新的实验。

50 年代末, Feynman 和 Gell-Mann 提出矢量流

守恒理论。负  $\mu$  子衰变为电子、 $\mu$  子型中微子和电子型反中微子的过程,和原子核  $\beta$  衰变中的中子衰变为质子、电子和电子型反中微子的过程相似。他们认为在这两种衰变中弱相互作用耦合常数相同,而后者有虚  $\pi$  介子强相互作用的影响。他们预测了某些原子核  $\beta$  衰变的特性。

吴健雄和合作者进行了  $^{12}\text{B}$  和  $^{12}\text{N}$  原子核  $\beta$  衰变电子能谱的测量,来检验矢量流守恒理论预言的  $\beta$  能谱的形状修正因子。实验用的谱仪和电子学框架见图 5。在加速器上通过  $^{11}\text{B}(d,p)^{12}\text{B}$  核反应产生  $^{12}\text{B}$  原子核,通过  $^{10}\text{B}(^3\text{He},n)^{12}\text{N}$  核反应产生  $^{12}\text{N}$  原子核,用无铁中间聚焦磁谱仪测量两种  $\beta$  衰变的电子能谱。

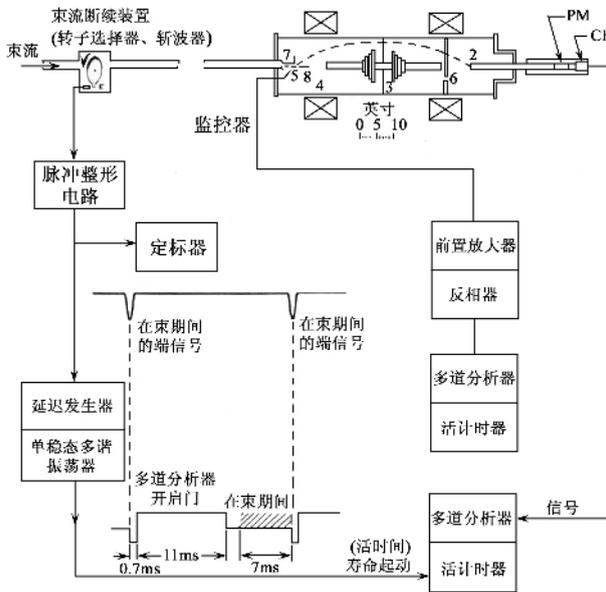


图 5 实验用的谱仪和电子学框架(引自文献[2])

他们分析实验测量的电子能谱,发现  $^{12}\text{B}$  能谱的谱形状因子的偏离是  $(+0.57 \pm 0.11)\%/\text{MeV}$ ,  $^{12}\text{N}$  能谱的谱形状因子的偏离是  $(-0.62 \pm 0.06)\%/\text{MeV}$ ,实验结果有力地证明了矢量流守恒理论的预言(见图 6)。他们还在不同的缝宽条件下进行测量,得到了相同的结论。这个实验不仅确立了一条新的守恒定律,而且为弱作用和电磁作用的统一铺设了第一块里程碑。

1976 年,有人指出上述实验的数据处理中采用了 Bhalla-Rose 的正电子费米函数( $F_{B-R}$ ),如果改用新的 Behrens-Janecke 正电子费米函数( $F_{B-J}$ ),实验的结果就会大不相同。吴健雄和合作者重新研究了这个问题,发现当改用  $F_{B-J}$  后,固然会大大改变实验算得的形状因子,然而当实验所用的分支比和  $f_t$  值等

参数也改用更好的新值后,恰好对形状因子产生了相反的影响,因此,矢量流守恒的结论没有变<sup>[5]</sup>。

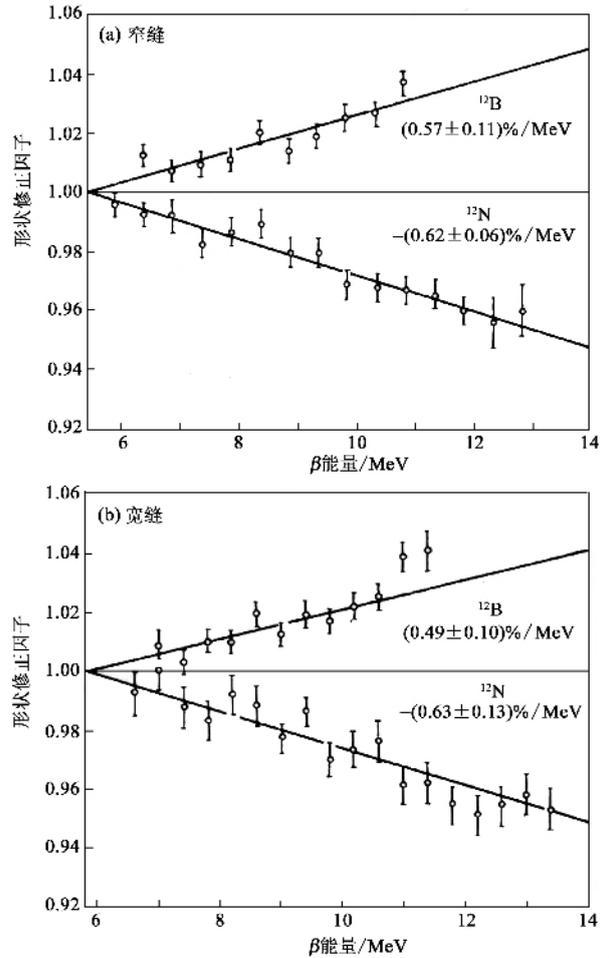


图 6  $^{12}\text{B}$  和  $^{12}\text{N}$   $\beta$  能谱的形状修正因子(引自文献[2])

从这个实验得到的启发是:实验科学家要把实验研究与理论研究结合起来,实验家不但要精通实验技术,而且要了解理论发展,善于抓住当前重要的前沿理论问题,进行实验研究,得到新的实验结果。

#### 4 第四个实验——奇特原子的实验<sup>[6]</sup>

20 世纪 60 年代,由于加速器技术的发展,可以在实验室中产生许多种类的粒子束,如  $\mu$  子束、 $\pi$  介子束、反质子束等;同时由于  $\gamma$  射线能谱测量技术如锗(锂)探测器的发展,可以用很高的能量分辨率精确测量 X 射线和  $\gamma$  射线能谱。

这时吴健雄注意到,这些技术的发展为开拓奇特原子研究的新领域提供了条件。奇特原子是指用一些带负电的粒子(轻子如负  $\mu$  子,强子如反质子等)取代原本在原子中的电子,从而形成结构上类似的奇特原子。它们有一些新的特性,例如取代电子的负粒子结合能量大,粒子靠近原子核运动,而且

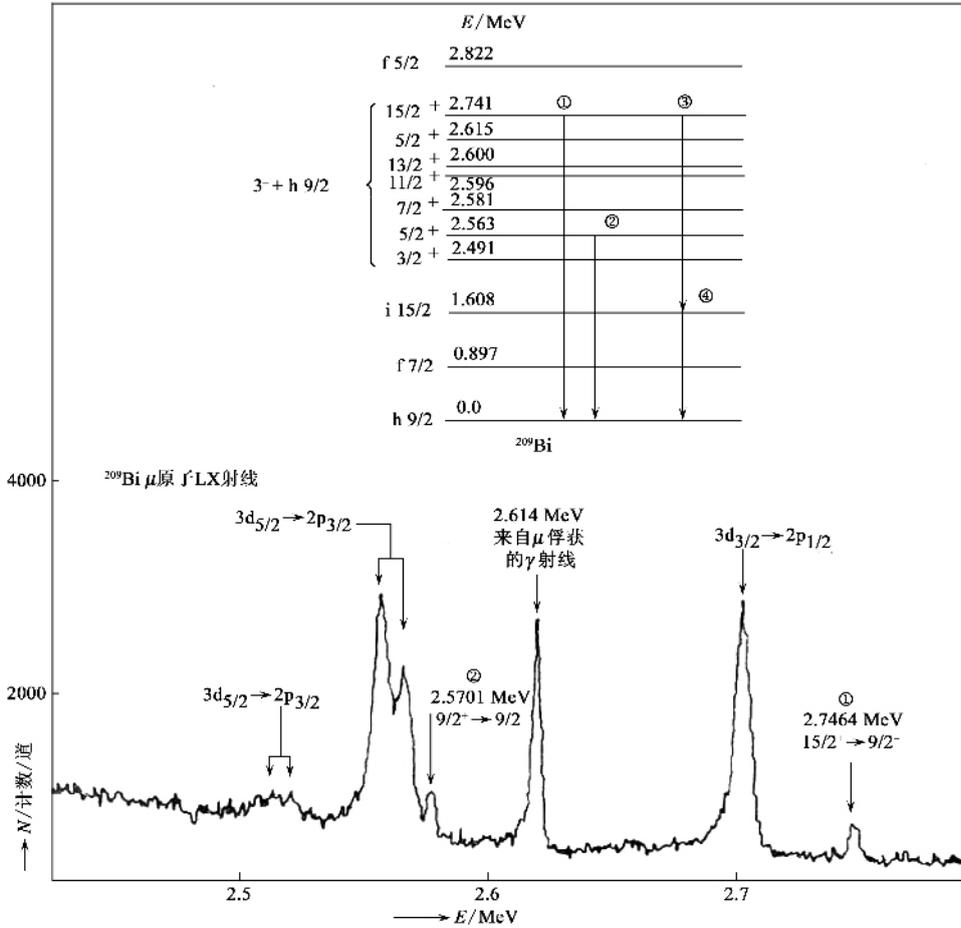


图 7  $^{209}\text{Bi}$  原子核的部分衰变图及由  $u^{-209}\text{Bi}$  的  $\frac{15}{2}^+$  及  $\frac{9}{2}^+$  态的共振激发引起的  $\gamma$  射线 (引自文献 [2])

这些原子存在时间很短,取代电子的负粒子或者自行衰变,或者被原子核吸收。

吴健雄积极推进这个新领域的实验研究。她和合作者研究过多种奇特原子,例如测量负  $\mu$  子和  $^{209}\text{Bi}$  原子形成的奇特原子的  $\gamma$  射线(见图 7)。

在负  $\mu$  子形成的奇特原子方面,她和合作者研究了原子核中静态电荷的分布,形变原子核的动态 E2 激发,同位素和同质异位素位移,同质异能素效应,电磁超精细结构,反常强度等等,此外,她还研究过其他奇特原子。

从这些实验得到的启发是:一个科学家在他熟悉的科学领域中进行了深入系统的研究之后,要根据科学发展的需要和实验技术的进展,适时开拓新的研究领域进行探索。

### 5 第五个实验——量子力学的实验<sup>[7]</sup>

量子力学的统计性是一个基本的物理问题。隐参量理论把量子力学的统计性归于存在未知的局域

隐参量。在不同的物理过程中检验隐参量理论是很有趣的。

早在 1950 年,吴健雄就研究过来自  $^{64}\text{Cu}$  原子核衰变的正电子发生正负电子二光子湮没的光子角关联。1975 年她和合作者设计实验,用康普顿散射测量来自  $^{64}\text{Cu}$  原子核衰变的正电子发生正负电子二光子湮没的光子相对线极化(实验装置见图 8)。

他们实验测量的结果与隐参量理论不符合,而与量子力学理论预期值符合。

从这个实验得到的启发是:并非所有重要的实验都要用庞大和复杂的实验设备来实现。某些重要问题也可能用比较小的实验设备进行研究,但是实验科学家必须设计新颖的实验方案,制作巧妙的实验仪器,进行独特的实验研究,来得到好的实验结果。

### 6 第六个实验——生物物理的实验<sup>[8]</sup>

70 年代中,吴健雄把注意力转到核技术在生物、医学上的应用。她和合作者利用穆斯堡尔谱学

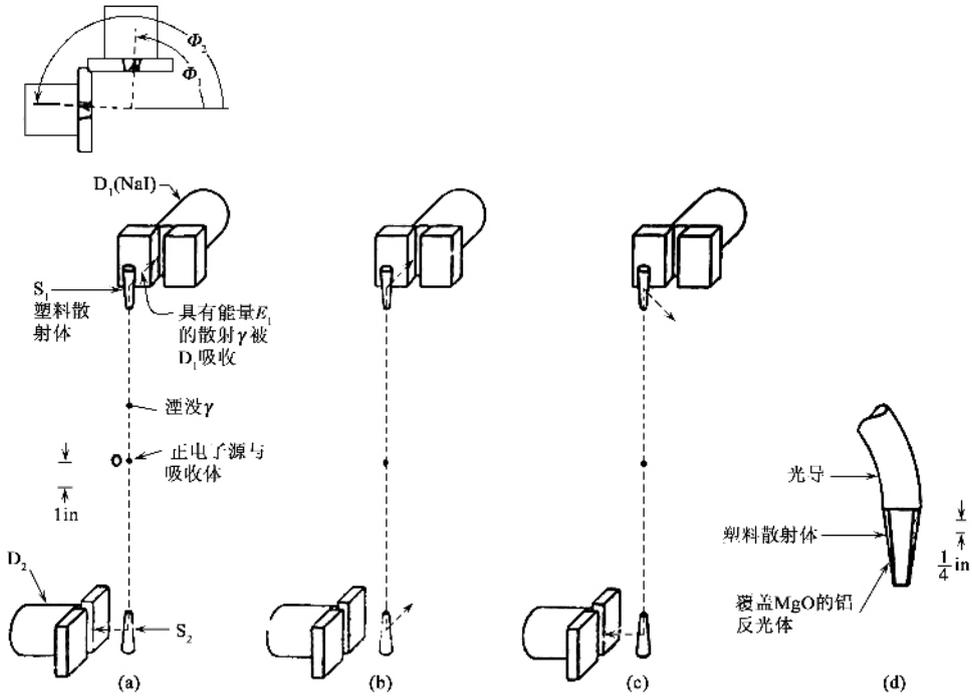


图 8 实验装置 (引自文献 [7]) (a)四重符合事例 (b)(c)三重符合事例 (d)塑料散射体详图

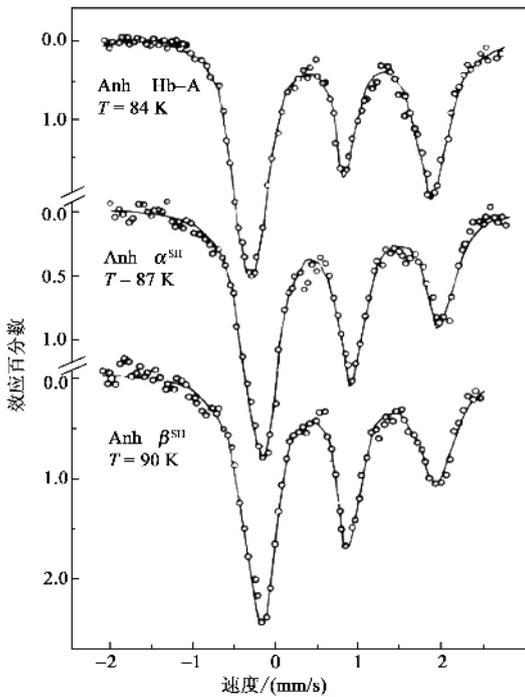


图 9 测量得到的穆斯堡尔谱 (引自文献 [2])

方法,制备各种样品,进行生物物理实验。

他们研究了血红蛋白的结构以及它在 77K 到 200K 温区内的特性,所得典型谱示于图 9。在实验上清楚地显示,曾经被认为具有典型的不同氧化亲和性的去氧 Hb - A 亚铁离子与其离析亚单元的谱没有不同,因此去氧 Hb - A 与其离析亚单元氧化亲

和性的不同并不是因为电子结构不同造成的。他们还对比了镰刀状血球贫血症者的红细胞血红蛋白的 Hb - A 进行了类似的研究。

从这个实验得到的启发是:从事基础研究的科学家,同时要关心实际问题。当具备条件时,去研究有重要应用的科学问题,例如研究与人类健康相关的科学问题,直接为人类造福。

科学实验是科学大厦的基石,科学实验是认识科学真理的源泉和检验科学理论的标准。重温吴健雄教授的科学实验,对我们有许多教益。她实验研究的杰出成就定会激励青年科学工作者重视科学实验,热爱科学实验,献身科学实验,在科学上通过自己的实验研究做出新的发明和新的发现。

### 参 考 文 献

[1] Wu C S, Albert R D. Phys. Rev., 1949, 75 :315  
 [2] 冯端,陆燊主编. 半个世纪的科学生涯—吴健雄袁家骢文集. 南京:南京大学出版社,1992[ Ed. Feng D, Lu T. Scientific Careers of half a Century—Selected Papers and Lectures of Chien Shiung Wu and Luke C. L. Yuan. Nanjing: Nanjing University Press, 1992( in Chinese ) ]  
 [3] Wu C S, Ambler E, Hayward R W *et al.* Phys. Rev., 1957, 105 :1413  
 [4] Lee Y K, Mo L W, Wu C S. Phys. Rev. Lett., 1963, 10 :253  
 [5] Wu C S, Lee Y K, Mo L W. Phys. Rev. Lett., 1977, 39 :72  
 [6] Wu C S, Wilts L. Annual Review of Nuclear Science, 1969, 19 :527  
 [7] Kasday L, Ullman J D, Wu C S. 1L Nuovo Cimento 25B, 1975, 2 :633  
 [8] Wu C S *et al.* Biochemical and biophysical research communications, 1974, 60 :3504