

# $\beta$ 衰变研究的近况

梅 鎮 岳

原子核衰变的研究为 1939 年 鈾 原子核裂变的发现开辟了道路,它是原子核物理学中历史最久的一个部門。自从帶电粒子加速器建成以后,实验室内就能制造放射性同位素,原子核衰变研究有了进一步的发展。近年来中子反应堆大量生产放射性同位素,在应用上,对于它們衰变情况的了解更有迫切的要求。

原子核衰变可能是放射  $\alpha$  射綫的  $\alpha$  衰变,也可能是放射  $\beta$  射綫的  $\beta$  衰变。在这些衰变的过程中往往也伴随着  $\gamma$  射綫的发射。这是因为衰变后的原子核多半是处于激发态,原子核从激发态跃迁到能量較低的能級和基态是以发射  $\gamma$  射綫和  $\gamma$  衰变的方式来完成。絕大部分由反应堆和加速器所产生的放射性同位素属于  $\beta$  衰变类型。

$\beta$  衰变研究的目的主要有两个方面:从  $\beta$  衰变来了解原子核的結構和了解  $\beta$  衰变的基本規律。本文想把它們目前发展的情况簡要地介紹一下。

## $\beta$ 衰变和原子核結構

要从  $\beta$  衰变来研究原子核結構,首先是根据  $\beta$  衰变的研究来确定  $\beta$  衰变后原子核的能級特性。这样得到的原子核能級特性可以和不同的原子核結構理論所預測的来比較,我們就能知道那一种理論和实际的情况相符合。这和从光譜分析来了解原子結構相类似。

在原子核結構理論中壳层模型理論是很成功的一个。在它出現以前原子核結構理論是非常不成熟的,大家对于原子核只有一些籠統和模糊的概念。一般知道原子核是由中子和質子所組成,它所帶的正电荷可用質子数来表示,質量可用質子和中子的总数来表示。中子和中子,中子和質子,質子和質子間的作用力——核力(質子和質子間的庫倫电场除外),應該都是一样的。核力的作用非常强烈,可是它的作用范围非常小。而且核力还有交換性質。这些特性使得核力和液体分子間作用的力很类似。也就是說可以把原子核比成液滴。这样的模型可以用来解釋一些現象,例如:重原子核的裂变,低能原子核反应的機構等。但是它只限于一些定性的說明,很难对原子核結構作更进一步的定量的分析。

原子核壳层模型理論是以大量实验事实作为依据而推导出来的。这些事实里都表明有“壳层数”的存在。当中子数( $N$ )和質子数( $Z$ )是 2, 8, 20, 28, 50, 82 或 126 时原子核的結構特別稳定。例如: $N$  和  $Z$  都是 2 和 8 的原子核  $\text{He}^4$  和  $\text{O}^{16}$  是很稳定的。从自然界某一元素的各种同位素含量多少也可以看到这点,因为原子核愈稳定,它的含量就應該愈多,  $\text{Sr}^{88}$  ( $N=50$ ),  $\text{Ba}^{138}$  和  $\text{Ce}^{140}$  ( $N=82$ ) 就佔各該元素的含量 60% 以上,而且錫 ( $Z=50$ ) 和鉛 ( $Z=82$ ) 的稳定同位素种类特别多。如果  $\alpha$  或  $\beta$  衰变后的原子核是属于壳层数的,放射出来的能量就特別大,反过来,如果衰变的是壳层数原子核,放射能量就特別小。而且  $N$  是壳层数的原子核对热中子的俘获截面特別小。这一切都表明中子和質子在原子核內的情况和軌道电子在原子內的情况相类似,它們分別排列成壳层,每层中可容納一定数量的中子或質子,当这个数目填足时就形成滿壳层。这时原子核特別稳定。原子核壳层模型理論就是从这样的一个观点得到的。这个理論把原子核中的中子和質子看做一羣受着公共势能的影响、相互作用很小、独立运动着的粒子。

根据原子核壳层模型理論所作出的一些推测和計算可以和  $\beta$  衰变研究所得到的結果相比較,在很多场合它們是互相一致的。例如:从  $\beta$  衰变的几率和某些类型  $\beta$  衰变所放射的  $\beta$  射綫的能量分布情况都能定出衰变前后原子核軌道角动量  $l$  的差別。如果衰变后稳定原子核的  $l$  值可以从測定原子核的磁矩得到,衰变原子核的  $l$  值就能从实验得到。在大多数情形下,这样所得到的  $l$  值和壳层模型理論所推算出来的是一致的。其次,在  $\beta$  衰变的过程中有时出現“亞稳态”。这是指原子核正处于一个激发态,它从那里跃迁到能量較低态的几率不大,跃迁过程中所放射出来的  $\gamma$  射綫或是所引起的內轉換电子的衰变寿命長到一个程度可以明显地观察到。这种有亞稳态的原子核多半出现在  $N$  或  $Z$  接近滿壳层的地方。壳层模型理論能解釋这个現象,根据它的推算,接近滿壳层的原子核內存在着一些能級,它們和能量較低的态之間能量的差別不大,但是总角动量( $j$ )的差別很大,在这些能級之間跃迁

的几率是很小的。这就是亞稳态存在的道理，它們出現在  $N$  或  $Z$  接近壳层数 50, 82 和 126 的地方。还有，接近滿壳层的原子核的能量較低部分能級的特性可以从理論計算出来，从  $\beta$  衰变所得到的数据可以和它比較。例如  $\text{Pb}^{206}$  的从  $\beta$  衰变研究所得到的能級数据曾和壳层模型理論所推算的結果相比較，兩方面是一致的。这些情况都說明壳层模型理論是很成功的。

不过壳层模型理論也有它的局限性，它只能应用在接近滿壳层原子核的問題上。它把中子或質子在原子核中的情况看成和軌道电子在原子中运动的情况一样，忽略掉中子和質子的集体运动。这并不是很恰当的。在原子中有一个重的原子核作为稳定的运动中心和强烈的势能的来源，可是在原子核中并不存在着这样的一个中心。除去壳层模型所描写的运动外，整个系統还会振盪，也就是說作用于中子或質子的公共势能是变动的。从这样一个观点看来，原子核系統倒是和分子的情况相接近，它是單个中子或質子的运动和机构整体的集体轉动和振盪相耦合而形成的。这就是所謂集体运动模型理論，它能說明壳层模型所不能說明的問題。根据它所推导出来的有关原子核自旋、四极矩和磁矩的数据比从壳层模型理論得到的更要接近实际的情况。在离滿壳层远的原子核能級的推算更是非用这个理論不可。在  $A \sim 25$ ,  $150 < A < 190$ ,  $A > 222$  ( $A$  是質量数) 的原子核中，近年来从  $\beta$  衰变的研究中累积了不少关于能量較低部分能級的特性，它們中绝大部分都是和从集体运动模型理論推算所得到的数据相一致的。

无疑地，从  $\beta$  衰变的研究里今后可以得到更多的和更准确的有关原子核能級的数据，它們將帮助我們明确各种原子核結構理論的正确性和局限性，說明在一定的情况下那一个理論：壳层模型理論或是集体运动模型，或是其他理論最接近实际的情况。根据这些研究我們就可能創造出一个为完善的原子核結構理論。

### $\beta$ 衰变的基本規律

李政道，楊振宁的論文发表以前，大家認為  $\beta$  衰变的規律基本上是已經解决了的。其中中微子存在問題虽然由于技术上的困难实验数据不十分明确可靠，可是也公認為問題不大。“弱相互作用中宇称可能不守恒”这一問題提出以后， $\beta$  衰变的基本規律就不得不重新加以修正。近兩年來，关于  $\beta$  衰变基本規律的研究已成为原子核物理研究中最重要的心問題。

在原子核物理的研究中要牽涉到各种粒子間的相互作用，在  $\beta$  衰变中有关的中子或質子与电子及中微

子間的相互作用是一种弱的相互作用。和原子核物理中所遇到的別种相互作用比較，这种相互作用的偶合常数的数值要小得多，因此这种作用的时间过程相对地講要長。所謂宇称是指事物对于空間反演 ( $r \rightarrow -r$ ) 的不变性。在  $\beta$  衰变的过程中宇称是否守恒这个問題以前一直沒有經過实验的考驗。以前对于  $\beta$  衰变所进行的各种研究，例如：各种类型  $\beta$  衰变所放射的  $\beta$  射綫的能量分布情况，衰变过程中所放射的  $\beta$  射綫和  $\gamma$  射綫的相对方向，衰变所放射的电子和中微子的相对方向等的研究都不能对宇称是否守恒作出决定。因为这些研究都不牽涉到宇称守恒和宇称不守恒的偶合常数間的干涉項。解决这个問題的一个很明显的办法是对原子核朝各个方向放射  $\beta$  射綫的几率加以測定来确定  $\beta$  射綫放射的对称性。吳健雄等証明在  $\beta$  衰变中宇称不守恒的  $\text{CO}^{60}$  实验是属于这种类型的。要做这种实验首先就得把原子核排列成同一方向，因为在一般放射源中原子核的方向是杂乱的，从它們中每个原子核所放射的  $\beta$  射綫迭加而形成的总效应將使观察到的  $\beta$  射綫是各向等性的。极化(排列)的原子核可用适当的含有  $\beta$  放射性原子核的順磁鹽降低溫度到  $0.01^\circ$  绝对溫度以下再加磁場而得到。 $\text{CO}^{60}$  实验中用  $\text{CO}^{60}$  放射源薄层鋪在硝酸鈾鎂晶体表面，进行低溫順磁极化，把鈾原子核排列起来。极化的程度可以利用  $\text{CO}^{60}$  放射出来的  $\gamma$  射綫的不等向性来測定，极化或原子核排列方向可从极化磁場决定。实验結果表明放射的  $\beta$  射綫有不对称性，它倾向于向原子核自旋軸綫相反的方向发射。这說明在这个过程中宇称不守恒。

$\text{CO}^{60}$  实验不仅証明宇称不守恒，而且  $\beta$  射綫的不对称性的数值推算結果也表明电荷共軛轉換(粒子  $\rightarrow$  反粒子)中的不变性也被破坏。实验数据还倾向于認為在  $\beta$  衰变中时间反向轉換有不变性。可是因为实验条件困难，这个結果还不能認為是很肯定的。

曾有人用类似极化  $\text{CO}^{60}$  的方法极化  $\text{CO}^{58}\text{CO}^{59}$  和  $\text{Mn}^{52}$  来研究  $\beta$  射綫的不对称性。反应堆产生的中子可以利用別的办法极化来研究它  $\beta$  衰变时宇称是否守恒的問題。目前各实验室正在試探各种可能极化原子核的方法。不过极化原子核的实验技术目前还是非常困难和复杂的，它們还不能对各种原子核普遍应用。有关宇称問題的  $\beta$  衰变研究还可利用其他实验方法。例如：根据  $\beta$  衰变中宇称不守恒的理論可以推断， $\beta$  衰变原子核所放射的电子自旋軸綫是大致和发射方向一致，一致的程度可用  $\pm v/c$  来表示(这里  $v$  是电子的速度， $c$  是光速， $\pm$  符号相应于正負电子)。这个論断已經得到实验的証实。

近两年来关于 $\beta$ 衰变中宇称是否守恒问题进行过不少实验,它们不仅说明 $\beta$ 衰变中宇称不守恒,而且表明中微子可用两分量的波函数来表示。由此得出来的 $\beta$ 衰变理论非常简单,它能说明包括宇称不守恒在内的一切有关 $\beta$ 衰变的问题。这个理论所确定的在 $\beta$ 衰变中出现的两种偶合和从前理论所定的偶合完全不一样。在这个问题上最关键的实验证明来自 $\beta$ 衰变放射的电子和中微子的相对方向实验。因为技术上的困难,以前所得到的实验数据不很可靠。最近已有人将严重地和理论不合的 $\text{He}^6$ 的衰变电子和中微子的相对方向实验重新测定,新的结果肯定新的理论所确定的两种偶合是正确的。

近两年来关于 $\beta$ 衰变基本规律的研究,看来已经基本上解决了这一方面的问题。不过研究得还不很透彻,大部分实验研究的技术都是复杂和困难的,因此数据的可靠性和准确性还值得考虑。进一步展开深入而细致的研究工作还是需要的。

本文简单介绍 $\beta$ 衰变研究两个方面:1. 根据 $\beta$ 衰变来了解原子核结构,2.  $\beta$ 衰变基本规律。近年来这两方面都有重大发展。尤其是1956年提出的在弱相互作用中宇称不守恒理论对 $\beta$ 衰变基本规律的研究起极其强烈的促进作用。两年来这方面研究的收获很大。但我们应该,而且也可能把它更向前推进,使我们对于 $\beta$ 衰变的了解更为深入和透彻。

## 超声波在化学与生物化学中的应用

И. Е. 艾利匹涅尔

苏共中央五月全体会通过了利用天然及合成产物的化学转化制备有用的新物质以加速发展我国国民经济的决议。党的这一决议,对各个领域的工作者提出了一系列重大任务。

本文将说明一种最新的物理因素——超声波——在近代化学与生物化学中的应用。如下面所指出的,超声波可以激发一系列在通常条件下难于进行的化学反应。应用超声波,可以影响化学反应的特征与定向,且可使反应产物具有更高的实用价值。

超声波对各种动植物细胞的发育和生化作用的影响,也很有研究价值。超声波对天然物质所引起的各种特有的化学转化,也是急待研究的问题。

\* \* \*

许多研究证实,超声振动能激发化学反应。这一物理因素对各种化学作用均有明显影响,它的影响不限于胶体溶液与高分子物质,也涉及有机物与无机物的分子溶液与离子溶液。在超声波激发的化学过程中,主要是氧化与还原、聚合与解聚等反应;这时发生分子内部的重排。

在超声波(图1)的影响下,从碘化钾水溶液中析出碘,从硫化氢溶液中析出硫,两价铁转变成三价铁,锰及其他离子也被氧化。这种氧化现象,可以解释为溶于水中的氧气在超声振动的影响下活化,因而在水溶液中生成过氧化氢。除氧气外,在超声波场中

被活化的还有氮气。例如,溶有分子态氧与氮的水,在超声振动下产生一氧化氮与二氧化氮。后者与水作用,生成硝酸与亚硝酸(И. Г. Полоцкий, 1947)<sup>[1]</sup>。

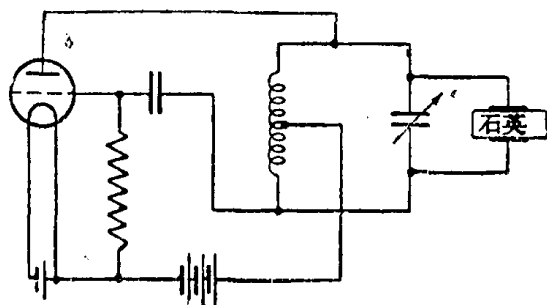


图1 装有石英的三极真空管超声波发生器简图

根据许多学者的看法,溶于声波振动的液体中的氧或其他气体的活化作用,与所谓空腔气泡的碰撞所产生的机械力密切相关(机械空腔理论)。显然,超声波的传播系借介质如液体的压缩与疏松而进行。在足够强烈的超声振动下,介质的疏松部出现该液体的破坏而形成空腔——空腔现象。空腔中充满液体的蒸汽,溶于液体中的气体则在其中扩散。在介质的密部发生空腔的相互碰撞,并释放出很大的能量。

空腔的形成决定于介质的粘度:液体的粘度愈高,则所需超声波的强度愈大。此时生成气体空腔气泡。除去气体的液体就很难产生空腔。

产生超声波化学反应的机理,是用所谓共振空腔