

# 冬季核物理讲习班简介

李扬国

1980年12月22日至1981年1月9日在北京举办冬季核物理讲习班。在这次讲习班中,海外12位从事核物理研究的华裔教授、学者,以讲学的形式较系统地介绍了核物理的几个主要分支近十多年来的进展。还有来自全国各地的近三百位核物理学者,他们除了参加听课之外,还进行了学术交流。这次讲课内容,以理论为主,但也介绍了一些实验的新进展及应用。理论方面介绍了核力、壳模型,多体理论,重离子核反应,电磁作用和弱作用。实验方面介绍了新的巨共振现象,远离稳定线核的研究和小加速器的应用。

## <一> 核 力

核力是核物理研究最基本的课题,是研究强相互作用所必须解决的重要问题。近20年来,核物理及粒子物理的进展,使人们对核力的认识进入一个新时代。王振华教授的讲课给我们一个很好的概括。核子(中子和质子)的一些基本属性,如它的质量、电荷、磁矩、自旋、半径、寿命等,以及二核子系统的束缚态和散射态的实验事实,使人们对用一个唯象的位势来描述 $N-N$ 相互作用有了一些初步的结论。汤川的介子交换理论,进一步揭示核力的实质,认为核子-核子相互作用是通过交换介子来实现的。人们从单玻色子交换出发,参改两核子散射实验测得的相移,建立了一个很实用的两体位势。如1962年提出的Hamada-Johnson位,以及1968年提出的软心位(Reid Soft-Core位)。这些位势对自旋、同位旋、张量的依赖,以及不同区域位势的特点,反映了各种介子交换对位势的贡献。特别是重介子(如 $\rho$ ,  $\omega$ 介子),它们不同的质量,自旋、同位旋,耦合强度,对核力的量子区是重要的,而核力内域的中心区仍要用唯象的办法。

从介子理论出发,近年来进一步研究双 $\pi$ 以及多 $\pi$ 交换的位势。1980年提出有名的巴黎位势便是建立在多 $\pi$ 交换上。同时,在多 $\pi$ 交换中有必要考虑很多重子态(例如 $\Delta$ )中间态的存在,以及物质密度变化的影响等等。这些仍存在不少问题等待人们去探索。

今天,我们都知道核子不再是物质构成的基本粒子。它是由层子组成的。强子有结构这一事实对核力的研究开辟了新的境地。从层子模型、层子被囚禁的口袋模型出发,可以认为核子-核子相互作用是通过交换胶子来实现。人们从这样的观点出发,对核力的某些性质,例如长程部分与分子力的相似,开始有了一点定性的认识。关于口袋模型能否得到核力的排斥心,

目前尚有争论。总之,从层子这一层次来探讨核力还仅仅是一个开端。

## <二> 多 体 理 论

原子核是一个多体系统,它的粒子数从几个到二百多个。要解释原子核丰富多采的实验现象,建立量子力学的多体理论就很重要。五十年代,壳模型理论的成功,给原子核理论奠定了一个重要的基础。但是,就原子核能级特性而言,在壳模型基础上,用矩阵法求解本征值、本征函数的办法,即使在今天计算机的速度及容量极大的情况下,也是极难以实现的。王肖明教授讲了一个在不太大的 $l, p$ 壳子空间有20个价粒子的例子。它的 $J=5, T=1$ 态的维数达81,804,788。这是一个很惊人的数字,是当前的计算机所无法做到的。但是,物理上有兴趣的解,并不是量子力学的所有解,而只是其中的一小部份,例如代表低激发能级的解。近20年来,原子核的多体理论,在寻找物理上有兴趣的解方面有很多成就。除了壳模型之外,还有玻色子相互作用模型,集团模型、光学模型等。郭子斯教授的讲演,介绍了如何由多体理论出发,在有限维数的 $P$ 空间中找出物理上所需要的等效哈密顿量。他特别强调与能量无关的等效哈密顿量的特点,及如何得到等效相互作用的多体理论途径。王肖明教授对可怕的大矩阵求解提出一个革新的办法:用统计核谱的办法来了解某些核物理的现象。即用统计力学的观点去了解能谱分布,跃迁强度分布以及巨共振等核现象。这是国际上当前在解决核多体问题上的一个新的努力。

原子核的多体理论,不单要能够解释核结构的各种现象,还应该能够统一处理束缚态、散射态及反应的各种问题。唐尧千教授讲述的建立在原子核集团模型上的多体理论微观描述,便是这种努力的一个方面。他阐述了这一理论多年来三个主要方法的发展。三种主要方法是(1)共振群方法,(2)生成坐标方法,(3)正交条件模型。我们看到在微观描述中,质心的伪态和泡利原理要求波函数反对称化,给理论带来了复杂性。不同的方法,在解决这些问题时各有它的长处及缺陷。唐教授讲述了如何综合运用,扬长避短。去处理原子核各种现象。

## <三> 重离子核反应

重离子核反应是近20年来核物理发展的重要分

支。人们用质子、中子、电子、 $\gamma$ 光子以至氦， $\alpha$ 这一些没有内部结构或内部结构最简单的核作为炮弹来轰击原子核，但已经留下了不少未解决的问题待人们深入去研究，现在，用结构更复杂的重离子作为炮弹轰击原子核，当然会进一步增加在实验工作和理论工作的复杂性。不过，它也给核物理带来了一些有意义的课题，人们已经从重离子反应获知了一些常规核反应无法得到的核性质。例如，重离子反应可使原子核获得很高的角动量，在高速转动下，原子核出现新的现象，改变了原子核的结构。又例如，可以通过熔合反应，合成新的同位素并在  $Z=114$  附近寻找一个理论上预言的稳定的核素区等等。讲习班中廖国权先生介绍了以量子力学为基础的低能量重离子反应理论，特别是讨论了粒子转移反应的扭曲波处理方法，柯治明教授则在更广泛的范围内介绍重离子反应理论的现状。重离子反应的实验现象是多种多样的。入射能量：每核子几百万电子伏到几十亿电子伏。炮弹的质量：由几个、十几个质量单位到二百多个质量单位。靶受轰击后所发生的末态：仅有二体、三体，而且有多体，有各种各样的碎块发生。在理论上，用统计力学的输运理论解释重离子反应有了很大的发展与成功。在高能区重离子核反应方面，由于出射的粒子不单有传统的核粒子，如质子、中子及其它核碎块，而且出现了其它强子如  $\pi$ ， $\kappa$  等。理论发展还处于早期阶段。为了解释各种不同的现象，出现了好几种模型理论；如多次碰撞模型，火球模型，级联模型，末态相互作用模型。正是因为重离子核反应的现象和理论相当丰富，所以国外至今还在建造或计划建造流强更大，能量更高的重离子加速器，以求深入研究这个领域。

李弘谦和郑文魁二位教授讲述了弱电统一理论在核物理中的重要应用。指出奠定弱电统一理论的重要

实验有很多是在核物理领域中做出来的。而理论的新进展又反过来成为核物理研究的新工具。今后弱电相互作用的研究也会在核物理与粒子物理之间起沟通作用。

#### 〈四〉 实 验

在五十年代中，从光致中子的反应中得到巨电偶极共振现象。它使人们认识原子核某些集体运动的性质。原子核是否存在其它类型的巨共振现象？原子核是否有其他的运动模式呢？由于在辐射俘获的电磁跃迁过程中，电偶极跃迁总是最强的，它把更高极的电磁跃迁掩盖了，所以要发现是否有巨电四极共振，或巨电八极共振，不得不找新的实验途径。张哲哲教授讲述了新的巨多极共振实验的进展，例如利用轻离子  $\alpha$  粒子的非弹性散射，已经系统地发现了巨电四极共振态。人们今天还在作各种努力，如通过重离子反应，电子的非弹性散射， $(e, e'x)$  反应等去寻找巨电八极共振，巨磁单极共振等是否存在。

实验上去发现更多短寿命的原子核，不仅有实际应用价值，而且在了解原子核的运动规律方面也是极重要的。人们将有可能在更广阔的范围内获得核的消息，以便作出更深入的理论总结。李克平教授介绍了获得各种新核的实验概况。今天，由于实验技术的新的进展：如直接的在线测量，快速化学分离，在线同位素分离等，再加上重离子加速器及一些实验设备的不断改进，人们已更有能力去研究远离稳定线的原子核性质。中能核物理的崛起，则使人们有可能通过奇特核反应过程获得常规核反应所得不到的核。如  $(\pi^-, \pi^+)$  双电荷交换反应，可以从  $^{18}\text{O}$  的靶得到  $^{18}\text{C}$  核。它的中子数是质子数的二倍。今天，人们已经开始用这类反应去研究轻的丰中子核。