

(一) 简介

原子核内存在集团是有较长历史的一种观点。首先,天然放射性元素发射 α 粒子的事实,曾使人们以为 α 粒子是存在于原子核内的一种“基本”颗粒。当时人们认为原子核内存在着质子、 α 粒子和电子。对原子核组成的这种看法称为伽莫夫-伊诺宾模型^[1]。发现中子以后,对原子核结构的认识发生了根本的改变,人们认识到原子核是由中子和质子组成。

但是原子核由单个质子和中子组成的独立粒子模型,对原子核的很多特性,并不能给出满意的解释,有标志独立粒子运动形式的性质外,还有标志集体运动形式的性质。

原子核的集团模型则认为核内存在核子团的结构。它起源于惠勒的“共振群结构”^[2]。一般形式下的共振群结构是十分复杂的,而固定由两个质子和两个中子组成的 α 集团是原子核共振群结构中比较简单的一个特例。惠勒^[3]与威费尔买埃又进一步发展了它,于是,在集团模型中又分出了 α 粒子模型。

(二) 原子核的 α 粒子模型

α 粒子模型假定在原子核内,存在一些单个独立的 α 粒子,它们就好象晶体内的原子那样,在其平衡位置附近振动。例如 ^{12}C 原子核就可认为由分布在等边三角形顶点上的三个 α 粒子组成,而每个 α 粒子又在顶点附近振动。同样,在 ^{16}O 原子核中,有四个 α 粒子,它们在一个四面体的四个顶点附近作振动(见图

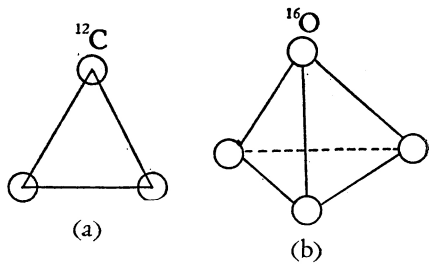


图1 ^{12}C 与 ^{16}O 的 α 粒子模型

1)。

这样简单的模型,曾取得了一定的成就。且尼逊用这种 α 粒子模型,得到了 ^{16}O 原子核低激发态的能级^[4]。它的结果与近来所获得的实验结果是符合的。见下表I。

用同样 α 粒子模型,高能电子对 ^{12}C 的弹性与非弹性散射也可以得到解释。图2给出了电子对 ^{12}C 的弹性散射形状因子,图3与图4是电子对 ^{12}C 的 2^+ 态与 3^- 态的非弹性散射形状因子。从这些结果可看出,除动量转移大外,一般是符合得好的。

用同样的模型,也可解释 π 介子与 ^{12}C 的散射总

表I 在 α 粒子模型下, ^{16}O 低激发能级与实验结果的比较

能级	能量(α 粒子模型) (MeV)	实验 (MeV)
0^+	0	0
3^-	5.1	6.13
0^+	5.9	6.05
2^+	6.29	6.29
2^-	6.3	8.87
1^-	6.6	7.12
0^+	7.5	—
4^+	8.5	10.35
0^+	9.9	12.05

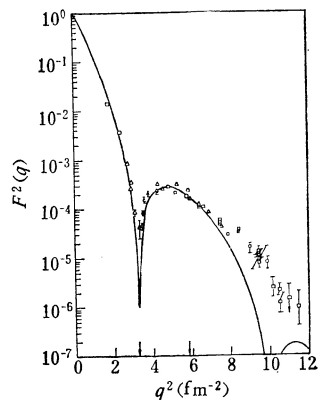


图2 电子对 ^{12}C 的弹性散射形状因子
 q 为动量转移(以下同)

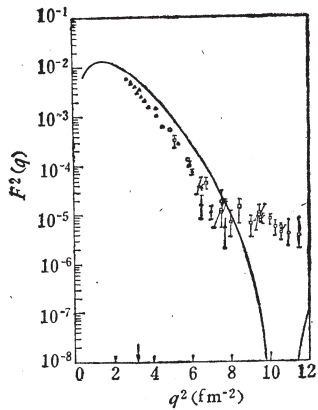


图3 电子对¹²C的4.43 MeV, 2⁺能级的非弹性散射形状因子

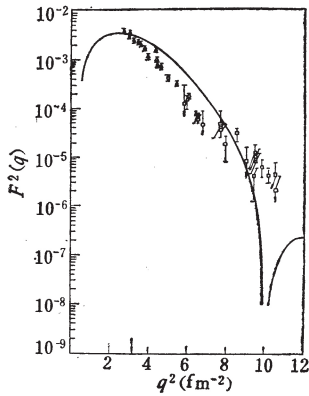


图4 电子对¹²C的6.91 MeV, 3⁻能级的非弹性散射形状因子

能级是在9.638 MeV;其三,两个 α 粒子内的核子,是受泡利原理的影响的,因之,两 α 粒子间的相互作用十分复杂,不能简单地用一个像范德瓦尔斯势那样可带有中心排斥的势来代替。

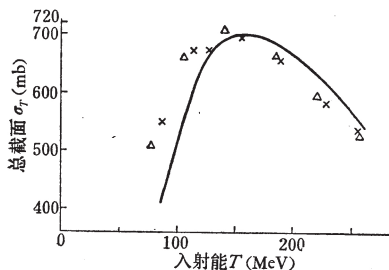


图5 π 介子对¹²C的总截面

(三) 原子核的集团模型

1958年惠尔德莫斯等提出了集团模型的微观理论。在他们的理论中,每个集团的核子数目可以不受

截面与微分截面。这些结果分别在图5与图6中给出。图5给出 π 介子对¹²C的总截面,图6给出 π 介子对¹²C的微分散射截面。图6中曲线1为葛劳勃理论的一次散射结果,曲线2为二次散射结果,曲线3为三次散射结果。

但这样简单的模型也还是有一定缺点的,就略举几点如下:

其一,在这种模型中, α 粒子的零点振幅是可与两个 α 粒子的距离相比拟的,这样两个 α 粒子就会重叠,而 α 粒子的界限就会模糊了;其二,¹²C的3⁻态根据这个模型的推测应为5.4MeV左右,而实验测得的¹²C的3⁻能级是在9.638 MeV;其三,两个 α 粒子内的核子,是受泡利原理的影响的,因之,两 α 粒子间的相互作用十分复杂,不能简单地用一个像范德瓦尔斯势那样可带有中心排斥的势来代替。

限制。(目前由于理论技术上的困难,每个集团的核子数目不能太大。)在处理问题时,使用两个核子间的真实力或有效核力,同时考虑了全部核子的反对称化效应。

1960年以来,大量的工作开展起来了。从各个方面考察了原子核的集团现象,不论在理论上或实验上均有较大的进展。国际上,在1969、1975、1978年已开过三次原子核集团现象的会议。

原子核集团模型,在理论方法上经过多年的发展,主要有三种:1)共振群方法,2)生成坐标法,3)正交条件模型。这些方法均涉及大量的数字推导,为了避免这点,这里不一一介绍,可参阅[5]。

由于原子核集团模型理论方法的进展,只要使用不同的边界条件,就既可以解决束缚态问题,又可以解决散射问题或反应问题。例如:

利用正交条件模型方法,铃木计算了¹⁶O的偶宇称与奇宇称的低激发能级,结果与实验符合较好(见图7与图8)。

汤浦逊与唐尧千用共振群方法,计算了质子能量为37.4 MeV质子对¹⁶O的弹性散射,结果与实验是符合的(见图9)。在反应方面,以质子能量68 MeV下的 $p + \alpha \rightarrow d + ^3\text{He}$ 的反应为例,计算所得的微分截面与实验也相符(见图10)。

这样的理论可以统一处理不同的问题,所以也称为原子核的统一理论。

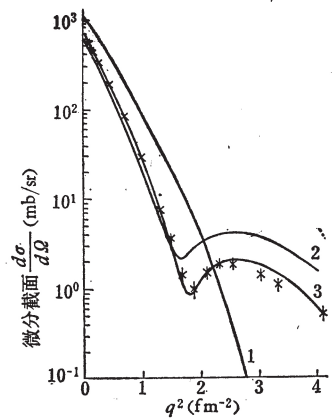


图6 π 介子对¹²C的微分截面

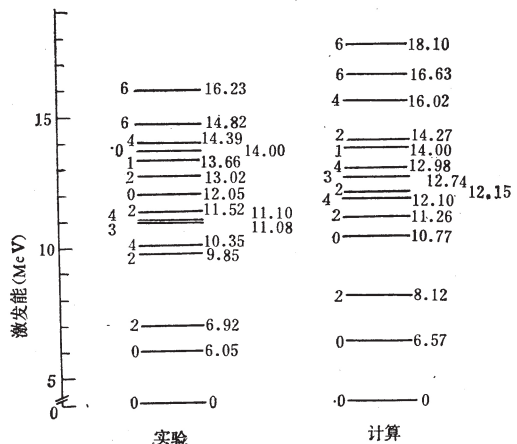


图7 ¹⁶O偶宇称激发态实验与计算结果

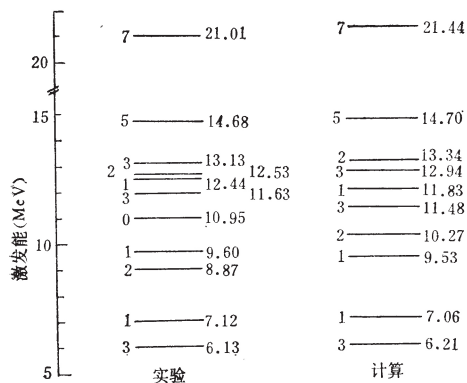


图8 ^{16}O 奇宇称激发态实验与计算结果

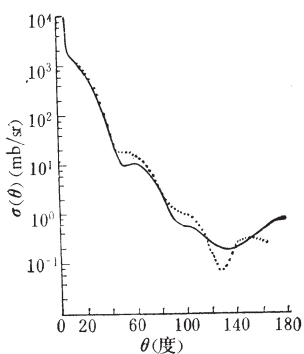


图9 $p + ^{16}\text{O}$ 散射, 质心能量=37.4 MeV

虽然原子核集团模型可以用来说明原子核的很多现象, 但是到目前为止, 一个基本问题尚未得到解决: 即在原子核内集团是否真正存在, 还是它们不存在. 第二次原子核集团现象会议, 威莱茨的总结中说^[4]存在着两种说法, 其中之一是以有马为代表的说法: 原子核的有些状态虽能用壳模型说明, 但有显著的集团效应; 另一是以巴拉旭夫为代表的说法: 即使有原子核

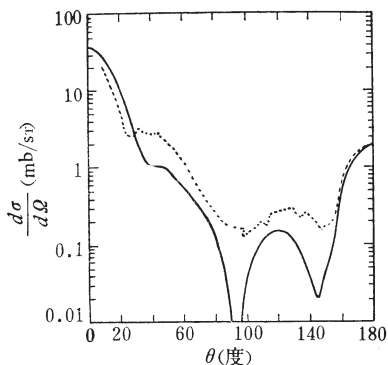


图10 $p + \alpha \rightarrow d + ^3\text{He}$, 质心能量=68 MeV

的集团击出反应, 也没有必要假定集团的存在. 第三次原子核集团现象会议上也没有得到解决^[4].

本文就以这段话作为结束.

参 考 文 献

- [1] 这模型的概况可参阅: W. Heisenberg, Rapporto et discussione du Septieme Conseil de Physique de Wnstitut Intern. Soloay, 284, Gauthier-Villars, Paris (1934)
- [2] J. A. Wheeler, Phys. **52** (1937), 1083, 1107
- [3] J. A. Wheeler, Phys. Rev. **52** (1937), 1083, E. Teller and J. A. Wheeler, Phys. Rev. **53** (1938), 778
- [4] 三次集团会议分别为: 1) Conf on Clustering Phenomena in nuclei (1969) Bochunc.
2) Proc. and Int. Conf on Clustering Phenomena in nuclei, Maryland, 1975
3) Clustering aspects of nucleare structure and nuclear reactions, 1978
- [5] Y. C. Tang. Phys. Reports 47 No. **3** (78) 167 D. M. Brink, Proc. of. S. Saito, Progr Theor, Phys. **41** (69) 705.