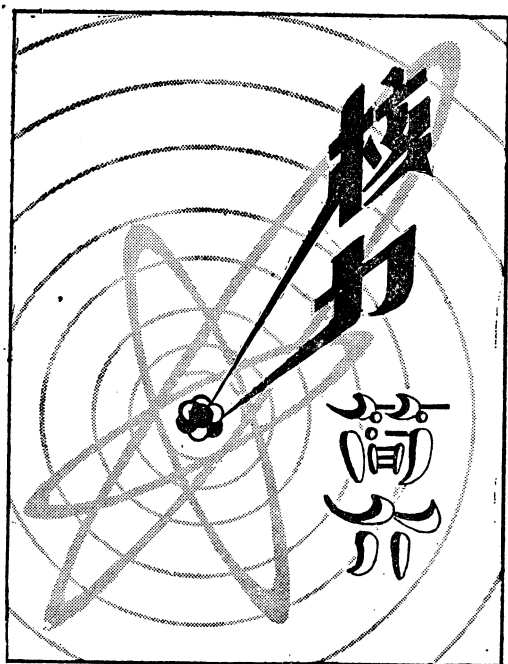




核力

核力是核子（中子及质子的统称）间的相互作用力，在近代物理学中称之为强相互作用。由于核力所涉及的是核子间最主要的一种相互作用，因此它一直是核物理学的一个重要的研究课题。但是目前对核力的了解还远不如电磁相互作用那样清楚，因而至今吸引着许多人进行核力问题的研究。

核力是一种什么样的力，它有哪些性质，目前研究的状况如何？在这里做个简介。

1911年卢瑟福做了一个很重要的实验，他研究 α 粒子被原子散射的情况，观察到这样一个事实，有许多 α 粒子被大角度地散射出来。这个实验事实使人们对

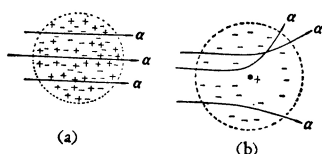


图 1

- (a) 对于电中性云状模型， α 粒子不会有明显的散射角度出现
- (b) 对于有核心的原子模型， α 粒子可以有大幅度散射出现

设(见图 1a, b)。

直到 30 年代中子发现后，才搞清这个小核心是由若干中子和质子组成。实验表明，这个核心的尺度大约为 10^{-13} 厘米的量级，比起原子的尺寸 10^{-8} 厘米来

说要小五个量级。做个比喻，当原子被看成是一个方圆为 100 米的大礼堂时，那么这个小核心才相当于放置在礼堂中心的一个核桃。这个小核心称之为原子核。

很容易从量子力学中的测不准原理估计出，当核子处在这样一个小核心中时它的动能会是很大的，平均来说每个核子可有 20 百万电子伏 (MeV) 的动能，这相当于核子速度可达光速的五分之一，也就是说这样的核子做自由运动时每秒可绕地球一圈还要多。然而，正象我们看到的，自然界中原子核内的核子是被牢牢地束缚在一起的，由此可见，这些核子间一定存在着非常强的吸引力，才可以将这些飞快运动的核子牢牢拉住，这种力的大小比起库仑力来要大一百多倍，比起重力甚至大到 10^{40} 倍，所以，人们称核力为强相互作用。

大量低能核物理实验表明，从原子核内取出一个核子时要付出大约 8 百万电子伏的能量。不论对于重的原子核(如由 200 多个核子组成的核)以及对轻的原子核(由几个核子组成的核)取出一个核子所需付出的能量相差不多，这就使人们想到，如果在核内核子间全都相互吸引的话，那么取出一个核子所需付出的能量应正比于核内的核子数，因而从轻重核中分别取出一个核子的能量可以相差几十到上百倍。因而可以得到核力这样一个重要性质，核力的作用区域是很短的，仅能使一个核子与邻近的核子相互吸引，而不能象重力、电磁力那样可以作用到远近各地。这也就是整个原子核的结合能不是正比于核内核子对数而是正比于核子数目的原因。因而我们说强相互作用是短程的。在核物理中，针对核子仅与相邻有限个核子之间发生相互作用的行为，称为核力具有饱和性。

在非相对论能量情况下 ($v/c \ll 1$)，核力作用允许用位能形式表示。然而这种短程核力的位能表示形式应是什么样子的呢？人们自然希望得到象重力、库仑力那样，用两核子间相对距离以及核子的力学量的函数描述出来。有许多人设想了各种样式的函数形式来描述核力，使之得到正确的计算结果，我们称这种研究方式为核力的唯象研究。多年的研究表明，核力位的函数形式要比重力，库仑力复杂的多。

随着加速器的发展，实验上给出了二核子间散射的精确数据。理论工作者利用薛定谔方程所做的核力位的唯象研究，可以得到核力位的具体表示，它不仅与两核子相对距离有关，而且与二核子自旋耦合状态有关，还与二核子系统空间波函数的宇称性质有关，这种类型的核力形式写出来是很复杂的。由于它能较精确地符合二体散射数据，因此称它为唯象真实核力。

唯象核力可给出核力的定量描述，因而在核微观理论定量计算中离不开唯象核力。但是由于唯象真实核力形式太复杂，不便于计算。所以在许多多核子系统的模型计算中，往往使用一种形式较简单的唯象核力来表示，在核力位函数的表示中存在一些可调参数，

在具体计算中需要调节参数值以符合实验结果。这种唯象核力称之为唯象有效核力。

唯象核力的研究表明，核力的空间依赖形式由图

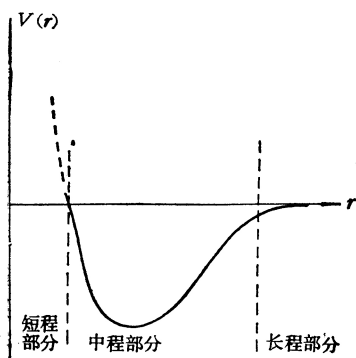


图2 核力的空间依赖关系
(r 为二核子相对距离)

相互作用行为，在许多唯象核力中这一区域核力呈排斥行为，称之为排斥心。

唯象核力的研究仅给出了核力位的表示，但是不能解释为什么是这种表示形式。因此，为研究核力的起因，也就是说为研究核力的微观机制是什么？这就产生了核力这个课题中的另一方面研究，即核力的微观理论的研究。

目前人们公认核力来源于核子间的介子交换，它可类比于电磁相互作用是交换光子的机制，由此产生的核力微观理论称之为核力的介子理论，它是将核子间相互作用看成为核子与介子场的作用。这方面理论较为成熟的是单个介子交换机制的研究(图3a)，所计

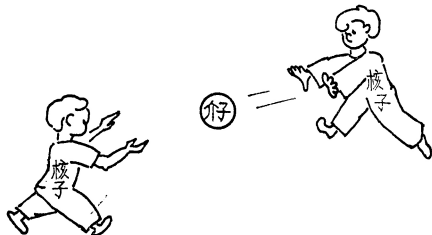


图3(a) 单个介子交换过程表示两个基态核子间交换一个介子

算的单介子交换位表明它能较好地描述出核力长程部分的性质，因而目前认为核子相距在 2 fm 范围时，主要的相互作用机制为单个介子交换。但是对于中短程部分单介子交换理论不能给以解释，例如若要解释强的中程吸引力必须在上述理论中引入一种叫做标量介子的东西，但是实验上却不能发现它的存在。因而人们认为当核子更靠近时会有更复杂的过程发生。对于中程核力部分目前应用双介子交换理论取得了一定的成功，它主要是用两个 π 介子交换替代了单介子交换中的标量介子。并且还认为在两个介子交换的中间过程

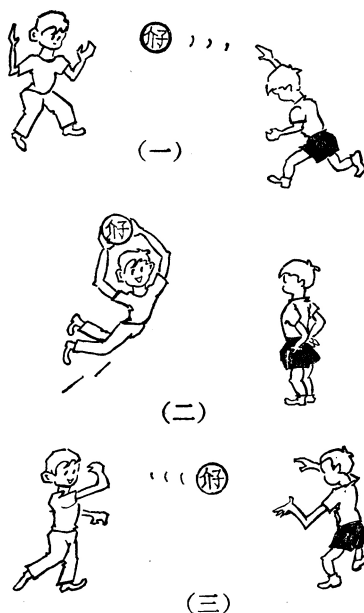


图3(b) 双介子交换过程相当二核子间发生二次介子传播：(一) 乙先传给甲；(二) 甲“拿”到介子跳到空中(表示激发态)；(三) 然后再传回给乙并落地

程，有的人提出它可能存在更多介子的交换。另外，最初由泡里不相容原理出发，认为二个核子不可能占据完全相同的微观态，因而二个核子不可能完全重合，以至应用一个排斥心来简单表示核力的短程部分，这在许多唯象核力中被采用了。但是在符合二体散射实验数据中发现唯象核力形式在包含不同类型的排斥心时都能很好地符合实验，例如有的采用硬心，有的却用软心，还有的用超软心。由此说明，低能区二体散射对核力短程部分并不敏感，从而也给不出确切的资料。看来得依赖高能实验资料。近年来量子色动力学的出现对核子的基本组成成分——层子引入了色量子数的



图4(a) 在核子内三个层子束缚是弱的，活动是很自由的——渐近自由

中核子可以有处于激发态的成分。这种双 π 交换理论在解释氘核结合能方面取得很好的成功，以前在仅考虑基态核子的唯象真实核力的计算中，氘核结合能总与实验相差 7% ，但当引入核子中间态的激发态成分时，理论上可以很好地符合实验。

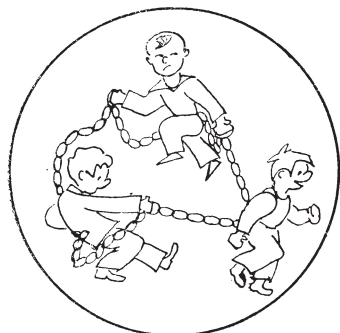
对于核力的短程部分，则被认为存在更复杂的过程，

有的人提出它可能存在更多介子的交换。另外，最初由泡里不相容原理出发，认为二个核子不可能占据完全相同的微观态，因而二个核子不可能完全重合，以至应用一个排斥心来简单表示核力的短程部分，这在许多唯象核力中被采用了。但是在符合二体散射实验数据中发现唯象核力形式在包含不同类型的排斥心时都能很好地符合实验，例如有的采用硬心，有的却用软心，还有的用超软心。由此说明，低能区二体散射对核力短程部分并不敏感，从而也给不出确切的资料。看来得依赖高能实验资料。近年来量子色动力学的出现对核子的基本组成成分——层子引入了色量子数的

概念，这就使核子的微观量子数被扩展了，它提供了核子间相互作用的一种微观描述的途径。目前不少人在做这方面研究，但是，核力短程部分到底是什么形式？目前还是不清楚的。

基本粒子中层子模型的成功，使一些人试图应用

层子的相互作用属性来导出核力的相互作用形式，但目前实验给出层子很奇特的性质，那就是当层子束缚在核子内时，层子间彼此约束甚小，叫做层子的渐近自由(见图 4(a))；但是反过来一旦某个层子要离开这个核子集团时，其他层子将给它很大的引力将其拉回，叫做层子的禁闭性(见图 4(b))。这些特性给出了层子不



(b)

图 4(b) 如有一个层子要飞出核子，它就会被其它层子拉住——禁闭性

能被单独打出核子的理由，因而可以推想，核子之间的相互作用很难用层子的运动属性直接描述出来，但是也可以想像出，当核子间靠近并重合时，核力的行为应该与层子结构的性质有

关，可以期望借助于层子模型的帮助来给出核力短程部分的微观描述。

核力的研究——这个被核物理界所关注的重要课题经历了半个多世纪的探索，至今已掌握了它的不少属性，但总的来说，了解的还很不透彻，目前无论在核力的唯象理论以及核力的微观理论方面都还在继续研究。无论在低能核物理中，中、高能核物理中以及基本粒子物理中，核力问题都是一个重要研究课题。我们相信随着当代科学的迅速发展，核力的研究必将取得新的进展。