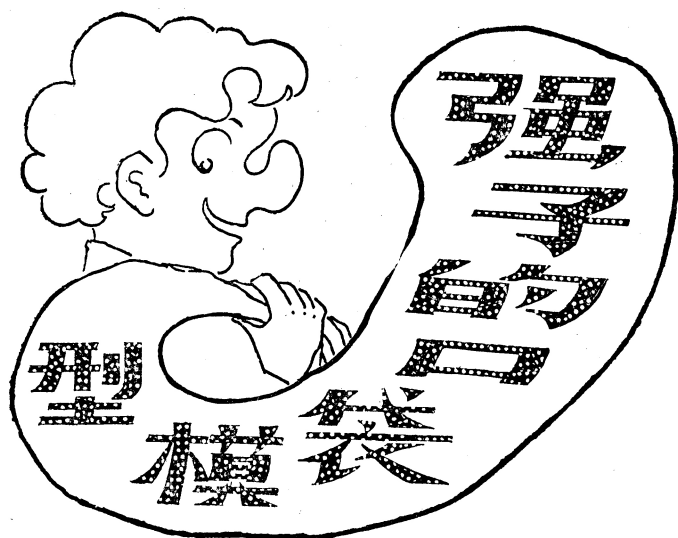




刘连寿 蔡 昂

“自然界中的物质是由什么构成的？”这是一个十分古老而又非常现实的科学问题。千百年来，物理学家和化学家们进行了大量实验方面和理论方面的工作，试图将物质不断地加以击碎，不断地加以分割，从而探寻物质结构的本源。

通过长期而艰巨的科学研究，人们发现：一切宏观物体都由各种不同的分子组成，分子又由原子组成；原子里面是电子和原子核，原子核又都由质子和中子组成；质子和中子（更一般地说是包括质子、中子、超子、介子等在内的一切“强子”）又都由夸克（或称为层子）和胶子组成。（见图1）

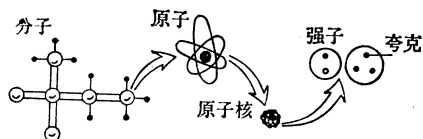


图1 物质的层次结构

原子、原子核、质子和中子都曾经在一段时期内被人们误认为是构成物质的“不可再分”的最小单元。然而随着探索物质结构的科学实验和理论的发展，一次又一次地推翻了这一类形而上学的观点。客观事实证明，物质无限可分，人们对物质结构的认识只能是一个层次又一个层次地深入，永远没有止境。

物质结构一层套一层地深入，每个层次都有其新特点、新性质和新规律，绝不是前一个层次缩小尺寸的简单重复。

当深入到“夸克-胶子”层次的时候，结构上的新特点表现得格外突出。当我们说“原子由原子核和电子构成”时，我们可以用实验手段把原子打破，得到原子核和电子，也可以用原子核和电子来组成原子。当我

们说“原子核由质子和中子构成”时，我们同样可以用实验手段把原子核打破，得到质子和中子，也可以用质子和中子来组成原子核。但是，当我们说“强子由夸克和胶子构成”时，我们却没有办法把强子打破而得到夸克和胶子，更谈不上用夸克和胶子来组成强子。这是不是由于我们所拥有的实验手段还不够强，加速器的能量还不够高呢？的确存在这种可能性。然而随着实验手段的不断改进和加速器能量的不断提高，已经可以把单个的强子“打碎”成几个甚至几十个“碎片”，但这些“碎片”仍然是各种强子，并不是夸克和胶子（见图2）。实验事实使得人们逐渐相信，夸克和胶子不可能以单个的自由状态存在，而只能以

束缚成强子的形态存在。这种现象被称为夸克和胶子的“囚禁”（confinement）。

“囚禁”是当物质结构深入到夸克-胶子层次时出现的一种崭新现象。它的特点表现为，尽管有充分的

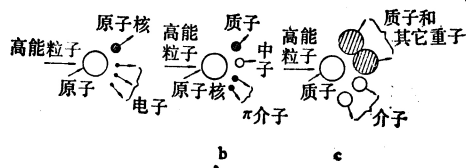


图2 a.打碎原子；b.打碎原子核；c.打碎质子

实验根据证明强子由夸克和胶子组成，并且能够采用实验手段去研究强子内部的夸克和胶子的性质（自旋、电荷、同位旋和弱作用性质等），然而却不能将强子分解为单个的夸克和胶子。这种现象给“物质无限可分”的思想赋与了极为生动的新内容。

我们已经知道了许多具有内部结构的体系，如原子和原子组成分子，原子核和电子组成原子，质子和中子组成原子核。这些体系并不存在囚禁的性质，它们可以被分解成各个组成单元。形成这样的体系，只要各个组成单元之间有足够大的吸引力。譬如，原子和原子之间的化学键力使它们结合成分子，原子核和电子之间的电磁力使它们结合成原子，质子和中子之间的核力使它们结合成原子核。但是，夸克和夸克结合成强子不能单靠普通的吸力，因为普通的吸力产生不了囚禁的效应——当能量高到一定程度的时候，单靠普通吸力维持在一起的体系就会被打破，分解成各个组成单元。为了反映囚禁现象，必须提出新的物理模型。

能够较好地反映囚禁现象的一种强子结构模型是

美国麻省理工学院(MIT)的一批科学家于一九七四年提出的“口袋模型”(又称为“MIT 袋模型”)。

口袋模型的基本思想并不复杂.它认为:像质子、中子一类的重子,是由三个夸克组成的,而介子是由一个夸克和一个反夸克组成的;夸克和反夸克在强子的内部差不多可以自由地运动,但是却不能越雷池一步跑到强子的外面去,因而可以设想有一个口袋将夸克和反夸克装在它里面。在口袋里面,夸克之间或夸克和反夸克之间只有微弱的相互作用,它们的运动基本上是自由的,然而一碰到口袋的袋壁就只能折回来,不能穿出去。

打一个比方来说,好比在杯子内装有水,用玻璃管往水里吹进气泡。气泡内部的气体分子由于热运动对气泡壁产生向外的压力,但不能穿出气泡壁,而气泡外面的水对气泡壁又产生向内的压力。当气泡壁内外的压力达到平衡时,气泡就处于稳定状态(见图 3a.)。强子的口袋模型和这种处于稳定状态的气泡有类似之处。我们把强子外面的真空设想为杯子中的水,强子口袋相当于水中的气泡,强子内部的夸克和胶子则相当于气泡内部的气体分子。强子口袋内部的夸克和胶子由于运动对口袋壁产生向外的压力,但不能穿出口袋壁,而口袋外面的真空对口袋壁又产生向内的压力。当口袋壁内外的压力达到平衡时,口袋处于稳定状态,并且确定了口袋的大小,这就是通常情形下的强子(见图 3b.)。

就是这样的一种简单模型,取得了引人注目的成功。利用它来计算一些质量较轻的强子的性质,如质量、磁矩、电荷半径等等,得到的结果和实验符合得相当好。

袋模型的进一步问题是:质量较重的强子是否也具有跟质量较轻的强子类似的口袋?在强子发生衰变和反应过程的时候,口袋效应如何体现?在高能过程中,是否也有口袋效应的体现?

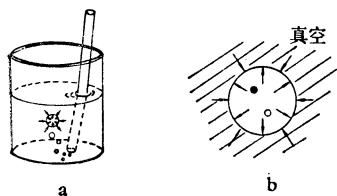


图3 a.水中的气泡;b.真空里的强子口袋

此时口袋不再是球形。如果是转动激发,就会由于离心力而将夸克和反夸克(对介子而言)或将一个夸克和一个夸克对(对重子而言)甩开,从而将口袋拉成在空间转动的长条形(见图 4)。用这样一种图象,能够很好地解释实验上发现的强子质量的平方与角动量成线性关系的规律(所谓“雷吉轨迹”)。

但是,也有一些质量较重的强子不像是质量较轻

的强子的激发态.它们有可能是包含更多夸克的口袋,或者是既有夸克又有胶子的口袋,甚至于有可能是没有夸克只有胶子的口袋——胶子球。

袋模型不仅能够解释强子的静态性质,也能处理强子的衰变。在衰变中所产生的强子是运动的,它不是一个静止的口袋,但是可以看成是中心在不同位置的许多口袋的叠加。

在能量更高的过程中,同样也有口袋效应的体现。

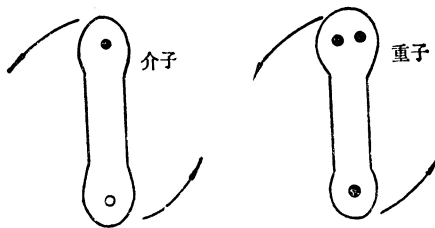


图4 转动激发的口袋

例如,高能电子、正电子湮没产生大量强子,这些强子形成两个(或两个以上)喷注(见图 5a.)。形成喷注的原因是,电子正电子对湮没时,首先产生了一对能量很高的夸克-反夸克(还可能辐射高能胶子)。由于有囚禁,这些夸克-反夸克(还有胶子)不能以自由状态产生,而只能在一个口袋内产生(见图 5b.)。这个口袋是在产生夸克-反夸克对的同时出现的,它是夸克-反夸克对和周围真空相互作用的集体效应。这一对夸克和反夸克在相互飞开的过程中不断地辐射胶子再形成更多的夸克和反夸克。这许多的夸克和反夸克结合成一个个的“对”。这些夸克-反夸克对将“大口袋”冲开,拉长,断裂,形成许多小口袋(见图 5c.)。这些小口袋就是末态强子。这就是电子正电子对湮没产生喷注的一种粗糙图象。

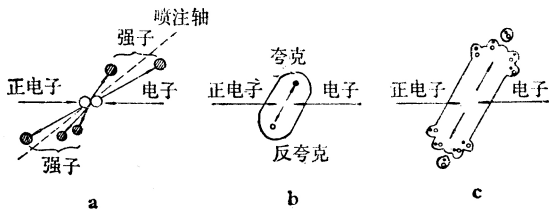


图5 a.电子正电子对撞产生喷注;
b.产生囚禁在口袋中的一对夸克;
c.夸克对将大口袋冲裂为小口袋,

袋模型是能够较好地反映囚禁效应的一种强子结构模型。它还存在许多困难,如:形成口袋的物理机制还不清楚;内部不包含夸克和胶子的“空心袋”是否存在,有何物理效应,也还不知道;按照袋模型的计算可能存在的“口袋”和实际观察到的强子相比,多出了一些,原因也尚不明了。这些都需要进一步加以研究。