

从 EMC 效应的发现想到的

赵维勤

(一)

基本粒子的研究告诉我们：核子，包括质子和中子，是由夸克组成的。构成核子的夸克通过交换胶子相互作用，被牢牢地禁闭在核子内部。为了了解夸克在核内的行为，基本粒子物理学家用高能轻子（电子、 μ 子及中微子）对核子进行深度非弹性散射。这时，轻子与核子间的动量传递达到几十到一百多亿电子伏特（几 GeV 到十几 GeV）。高能的轻子就象极细的探针深入核子内部，与核子内的夸克直接发生作用。通过测量散射轻子的能量、动量及散射角，就能探知核子内夸克的动量分布，即核子的结构函数。

原子核是由若干质子与中子组成的，每个核子在核内的平均束缚能约为八百万电子伏特（8 MeV），只占核子质量的约十二分之一。过去人们一直认为，由于原子核是一个质子、中子构成的弱束缚体系，对于动量传递高达几 GeV 的高能过程，这种极弱的束缚大概不起什么作用。在自由核子靶上，或在原子核靶上测量核子中的夸克动量分布，结果不会有什么差别。加上轻子、中微子与核子的作用是电磁作用或弱作用，因此

作用截面很小。对于这些入射粒子来说，原子核就象由极微小的核子构成的稀薄气体。入射粒子与核内某个核子的作用不会受其它核子的什么影响。由于用原子核作靶数据收集比自由核子靶要快，加之液氢、液氘靶制作上的麻烦，过去人们有时就用轻子直接与铁、铝等固体靶作用，来测量核子的结构函数。长期以来，没有人怀疑这样作的正确性。

束缚在原子核内的核子中的夸克动量分布真的与自由核子中一样吗？1982 年欧洲 μ 子实验合作组（EMC 组）的实验结果打破了这种想当然的看法。图 1 给出了实验的结果。 $R^{Fe/D}(x)$ 是铁核与氘核中有效的单个核子内夸克动量分布的比值。它是夸克动量与核子平均动量之比 x 的函数。如果认为核内的核子仍保持自由核子的性质，除了 x 很小或 x 趋于 1 时可能存在一些核内的修正外，这一比值 $R^{Fe/D}(x)$ 应当是 1。图中的“ x ”是 EMC 组的实验结果。它显然偏离 $R(x)=1$ ，并且小 x 区上升，大 x 区下降。他们的数据表明，与自由核子相比，原子核内的核子包含较多的低动量夸克。尽管核子在核内的束缚很弱，周围核物质的存在仍明显地影响了束缚核子内夸克的动量分布。人们

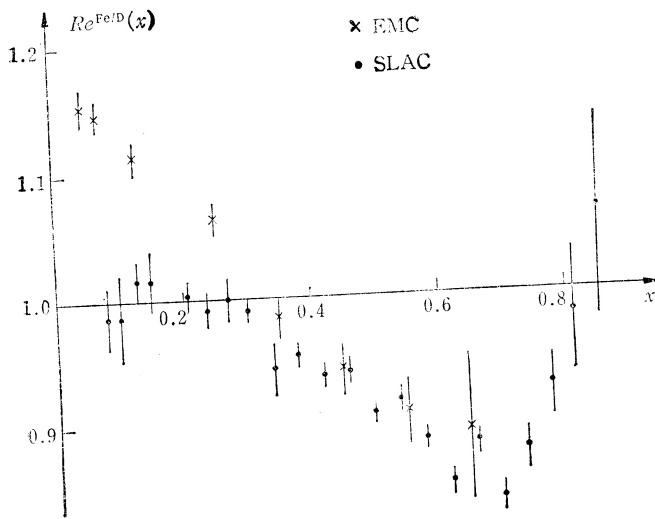


图 1

不得不改变原来貌似正确,却没有实验根据的看法.这一结果由此得名为“EMC 效应”.

颇有意味的是,如果人们不被这种想当然的看法所束缚,EMC 效应本应在十几年前就被发现,人们对核内夸克行为的认识也就会提早十几年.原来,斯坦福直线加速器实验室(SLAC)有一个用高能电子测量核子结构函数的小组.早在七十年代就完成了在液氢与液氘靶上对质子、中子结构函数的测量.他们所用的盛液氢、液氘的容器是钢或铝的.当时,为消除本底,他们曾进行过空靶测量,实际上已经掌握了钢、铝靶上测得的结构函数数据,却不曾想到与自由核子的结果进行比较.幸好,旧的数据带至今仍保存完好,看到 EMC 组的结果后,他们立即对原有数据进行了重新分析.按他们自己的话说,进行了一次“考古学”的研究,并得到了与 EMC 组完全一致的结果.(如图 1 中“·”所示)这两个组的工作相隔十几年,对不同的探测粒子、不同的能区进行了测量.两个结果的一致令人信服地表明:EMC 效应确实存在.SLAC 小组先十几年得到数据,却不能成为 EMC 效应的发现人,不能不说是受了传统看法的束缚.人们确有必要重新检验那些虽已被广泛接受,但未经实验验证的“结论”.EMC 效应的发现如同宇称不守恒的发现一样,是这方面很好的例子.尽管后者从理论上先提出重新检验的必要,而前者则是实验直接完成这一重新检验的.

(二)

EMC 效应告诉我们,束缚在核内的核子中,夸克的动量变低了;或者说,束缚核子中包含的低动量夸克比自由核子中多.引起夸克动量分布的这一变化的物理原因是什么呢?自 83 年以来,发表了上百篇文章,提出了各种各样的假设.

目前很流行的一种关于 EMC 效应的解释是:在原子核中,夸克能在一个比单个核子大的禁闭范围内活动,因此动量变低了.但是,引起核内夸克禁闭范围增大的物理原因则众说纷云概括起来有两大类:一种认为,核内的核子之间互相很靠近,有一定几率发生两个核子的融合^[4].这样,夸克能穿过核子界面,在两个核子间活动,它的禁闭体积就比一个自由核子大了.另一种看法是,核内核子的周围存在着其它的核子.周围核物质的存在会改变核子的性质,使它的半径变大,从而扩大了夸克的禁闭体积.

还有一种物理假设认为,核内低动量夸克的增加是由于核内存在额外的 π 介子.这些 π 介子本身提供低动量的夸克.而且,由于它们携带了一部分动量,又使核子内原有的高动量夸克变慢.

科学家们发现,上述各种出发点极不相同的物理假设都能解释 EMC 效应.如何来决定取舍呢?这个任务还得靠实验来完成.一个物理图象决不会仅仅表现在 EMC 效应这一个实验结果上.科学家们正试图寻找各种物理假设的其它实验证据.有些能用已有的实验结果来验证;有些则为实验物理学家提出新的实验课题,等待未来的实验结果去验证.

先看一看支持核内存在重于核子的集团的其它实验结果.在实验室中观测一个高速粒子与一个相同质量的静止靶相碰,二者将一起朝前运动.只有靶的质量较大时,才有可能在实验室系出现入射粒子朝后散射的情况.如果我们相信核内核子发生部分的融合,则核内应当有一定几率存在重于核子的集团.在高能强子与核相互作用过程中,入射强子就有可能碰在这些较大的集团上而产生大角度散射,甚至产生在实验室系朝后发射的粒子.而实验的结果的确显示出反常的大角度产物,特别是观测到 180° 角出射的粒子.另外,高能质子与静止核子靶相碰时,存在一个产生 π 介子的能量下限,称为 π 的产生阈.而在质子与核相碰时,人们发现,即使入射质子的能量低于这个阈,也有 π 产生.阈下 π 产生的一个可能解释就是:入射质子直接与核内存在的重于核子的集团相碰而产生 π .这时,产生 π 的阈比在单个核子上来得低.当然,这些高能强子与原子核作用时的新奇现象与 EMC 效应是否从定量上能完全归结于核内存在着融合的核子集团,还有待进一步细致的研究.

另一些人提出 EMC 效应是由于核内核子的半径变大,核子变胖了而引起的.他们则企图从另一角度来验证自己的假设.如果核内的核子确实变胖了,它不仅会反映在深度非弹这样的高能过程中,而且应当影响核的静态性质.比如:在电子弹性散射中测得的

核形状因子,在较低动量转移(几百 MeV)的准弹性过程中测得的核结构函数,都会因核子性质的变化而改变.理论上已经有人在这方面进行探讨,并且取得了初步的成果.但是,核子的其它静态性质,如:磁矩、矢量耦合常数等会发生什么相应的变化?在实验上会有什么反映?这些都还需要深入研究.至于为解释 EMC 效应而将额外的 π 引入核内,也同样应当在与 π 有关的许多其它实验现象中有所反映.

EMC 效应的发现打破了传统的看法,使人们开始认识到:核内夸克的行为与在自由核子中不一样,我们必须对核的组份与结构从夸克的层次重新进行研究.这开辟了一个全新的研究领域.另一方面,从核

内夸克禁闭性质的变化来讨论禁闭产生的根源,也为基本粒子物理研究提供了新的途径.

但是,这一重新认识的过程是对过去已有知识,包括核物理与基本粒子两方面知识的全面分析与综合.它需要对现有各类实验的结果从定量上得到统一的解释,还需要不断补充新的实验结果.这决不是头痛医头,脚痛医脚所能解决问题的.随着高能加速器,特别是高能重离子加速器的不断改进,用各种高能粒子与原子核的相互作用来研究核内的夸克自由度的工作必将蓬勃开展,同时推进核物理与基本粒子物理两方面的研究.