

粒子理论纵横谈



何祚麻

在各种错综复杂而又五光十色的物理学中，最能持久地吸引人们兴趣的领域恐怕要数粒子物理学了。那长达几公里的加速器，却用来深入物质内部达 10^{-15} 厘米之细微，这本身就是一种引人入胜的辩证法。至于粒子理论方面纵横变幻，更是气象万千、灿烂夺目。

从近十几年的发展来看，粒子理论中一个最引人注目的变化就是认为一切参与强相互作用的粒子都由更为基本的层子或夸克所组成。夸克模型或层子模型不仅能很好地解释强子的分类，它的质量谱系，而且还能很好地解释强子所具有的相互作用，如弱相互作用，电磁相互作用等。近年来，由温伯格、萨拉姆发展了一种弱电统一理论，把强弱相差达 10^{10} 数量级的弱相互作用和电磁相互作用统一在规范场理论中，这当然是很大的一种理论成就。但是，细心一点的工作者将会看到，这同样是层子理论或夸克理论所获得的一项成就。相互作用的理论总是离不开关于物质结构的知识的。只有量子力学而没有电子绕原子核的知识，是谈不上原子物理学的真正进展的。同样，就拿温伯格、萨拉姆的统一理论来说，如果仅有轻子流而没有相应的层子流或夸克流，那末所谓 Adler 三角图的发散问题就很难于处理，而且如果没有所谓由粲夸克组成的中性流（即所谓 GIM 机制），那末弱电统一理论中一些理论问题也不能很好地解决。

自从层子模型提出以后，一个重要问题就是如何解释强子的产生和湮灭的现象。粒子物理的一个重要特征就是粒子数会发生变化。拿 π 介子来说，一个高能 π 介子打到质子上，会分裂成几个以至几十个的 π 介子，并且所有的 π 介子都和撞击前的 π 介子具有同样的大小！这便是实验上最常看到的所谓“多重产生”的现象。可是，按照层子或夸克的观念， π 介子看成是由夸克和反夸克所做成的。那末，这些新产生的夸克或反夸克从何而来？多年以来，在粒子理论中处理粒子数的变化的理论是量子场论。可是，通常的量子场论只在“点模型”的图像中才能自治地建立起完整的体系，推广到描写有限大小的粒子就会遇到很大的困难。正是由于这一点，所以著名的海森堡教授直到他去世以前还在那里大声疾呼地反对夸克的观念，说些什么“基本粒子和复合粒子间的区别在原则上已经

消失”，“所有这些问题的提法本身就是错误的”，攻击粒子可分的观点是一种“拙劣的哲学”。所以，为了把层子的观念贯彻到底，就必须建立一种既能反映强子是层子构成，又能描写强子的产生和湮灭现象的量子场论。这就是近几年来国内一些工作者所共同发展的复合粒子量子场论的基本思想。

和通常量子场论理论一样，复合粒子量子场论仍然认为粒子是场的量子激发，所不同的是进一步认为复合粒子是复合场（即由若干个基本场组成的复合场）的量子激发。把强子理解为复合场的量子激发，这当然要遇到一些困难。譬如说，这样的理论和通常的量子场论是否能保持自治？又如，这样的理论会不会破坏微观因果律？如此等等。但是，从国内一些同志们共同工作中，共同克服了上述一系列困难，从而在海森堡表象里初步建立了一个自治的理论体系。这一理论体系既能将 1965~1966 年的层子模型理论概括成为它的特殊情形，又能统一地导出各个强子所满足的 L-S-Z 场论的约化公式。这就既能处理强子的产生和消灭，又包含了色散关系、场流恒等式、流代数、光锥代数等方面的理论成果。值得探讨的一个问题是：为什么以“点模型”为基础的 L-S-Z 场论竟然能从复合粒子场论推导出来？其实，这是不足为奇的。牛顿力学的运动方程就既能描写粒子的运动，又能描写复合粒子的质心运动。这里只不过是说 L-S-Z 场论也能描写复合粒子的质心运动而已。牛顿力学是量子力学的特殊情况，量子力学又是量子场论的特殊情况。如果牛顿力学的方程式可以用来描述复合体系的质心运动，而量子场论却做不到这一点，这首先在理论上就不能自治。

这样，复合粒子量子场论就为统一地解释强子的产生、湮灭等现象提供了一种新的理论，并且以新的科学理论回答了海森堡所提出的挑战。

层子或夸克的观念在理论上虽然取得很大的成功。但是实验却始终没有找到自由层子或自由夸克真实存在的证据。自从夸克的观念提出以来，立即有大量的实验工作从事夸克的探索。的确是“排云驭气奔如电，升天入地求之遍”，而实验的结果却仍是“上穷碧落下黄泉，两处茫茫皆不见”。这就尖锐地提出了层子禁闭或夸克禁闭的问题。

所谓夸克禁闭是说夸克是存在的，但是只能存在于束缚的状态，而不能存在于自由的状态，或只能极短暂地存在于自由状态(即所谓部分禁闭)。至于为什么夸克只能存在于束缚状态，一种最直接、最简单的解释就是认为夸克质量很大，他们结合成强子时曾经释放出大量的结合能，所以目前加速器的能量还不能把它释放出来。当然也不排斥这样一种观念，即根本不存在自由夸克这种物质形态。

值得探讨的一个问题是：夸克禁闭的观点是不是违反物质可分的观念？其实，哲学上所说的“分”，指的是一分为二的意思，也就是说物质是对立的统一。比如说，介子是由夸克和反夸克组成的，夸克和反夸克既相互对立，又相互依存，但是介子并不能分割成为两个自由的夸克和反夸克。试问这样的观念是不是就违反了对立的统一这样一个宇宙间的根本规律呢？当然不是。分割只是“分”的一种形式，在物质发展的无限系列中，当然还可能有其它多种多样的形式。

在流行的探讨夸克禁闭的理论中，有一种叫做弦模型的理论。认为介子中的夸克和反夸克由一根“弦”所拉紧，当夸克和反夸克受到外界的拉力时，“弦”就会折断而在真空中产生一对正反夸克，从而形成两个介子。这正如一根磁铁折断后，在断裂处形成新的南北极一样。所以，在这种理论中，正反夸克就始终只能同时存在，而不能单独分离。恩格斯在《运动的基本形式》一文中曾经写下这样一段话：“辩证法根据我们过去的自然科学实验的结果，证明了：所有的两极对立，总是决定于相互对立的两极的相互作用；这两极的分离和对立，只存在于它们的相互依存和相互联系之中，反过来说，它们的相互联系，只存在于它们的相互分离之中，它们的相互依存，只存在于它们的相互对立之中。这样一来，……无论是两极互相贯穿¹⁾或是绝对分离的问题，也都不存在了。在第一种场合下无异于要一条磁石的北极和南极互相抵消，在第二种场合下无异于把一条磁石从中间切断，要在一段上面只有北极而没有南极，在另一段上面只有南极而没有北极。但是，虽然从两极对立的辩证性质已经可以断定这样的假设是不能容许的，可是由于自然科学家被形而上学的思想方法所支配，至少是第二种假设还在物理学的理论中起着一定的作用。”(恩格斯：《自然辩证法》，第56页，人民出版社)显然由恩格斯看来，那种南北极绝对分离的观点只不过是某种形而上学！当然，我们并不认为由此就要否定磁单极子的研究，因为磁单极子的存在也并不因此就割断了南北极间的联系了。但至少总不能因为某些人主张夸克可以囚禁起来，就认为这是违反辩证法吧！相反，从所引恩格斯的论述来看，毋宁说夸克禁闭的观念反而更接近于辩证法的观念。

夸克既然是一种客观实在，但又要永久囚禁起来，这当然是一种极为奇妙的观念。去年10月，在桂林召

开的微观物理学思想史讨论会上，到会同志们对这一观念做了充分的讨论。一些同志指出：“在卢瑟福发现了原子是由一个非常小而坚实的带正电的核和核外带负电的电子构成的以后，人们困惑于电子为什么不掉进原子核里去……为了避免这一困难，人们不得不假设，有那么一些轨道，电子在上面高速转动时并不辐射能量，于是出现了玻尔模型。玻尔模型只是唯象地描述了原子光谱学的法则，直到1925年以后，海森堡、薛定谔、玻恩等人创立的量子力学才真正揭示了原子现象的奥秘，它给出了一个以简明的概念体系和普遍的物理定律为基础的完整的动力学理论。量子力学的出现无疑是物理学的一次重大革命，它突破了传统的观念，它对整个科学技术的深远影响直到现在还在不断地显示出来。物理学发展史本身一再表明，物质的可分性并不是机械的割裂，无限可分的过程必然是量变到质变的过程，伴随着新的物质层次的必然是新的概念体系和新的运动规律。那么，是不是象当初人们对于核外电子为什么不掉进原子核去的困惑导致了物理学的一次重大突破那样，五十年后的今天，我们对于已经获得如此巨大成功的假设中的夸克为什么释放不出来的困惑，也将导致物理学的一次新的重大突破呢？”(陈时：《夸克禁闭》，自然辩证法通讯，1979年，第二期)一个是“掉不进去”，一个是“跑不出来”，在鲜明的历史对比中指示出当前粒子研究的主要课题。

夸克禁闭的观念还将为量子场论的研究带来新的问题。通常的量子场论总是在自由粒子的基础上实现量子化的。如果层子不能表现为自由粒子，那末将怎样描写建筑在层子观念基础上的量子场论？但是，在复合粒子量子场论的研究里却得到这样的结果：不论层子是否具有自由粒子的形态，都能建立起一套自洽的复合粒子量子场论。从这个意义上说，复合粒子量子场论却并不是和夸克囚禁的观念不相容的。

为什么夸克会深深禁闭在强子之中？有各种各样的假说试图回答这一问题。当前最有希望的尝试是量子色动力学。量子色动力学的基本思想是认为层子或夸克都各自带有特定的颜色，并且由8种带有特定颜色的胶子将夸克粘连成为强子。量子色动力学又认为，在物质世界中，带有颜色的单个粒子或复合粒子都不能以自由粒子的形态出现，只有当几种颜色组合成为“白色”的时候，才能表现为自由粒子的状态。至于为什么带有颜色的粒子不能以自由粒子形态出现，其原因在于真空具有抗色电的性质，在通常的电动力学中，某个外来的电荷将引起周围的介质产生符号相反¹⁾的感应电荷，也就是说，正电荷将引起感应的负电荷，负电荷将引起感应的正电荷。但是在量子色动力学中，其效应恰好相反，外来的色电荷将引起“真空”产生

1) 意思是相互抵消和中和。——原编者注。

符号相同的感应色电荷。这也就是说，正色电荷将引起感应的正色电荷，负色电荷将引起感应的负色电荷，……如此等等。这就使得单个有色的夸克或胶子其质量极重，甚而是无限重！只有当不同的色荷彼此相消或近似相消时才能以有限质量的形态出现，这就是夸克或层子深深禁闭起来的原因。至于为什么“真空”具有这种抗色电的性质，那是有待进一步解决的问题。

总之，从现代粒子理论看来，“真空”决不是什么空无所有的空间。真空将有复杂的性质，并可能有复杂的结构，未来的粒子理论将取决于对真空性质的研究。爱因斯坦的狭义相对论或迈克尔逊——莫雷实验所否定的只是静止不动的“以太”，而不能排斥那种满足相对论协变的介质。从这意义上说，中国古代某些朴素唯物主义哲学家提出的“太虚即气”，“阴阳二气充满太虚，此外更无他物，亦无间隙”的主张，的确是：“最初的、素朴的观点，照例要比后来的、形而上学的观点正确些”。（恩格斯：《自然辩证法》，人民出版社，第256页）

粒子理论将走向何处？从当前的发展来说，继弱电统一理论完成以后，进一步要解决的问题无疑将是强相互作用问题了。其中更为基本而又具有特殊兴趣的无疑将是夸克禁闭的问题。从更为长远一点发展来说，就将是强弱电的统一，甚而是强弱电以及引力理论的统一。电磁相互作用的特点是其中传递电磁作用的光子是规范粒子。同样，在弱电统一理论中，传递弱相互作用的是中间玻色子，也是一种规范粒子。现在

还处在假说形态中的量子色动力学，其中传递强相互作用的色胶子也是一种规范粒子。这就导致人们以新的猜想，传递引力作用的也将是某种规范粒子。更进一步就可能将这四种不同相互作用，都在规范场论基础上统一起来。这就是国内许多同志从事规范场论的研究，并从规范场的观点来研究引力理论的根本原因。从我们看来，我们国内在引力规范理论方面的工作是不弱的，甚而是走在世界的前列的。

也许有同志怀疑，搞这种大统一是不是在追求某种最后阶段的终结真理？是不是违反了辩证法？其实，不断地寻求理论上的统一，力图从统一的观点来说明世界，这本来是辩证唯物主义的根本目标之一。辩证唯物主义的一个根本观点，就是坚持从物质世界来说明物质世界。恩格斯曾深刻地指出：“世界的真正的统一性是在于它的物质性。”（恩格斯：《反杜林论》，人民出版社，1970年，第41页）既然世界要统一于物质，那末构造一个统一的物质世界的理论就不是什么违反科学发展规律的事情。至于这种统一理论本身，当然是要不断发展的，它也决不会因为完成了某种统一以后就使得这种理论停顿下来。

戴元本，洗鼎昌两位同志曾以下列联句见赐：

天地尽元气，杂然赋流形。

微则为粒子，巨则为日星。

.....

也许，这将是理论工作者所不断为之奋斗的目标。