

1179 | 91361x | 020 | 001

《中国科技史料》第20卷 第1期(1999年):1-8  
China Historical Materials of Science and Technology Vol.20 No.1(1999)

99, 20(1)

1-8

# 鲜为人知的基础研究重大成果 0572.33

## ——刘耀阳夸克颜色的发现

1-8

04-09

江向东

(中国科学院高能物理研究所,北京,100039)

**摘要** 通过对发现颜色自由度的各个历史阶段的研究,指出有一篇提出了带色夸克模型的论文早在1966年就发表在中国的期刊上。诸多论据表明,刘耀阳是夸克“颜色”的发现者之一,并指出这是一项鲜为人知的基础研究重大成果。

**关键词** 成果 发现 夸克 颜色  
**中图分类号** O4-09

基础研究成果  
刘耀阳

1996年初,总部设在德国柏林的著名的斯普林格(Springer)出版公司,出版了书名为《自然科学珍奇:物理学中的理论和哲学问题》的著作,作者是奥地利维也纳理论物理研究所的赫伯特·皮特斯柯曼(H. Pietschmann)教授。在论及科学思想和科研成果广为传播的必要性和重要性时,书中举了一个特例:

“1972年,默里·盖尔曼发表了带色夸克假说,后来该假说成了强相互作用理论(量子色动力学)建立的基础。可是,比这前6年,一位中国理论物理学家刘耀阳也得到了类似的结论。不过,当时的论文只允许在中文刊物上发表<sup>[1]</sup>,因此他的发现没有引起普遍的注意。直到1993年初,的里雅斯特国际理论物理中心的访问学者江向东才撰文<sup>[2]</sup>论述此事。”<sup>[3]</sup>

作为一部高度概括自伽利略时代以来的“自然科学珍奇”的书,能够不惜纸墨介绍预印本中尚未发表的文章所论及的一件事,可以想见这件事的不寻常份量。同时也表现出,当代中国人的一个基本而又重大的发现竟然会被埋没之事,使该书作者十分惋惜。

这里,谨将中国科学技术大学近代物理系刘耀阳教授发现带色夸克的情况,包括时代背景、研究过程、论文的引用及近年国际上的反应等,作一简要介绍。

### 1 时代背景

关于基本粒子具有内部结构的观念,可以追溯到1949年费米(E. Fermi)和杨振宁(C. N. Yang)提出的费米-杨模型。这是一个关于 $\pi$ 介子的复合模型,即认为 $\pi$ 介子是由

收到文稿日期:1998-11-20

质子  $p$ 、中子  $n$  及其反粒子复合而成的。两个组份粒子质子和中子是同位旋  $SU(2)$  空间的一个二重态, 在这个内部空间具有转动不变性, 因而又称费米-杨理论为  $SU(2)$  理论。为了解释奇异粒子(例如  $K$  介子和  $\Lambda$  重子)的产生几率与衰变寿命之间的矛盾, 1952 年派斯(A. Pais)提出了协同产生的理论, 这意味着必须赋予这些粒子一个新的量子数。1955 年, 盖尔曼(M. Gell-Mann)提出了奇异量子数的概念。同年, 盖尔曼和西岛和彦(K. Nishijima)总结出了关于奇异数、重子数、同位旋和电荷的一个经验公式, 被称作盖尔曼-西岛规则, 从而奇异量子数的理论被大家所接受。1956 年, 坂田昌一(S. Sakata)借鉴盖尔曼-西岛规则, 扩充了费米-杨模型, 即增加了第三个组份粒子, 奇异数为  $-1$  的  $\Lambda$  粒子。坂田模型可以很好地解释各种介子的组成, 但在解释重子的组成时遇到了困难, 例如不能排除像  $pn\Lambda$  组成的这种自然界不存在的奇异粒子。1959 年, 小川修三(Ogawa)在坂田模型的基础上提出了  $SU(3)$  对称性理论。就像质子和中子具有  $SU(2)$  同位旋对称性一样, 质子、中子和  $\Lambda$  粒子这三个组份粒子具有  $SU(3)$  的正对称性。这些复合模型的一个共同点是, 它们都是将少数几个强子(参与强相互作用的粒子, 即重子和介子的统称), 看作是同一层次其余强子的基础粒子。

1960~1962 年, 实验上发现了一系列新的基本粒子和共振态粒子(一种可以通过强相互作用衰变、寿命极短的粒子, 如  $\pi$  介子与质子碰撞产生的  $\Delta$  粒子的寿命仅为  $10^{-23}$  秒), 例如  $\Sigma^-$  和  $\Sigma^+$  超子、 $\eta$  介子、 $\rho$  介子、 $\omega$  介子、 $K^+$  介子、 $\Phi$  介子和  $\Xi^+$  重子等。至此已发现的强子有: 8 种赝标介子、9 种矢量介子、8 种自旋为  $1/2$  的重子、9 种自旋为  $3/2$  的重子, 此外还有些共振态粒子未全部计入。为了对这些粒子进行有秩序有规律的描述, 尼曼(Y. Neeman)和盖尔曼先后在 1961 年和 1962 年各自独立地提出了  $SU(3)$  八重法方案。他们利用  $SU(3)$  的正对称性, 对这些粒子进行分类, 得到了像化学元素周期表似的基本粒子对称排列的图案。他们越过了  $SU(3)$  群的能填充三种粒子的基础表示, 而是取用了能填充 8 种粒子的 8 维表示和填充 10 种粒子的 10 维表示。这样, 两类介子填满了两个八重态和一个单态, 自旋为  $1/2$  的重子刚好填满了一个八重态。而对于十重态, 应该填 10 种性质相近的粒子。可是, 当时所发现的自旋为  $3/2$  的重子只有 9 种: 4 种  $\Delta$  粒子、3 种  $\Sigma$  粒子和 2 种  $\Xi$  粒子。如果这种对称性理论正确的话, 就应该还有一种自旋为  $3/2$ 、奇异数为  $-3$ 、带负电的未知粒子存在。十重态的这一空位粒子果然在 1964 年初被布鲁克海文实验室的巴恩斯(V. Barnes)等人发现, 即  $\Omega^-$  超子, 其质量、超荷和寿命等性质都与理论预言非常符合。 $\Omega^-$  粒子的发现, 极其有力地支持了  $SU(3)$  对称性理论。

八重法方案的成功, 使盖尔曼转而考虑  $SU(3)$  最重要的基础表示。与  $\Omega^-$  粒子被发现的同时, 即 1964 年 2 月, 盖尔曼在欧洲《物理快报》上发表了关于夸克模型的论文《重子和介子的一个简略模型》<sup>[4]</sup>。他在文中指出,  $SU(3)$  基础表示的三重态应为三种夸克即上夸克  $u$ 、下夸克  $d$  和奇异夸克  $s$ , 它们的电荷分别为  $2/3$ 、 $-1/3$  和  $-1/3$  个电子电荷; 重子由三个夸克组成, 介子由一个夸克和一个反夸克组成, 夸克模型解释了八重法方案能成功地给粒子分类的实质原因, 即给出了  $SU(3)$  对称性的物理基础。同年, 兹韦格(G. Zwig)也独立地提出了夸克模型, 他称这些基本的带分数电荷的粒子为“王牌”<sup>[5]</sup>。

鉴于从  $SU(2)$  理论到  $SU(3)$  理论的经验, 再加上实验上发现了许多重子共振态, 于是人们尝试着把对称性群扩大, 使得每个表示能容纳更多的粒子。1964 年, 居尔赛(F. Gursey)<sup>[6]</sup>和拉迪卡蒂(L. Radicati), 以及崎田(B. Sakita)<sup>[7]</sup>, 分别提出了  $SU(6)$  的正对

称理论。他们将夸克看成自旋为  $1/2$  的粒子,在非相对论条件下(即假定夸克在重子中以 S 波运动,并且夸克之间的作用与自旋无关),把反映内部对称性的  $SU(3)$  么正变换和反映外部(时空)对称性的  $SU(2)$  自旋变换结合起来,形成一个更大的么正变换群  $SU(6)$ 。按照  $SU(6)$  么正对称性,赝标介子和矢量介子被纳入同一个  $SU(6)$  多重态,即被填充进 35 维表示;自旋为  $1/2$  和  $3/2$  的重子被纳入同一个 56 重态(56 维表示)。 $SU(6)$  理论对粒子的分类及其描述也相当成功。

对上述非相对论性的  $SU(6)$  模型,这里且不说当时一些人企图使它相对论化所作的努力,而只谈谈它的 56 重态所引起的困惑和挑战。问题很明显,对于由三个夸克所组成的重子的 56 重态的波函数,对于  $SU(3)$  指标和自旋指标是全对称的。假如承认夸克是费米子的话,那么,这种全对称的波函数就直接与费米-狄拉克统计原理相矛盾,按照统计原理,重子内部运动的波函数应是全反对称的。换一种说法,按照  $SU(6)$ ,  $\Delta^{++}$  粒子是处于 S 态的 3 个 u 夸克,  $\Omega^-$  是处于 S 态的 3 个 s 夸克,若夸克是费米子,则显然违反泡利不相容原理。这个问题,在今天看起来似乎一目了然,但在粒子物理发展史上,它直到 1972 年盖尔曼的论文<sup>[8]</sup>发表后,才使人明确了它与夸克颜色的直接关系。

## 2 刘耀阳带色夸克模型

科学史上不乏这样的先例,某人研究工作的思路并不十分正确,而他所获得的结果(比如某种数学表述)却隐含着连他自己也一时不能明了的物理本质。相对论中的罗伦兹变换公式可以作为一例,目前被公认的夸克颜色的发现者之一格林伯格(O. Greenberg)的工作也是一例<sup>[9]</sup>。对于夸克与泡利原理的矛盾问题,格林伯格试图解决这个问题的出发点并不正确。他认为在夸克这个物质层次上,这些组份粒子的统计性质与上一层次的粒子(强子)的统计性质不一样。因此,他在如今作为发现颜色的最早工作即文献[9]中提出,夸克不遵守费米统计原理,而是遵守一种新的所谓综合费米统计或称仲费米统计。关于新的统计原理这点,我们将从后面要提到的一些物理学家对文献[9]的引用中看得更清楚。有关夸克颜色的早期工作还有韩(M. Han)<sup>[10]</sup>和南部(Y. Nambu)<sup>[11]</sup>的有关论著。他们认为夸克在  $SU(3)$  基础表示中有两种或 3 种不同的表示方法,这虽然比较明显地显示出夸克本身具有新的量子数,但由于他们的工作是以带整数电荷的组份粒子模型为基础的,故而其影响远不如格林伯格的。

从 1965 年 9 月到 1966 年 5 月,中国科学院原子能研究所、北京大学、中国科学院数学研究所和中国科学技术大学等单位,组织了一个 39 人的合作组,集中研究强子结构,也就是后来说的“层子模型”。刘耀阳是 39 名参与者之一。在“山雨欲来风满楼”的“文化大革命”前夕,中国的基本粒子物理学工作者能获得这一颇具规模的合作机会不是没有来由的。1964 年 8 月下旬,坂田昌一率领日本代表团参加了在北京召开的国际科学讨论会。关于强子结构的坂田模型非常符合中国领导人所倡导的“一分为二”的观点。例如,《红旗》杂志在 1965 年第 6 期上发表了坂田昌一《关于新基本粒子观的对话》,并加了强调“一分为二”的编者按语。这种政治上的需要,无疑会影响到做具体研究工作的人的思路和方法,以及对研究成果的评价。

据层子模型工作的参与者回忆,当时的学术带头人认为,最重要的事乃是确定基本粒

子内部是否有结构,是否符合“一分为二”的思想,因而把主要精力用来求强子的波函数。介子是由2个夸克组成的束缚态,重子是由3个夸克组成的束缚态,而当时还没有处理束缚态的场论。通过引进由强力决定的波函数概念,来反映夸克在复合粒子里束缚得很厉害的图象,要想得到多少实质性的结果自然有困难。事实上,夸克间的束缚力即强力,与夸克的“颜色”大有关系,服从一门叫做“量子颜色动力学”的规律。而“颜色”,直到1972年才被人理解,颜色动力学,1973年才建立起来。

世间很多事情,如果脱离历史背景和特定环境来评介它们的话,则难免失之公允,则可能成为“事后诸葛亮”。洗鼎昌在《从古代原子论到层子模型》一文中是这样评介的:“当时国际物理学界对粒子的内部结构的认识就到此为止,而且有一种倾向就是多偏重于粒子间对称性质的讨论,避免涉及回答粒子内部的结构。这里面一个很重要的原因就是夸克不但有着古怪的名字,而且有着古怪的性质,例如电荷只有电子电荷的三分之一——古怪得连它们的提出人盖尔曼几乎要把它们收回去,从此宣称它们只不过是一些数学符号。不过北京的物理学家们却决定认真地研究粒子的内部结构,而且尽可能地研究构成粒子的动力学。”<sup>[12]</sup>再例如,夸克的分数电荷属性,今天的物理学业余爱好者都会觉得是理所当然的,可是在1966年,何祚麻专门撰文指出:“组成基本粒子的‘亚基本粒子’的电荷是整数还是分数,这是探讨基本粒子的结构时重要问题之一”<sup>[13]</sup>。值得称道的是,这是最早引用刘耀阳带色夸克模型一文的几篇论文之一。

前面已说过,夸克与费米统计原理相矛盾的问题是显而易见、人所共知的。问题是怎样解决这个矛盾。是抛弃费米统计原理而找新的统计规律,还是维护这一原理而在夸克本身的属性上寻求新发现,这是对理论物理学家的物理直觉的一次很好的检验。面对这种挑战,刘耀阳的物理思路是直截了当地抓住了物理要害和本质。他当时认为,事关统计原理的问题,决不是一个枝节问题,其中的矛盾预示着必定存在一个尚不为人所知的新的量子数。因此,他认为,提出夸克服从其他统计的做法是徒劳的,应当毫不犹豫地假定新量子数的存在,并在这个基础上讨论所遇到的所有基本粒子问题。他在回忆那段工作时写道:“我认为理论物理,尤其是基本粒子物理这种前沿学科,它首先要解决的决不是一些枝节问题,例如波函数怎么算,算多准,而是要把那些也许是我们过去所不能想象的问题的实质找到。”<sup>[14]</sup>

1966年2月7日(《原子能》收稿日期),世界上第一篇意义明确的带色夸克模型的论文——《一个可能的基本粒子模型》,由刘耀阳完成了<sup>[1]</sup>。在这篇具有开创性的论文中,不仅明确指出了夸克具有后来叫做“颜色”的新量子数,使统计问题不复存在,而且指出了这种新荷与强作用力的媒介关系,还阐明了强子的“色中性”概念。所有这些,都是量子色动力学(QCD)的基础。描述强力现象的量子色动力学和统一描述电磁力与弱力的电弱统一理论,便是当今粒子物理学的“标准模型”理论。关于带色夸克模型的一些要点,我们看原文是怎样论述的:

“实验上大量共振态的发现,越来越令人相信目前所发现的基本粒子是有结构的。盖尔曼曾提出一个‘夸克’模型,但即使根据这个模型,有一些现象仍然是难于理解的,如力的饱和性问题、统计问题以及分数电荷问题等。本文提出一个模型,引入一个新的量子数 $Z$ ,讨论了上述困难。”

“如一般所承认的那样,电磁作用是以电磁场作为媒介来传递的,带电粒子通过

‘电荷’与电磁场发生作用;在中间玻色子理论里,弱相互作用是以中间玻色场作为媒介来传递的,参加弱作用的粒子通过‘弱荷’与中间玻色场发生作用。类似于此,我们假定‘夸克’之间的超强作用是以某种标量场或矢量场作为媒介而传递的,而‘夸克’本身带有某种‘荷’ $Z$ ,每类‘夸克’有相同的 $Z$ 量子数。很容易看出,要解决统计问题至少要引入三类‘夸克’,且所带的 $Z$ 量子数各不相同,我们用 $Z_1, Z_2, Z_3$ 表示,每类又有三个‘夸克’,共计九个‘夸克’。下面将从这三类‘夸克’的假定出发,分别讨论新量子数 $Z$ 的引入、结合态以及结合态之间的相互作用问题,最后简单讨论了对该模型的检验问题。”

“假定存在三类‘夸克’,带有不同的 $Z$ 量子数 $Z_1, Z_2, Z_3$ ,每类都是 $SU(6)$ 或 $SU(3)$ 的基础表示。由这些‘夸克’可以组成 $SU(6)$ 的各种不同表示,而且只有三个‘夸克’是属于不同类的,则56维表示与费米统计不发生矛盾。…三类‘夸克’的量子数必须满足如下的条件: $Z_1 + Z_2 + Z_3 = 0, N_1 + N_2 + N_3 = 1$ 。其中 $N_1, N_2, N_3$ 分别代表三类‘夸克’的重子数本征值。”

“这样我们便说明了为什么实验上首先观测到的是‘夸克’与‘反夸克’组成的状态,和三个‘夸克’的结合态。下面我们进一步探讨当粒子数继续增加时的情况。由前述模型容易看出,实验上观测到的结合态都是 $Z$ 的本征值等于零的本征态,即 $Z$ ‘中性’的状态。它们之间不会有力的作用,而且局部的也是 $Z$ ‘中性’的。结合态即使和个别‘夸克’相遇,它们之间也没有力的作用。向这些结合态上加粒子时,也只有加这些结合态,能量才是最低的。这就解释了为什么目前观测到的粒子都是‘夸克’和‘反夸克’成对的,或者‘夸克’数都是三的整数倍。”

作为对比,谨将1972年盖尔曼正确地引进夸克颜色的经典文献[8]摘译其要:

“我们取用夸克的三种不同类型,那么一共是9种,并且把区分类型的变量称作‘颜色’,例如红、白和蓝(R—W—B)。于是,9种夸克各自都是费米-狄拉克粒子,但我们要求所有物理的重子和介子态都是 $SU(3)$ ‘颜色’的单态。这意味着介子 $q\bar{q}$ 的构造为 $q_R\bar{q}_R + q_W\bar{q}_W + q_B\bar{q}_B$ ,而重子 $qqq$ 为 $q_Rq_Wq_B - q_Wq_Rq_B + q_Bq_Rq_W - q_Rq_Bq_W + q_Wq_Bq_R - q_Bq_Wq_R$ ,它对颜色是全反对称的,并且允许重子在其他变量如自旋、同位旋和奇异数的空间是全对称的。对颜色单态的这种限制使实际的物理情况真正地回复到我们所希望的统计性质。”

好在事实上盖尔曼完全不了解刘耀阳的工作,否则他的这篇重要论文难免有“仿造”之嫌。从上述盖尔曼的最后一句话可以明显地看出,在他的这篇文章问世之前,人们都以为夸克服从一种新的统计,即格林伯格提出的综合统计。笔者无意低估格林伯格对夸克颜色工作的难以否认的贡献,但他的工作的确使得粒子物理学家们误以为夸克不遵守费米统计原理。下面仅举几例证明这点。

在一篇题为《关于综合统计与结构模型》的论文中,有这样的论述:“元强子符合什么统计规律?如果说元强子服从费米统计规律,那么就必须要引入新的量子数,否则在56维表示的重子中,元强子的波函数就不可能是反对称的。但是,引入新的量子数,理论上必然会增加重子的数目。关于这一点,至少在当前的实验事实中是得不到多少支持的。解决这个矛盾的可能性之一是元强子服从某种新的统计规律,如服从三‘阶’的综合统计规律(即在一个态中最多可容纳三个相同粒子,因而允许重子中的三个元强子具有对

称波函数)”<sup>[15]</sup>。

在题为《35 维介子内部运动波函数的初步探讨》一文中写道：“举个例子来说，如果元强子服从费米统计，…由此算得的元强子在介子中的等效质量是  $M = 16$  千兆电子伏，…如果元强子服从混合统计，则这时可以算得  $M = 48$  千兆电子伏。”<sup>[16]</sup>

在总结性论文《层子模型——介子和重子的相对论性结构理论》里，关于统计问题是这样论述的：“我们假定强子是由层子构成的，它的内部结构是通过一个相对论性的波函数来描述的。假定层子的自旋为  $1/2$ ，它可能服从综合统计，也可能服从费米统计。对于后者，就需要引入新的自由度。但不论哪种统计，本文所得的结果都成立。”<sup>[17]</sup>

再请看盖尔曼读研究生时的导师韦斯科夫(V. Weisskopf)在 1972 年出版的《20 世纪物理学》中的论述：“在自然界中夸克从没有找到过。假如它们确实存在，它们势必具有一些非同寻常的性质，譬如电荷是三分之一或三分之二个电子电荷；在统计性上也可能很不寻常(同预期的费米统计不一样)。”<sup>[18]</sup>

引用文献[14~18]的惟一目的，只是为了说明一点，即在文献[8]发表之前，包括格林伯格在内的所有物理学家，对单纯群论方法表示的综合统计所隐含的与夸克颜色的等价关系，无一知晓。

### 3 论文的引用及其他情况

在“层子模型”工作期间，合作组以集体或个人的名义共发表 43 篇论文，另向“北京科学讨论会 1966 年暑期物理讨论会(7 月 23~31 日)”提交 3 篇论文。在这些文章中，除了何祚麻的文章即文献[13]引用了刘耀阳的文章即文献[1]之外，还有北京大学理论物理研究室基本粒子理论组(胡宁等 11 人)和中国科学院数学研究所理论物理研究室(戴元本等 9 人)合写的 2 篇文章<sup>[19~20]</sup>，以及赵保恒和刘耀阳合写的一篇<sup>[21]</sup>，都提到刘耀阳的文章。

刘耀阳回忆说：1966 年暑期“当年有一个重要的北京科学讨论会(有 33 个国家和地区的一百多人参加——笔者注)，完全可以想象得出，有的人一心要在这次会上利用层子模型宣传毛泽东思想。我被拒之门外，会议上当然也不会提到我的工作。这事充分反映出(我的)文章的遭遇。”<sup>[14]</sup>

刘耀阳和盖尔曼都先后强调过强子的“色中性”概念，而这一概念对 60 年代的物理学家来讲是极其陌生和难以接受的，就像上面引用文献[14~18]的看法那样。因此，在提交给国际讨论会的文献[17](这是一篇对“层子模型”工作的总结性文章)中，三节中用了一节介绍“目前获得的一些主要成果”，其中列了 5 大条，仅第一条又列了 16 小条，即使如此，有关夸克新量子数的工作一字未提。由于刘耀阳未能与会，再加上会议论文中的如此情况，所以失去了在国际物理学界及时交流这一成果的惟一机会。

刘耀阳十分遗憾地回忆说：“接着是文化大革命来了，一切工作都停顿下来。”“从 1966 年到 1976 年，我们和外界是隔绝的。林彪“四人帮”垮台以后，重看世界，才知道有了 QCD，我们国内才为之震惊。渐渐地，在一些会上，在国内‘小人物’的文章上开始引用我的工作。例如 1972 年在香山开的加速器会议上，段一士就提出我工作的评价问题。在 1978 年庐山物理学年会上，何祚麻对我的工作给予了很高的评价。还有北大的彭宏安，成都科大的郑希特，高能所的吴丹迪(现在美国尤他大学)等人，都承认我的工作。应当承

认,我们是最早做色理论的,同时也应当承认,我们没有别人后来做的好。也许有人会问我在那之后为什么没有工作,回答是很简单的,即到了1976年,我发现这方面的工作已经做完了。”<sup>[14]</sup>

有关引用或评介刘耀阳带色夸克模型的著述,就笔者所知的,谨列入文献[22~30]。

南部教授看了文献[2]中的预印本后,评述道:“这篇文章的要旨在于历史兴趣,但对我来说是新颖的。该文介绍的刘耀阳发表于1966年的一篇论文,放在该文的附录里,显然许多物理学家一直不知道它。鉴于那个时代的那种环境,我认为刘的工作是卓越的。”

倘若能让更多的皮特斯柯曼,更多的南部,了解中国物理学家的这一卓越贡献;能让更多的国人,了解当代中国所取得的、暂且还是鲜为人知的这一基础研究重大成果,则多少将能增添祖国科学的荣光,此是笔者拙作的希望所在。

### 参 考 文 献

- 1 刘耀阳. 一个可能的基本粒子模型. 原子能, 1966, (3): 232~235
- 2 Xiang-dong Jiang. Yao-yang Liu Was One of the Discoverers of the "Colors" of Quarks. 1993. BIHEP-TH-93-33
- 3 H. Pletschmann. Phänomenologie der Naturwissenschaft. Berlin: Springer, ISBN 3-540-60097-3 1996, 162~163
- 4 M. Gell-Mann. A Schematic Model of Baryons and Mesons. Phys. Lett., 1964, 8(2): 214~215.
- 5 G. Zweig, CERN Report No. TH412. Genève, 1964; Symmetries in Elementary Particle Physics. New York: Academic Press, 1965. 192.
- 6 F. Gursey and L. A. Radicati. Spin and Unitary Spin Independence of Strong Interactions. Phys. Rev. Lett., 1964, 13(5): 173~175.
- 7 B. Sakita. Supermultiples of Elementary Particles. Phys. Rev., 1964, 136(6B): 1756~1760.
- 8 M. Gell-Mann. Quarks. Acta Phys. Austriaca, Suppl. IX, 1972. 733~761.
- 9 O. W. Greenberg. Spin and Unitary-spin Independence in a Paraquark Model of Baryons and Mesons. Phys. Rev. Lett., 1964, 13(20): 598~602.
- 10 M. Y. Han and Y. Nambu. Three-triplet Model with Double SU(3) Symmetry. Phys. Rev., 1965, B139, (4B): 1006~1010.
- 11 Y. Nambu. in: Preludes in Theoretical Physics. eds. A. de Shalit, H. Feshbach and L. van Hove. North-Holland: Amsterdam, 1966. 133
- 12 洗鼎昌. 微观世界认识史话——从古代的原子论到层子模型. 高能物理, 1983, (1): 5~9
- 13 何祚麻. “亚基本粒子”的电荷和矢量介子的电磁衰变. 北京大学学报, 1966, (2): 205~208.
- 14 刘耀阳. 关于颜色量子数的背景材料. 1991-11-16. 寄给笔者的信
- 15 中国科学院原子能研究所基本粒子理论组. 关于综合统计与结构模型. 原子能, 1966, (7~8): 448~451
- 16 中国科学院原子能研究所基本粒子理论组. 35 维介子内部运动波函数的初步探讨. 原子能, 1966, (7~8): 440~447
- 17 北京基本粒子理论组. 层子模型——介子和重子的相对论性结构理论. 见: 北京科学讨论会 1966 年暑期物理讨论会论文, 1966 年 7 月, 1~8.
- 18 V. F. Weisskopf. 20 世纪物理学. 杨福家等译. 北京: 科学出版社, 1979. 16
- 19 北京大学理论物理研究室基本粒子理论组和中国科学院数学研究所理论物理研究室. 强相互作用粒子的结构模型. 北京大学学报, 1966, (2): 104~112.
- 20 北京大学理论物理研究室基本粒子理论组和中国科学院数学研究所理论研究室. 结构模型中的  $(1/2)^+$  重粒子流. 北京大学学报, 1966, (2): 124~135
- 21 赵保恒, 刘耀阳. 基本粒子相对论性结构模型中的卡比玻角问题. 原子能, 1966, (7~8): 456~459.
- 22 洗鼎昌. 中山大学学报, 1979, (1): 1.
- 23 倪光炯, 李洪芳. 近代物理. 上海: 上海科学技术出版社, 1979. 409

- 24 朱洪元. Proceedings of the 1980 Guangzhou Conference of Theoretical Particle Physics. 1980, (1):4.
- 25 吴咏时. 强子结构讨论会文集 武汉:1980, 1.
- 26 《高能物理》编辑部. 基本粒子物理发展史年表. 黄涛主编. 北京: 科学出版社, 1985. 38
- 27 王志樵, 谢谄成, 陈浩元等. 奥林匹克物理知识竞赛辅导. 王植东主编. 长沙: 湖南教育出版社, 1993, 144. 1994, 153
- 28 郑志鹏, 江向东. 从原子到夸克 现代物理知识, 1995, (4): 7~9.
- 29 江向东. 鲜为人知的基础研究重大成果——刘耀阳发现夸克颜色(简本). 科技日报, 1997-07-23~1997-07-24.
- 30 郑志鹏, 江向东. 未来的微观世界. 王直华主编. 南宁: 广西科学技术出版社, 1997. 30~31.

## A SELDOM HEARD OF SIGNIFICANT ACHIEVEMENT IN FUNDAMENTAL SCIENTIFIC RESEARCH; THE DISCOVERY OF COLORED QUARKS BY YAO-YANG LIU

Jiang Xiangdong

*(Institute of High Energy Physics, CAS, Beijing 100039)*

**Abstract** Through inquiring into the various stages in the history of the discovery of the color degree of freedom, this paper points out that there has been an article which was published in a Chinese journal early in 1966 where the colored quark model was proposed. The evidences indicate that yao-yang was one of the discoverers of the "colors" of quarks, which was a seldom heard of significant achievement in fundamental scientific research.

**Key words** achievement, discovery, quark, color

责任编辑: 林文照