

# 量子场论大范围性质的研究工作介绍

## ——纪念郭汉英研究员

吴可 宋行长

郭汉英生前是中国科学院理论物理所研究员，著名的理论物理学家，为推动中国理论物理学的发展作出了不可磨灭的贡献。他的不幸去世，是理论物理学界的巨大损失。最近他的论文选集出版了，今天我们举行学术研讨会，回顾他在理论物理学研究中作出的成就，一起学习他在学术上孜孜不倦追求真理的精神。

量子场论的大范围性质的研究是郭汉英学术研究工作中的一个重要部分。有关这方面研究的情况，已经有了一些介绍，参见郭汉英、吴可在2009年《物理》编辑部编辑出版的《祝贺周光召先生从事物理工作五十五周年暨八十华诞文集》中的回忆文章。本文现在再做一点补充，所涉及的学术论文收集在《郭汉英论文选集》的第三部分。

20世纪60年代末在量子规范理论的研究中，理论物理学家阿德勒(S. L. Adler)、贝尔(J. S. Bell)和杰克(R. Jackiw)，以及巴丁(W. Bardeen)，分别发表了三篇文章，发现了经典的守恒流或Ward等式经过单圈图修正后，不再守恒了。这种因量子效应所导致的破坏守恒性的反常项，称为ABJ反常或巴丁反常。

1971年，韦斯(J. Wess)和祖米诺(B. Zumino)发表了一篇三页纸的文章，指明了反常，特别是巴丁反常，应满足的相容性条件；并且从相容性条件出发，导出了QCD低能有效作用量中的若干相互作用项，如五个赝标粒子项，单光子或双光子和 $\pi$ 介子的相互作用项等。这种相互作用项，以后称为韦斯-祖米诺作用量。当时的问题是没能在一情形下，给出满足相容性条件的完整表达式。

1983年，威滕(E. Witten)写了一篇文章题目为 *Groble aspects of current algebra*，同年发表在杂志 *Nuclear Physics B* 上，他利用对称性分析，讨论了既包括有连续的又具有离散的对称性的场论体系。在没有规范相互作用时，他发现了韦斯-祖米诺项，在四维空间应表述为一个非局域的包含有无穷多项的表达式，但它却能在五维空间表达为一个紧

凑的公式。那么，在有规范相互作用时，又该如何呢？问题的关键是，如何引入已知场和中介玻色子的相互作用，即如何用四维规范场刻画五维上的极小耦合的表达式？当时威滕没有好办法，只好试探地 (by trial and error) 求出了多达二十余项的表达式，并声称它满足韦斯-祖米诺的相容性条件。这种在局域反常消除条件下得到的规范不变的作用量，便是以后著名的韦斯-祖米诺-威滕(WZW)作用量。

那年春天，上面提到的阿德勒教授正好来华访问，带来了威滕文章的预印本，中科院理论物理所一室的研究人员立即组织了一系列研讨会。会上，李小源先后多次介绍了文章的内容。参加讨论的还有其他单位的老师。周光召老师在给吴可的信中所说的“听说你们在念威滕”，就是指这些研讨会。他还敏锐地指出，WZW作用量应“和三级陈类有关”，提出了系统地推导出该作用量的可能性（注：陈类是指描述规范场论的拓扑性质的示性类，它是由著名数学家陈省身提出的，称为陈省身示性类，简称陈类，它可以分别写成第一陈类、第二陈类、第三陈类等，三级陈类是指第三陈类）。

在上述研讨会的基础上，经过大家不分白日黑夜的共同艰苦努力，我们终于系统地推导出完整的WZW作用量，用了两种方法，非线性联络理论方法和陪集规范场理论方法，分别写了两篇文章。第一篇文章的题目是：*On the gauge invariance and anomaly-free condition of Wess-Zumino-Witten effective action*，最后发表在 *Phys Lett B* 上。第二篇文章的题目是：*On Witten's effective Lagrangian for chiral field*，文章发表在国内的杂志上。所得结果和威滕的公式有所不同。当时，威滕在国际上已经很有影响，在我们的文章里只是婉转表达了如下的意思，“规范不变的作用量的表达式可以是不唯一的，我们的表达式和威滕的相比项数要少”，希望尽快审稿通过，以期早日发表。

首篇文章的第一稿由郭汉英起草，周光召最终定稿，投到 *Physics Letter B*。上述的婉转说法一开

始并没有带来好的运气，审稿意见很快回来了。审稿人认为该文不能发表，以文中的结果和威滕的有不同为理由，断言我们的结论是错的。为此我们又花了一段时间动了不少脑筋，找到一个方法来证明我们结果的正确性。周光召亲自写了答辩信，说明审稿人的错误，使得编辑最终同意发表。在我们的第二篇文章中，改变了前文的写法，明确地指出了威滕结果的错误，并且把相关的证明过程作为附录放在了文章后面。

现在回想起来，对审稿人我们还是要感谢的，正是因为他说了句错话，便于反驳，主编或编辑看到答辩的意见后，的确感到审稿人意见有错，就容易下判断，文章可以发表。看来当时审稿人也是经验不足，如果他写一些模棱两可的话，下一个不同意发表的结论，那我们就没有一点办法了。

这两篇文章的第二个重要结论是关于反常的拓扑背景。通常的反常消除条件是个局域的表达形式，即左右手规范群的李代数的任意生成元三次方的迹(Trace)相同，威滕在此条件下得到他的结果。我们在系统地推导WZW作用量时，发现了反常消除条件是左右手规范场的五维上的陈-西蒙斯(Chern-Simons)项相同，陈-西蒙斯项给出了反常的整体表达形式，深刻地揭示了反常的拓扑起源，这是我们独立于国际上其他研究小组得到的结论。表明了四维时空中的非阿贝尔规范场的反常和六维时空的第三陈类相关。

反常研究的创始人之一杰克教授后来指出，20世纪60年代物理学家研究的反常，和数学家阿提耶(M. F. Atiyah)、辛格(I. M. Singer)等在60年代研究的椭圆微分算子的解析指标和它所在流形的拓扑指标的联系，称为A-S指标定理，在大约十五年后发现，他们讨论的是同一个问题。

运用反常和陈类的关系，格林(M. B. Green)和施瓦茨(J. H. Schwarz)给出了反常消除的超弦模型，导致了20世纪80年代超弦的第一次革命，这是后面的事情了。

上述研究工作的计算过程非常繁琐，后来又有了王世坤加入合作，进一步发现了陈-西蒙斯双复形结构，提出了广义陈-西蒙斯的概念。在此复形结构中，第一链是陈类，第二链是通常的陈-西蒙斯项，第三链对应着WZW作用量，通过非常简单的上同调计算把上述复杂的表达式写得清清楚楚。直到现在我

们仍然感到，该双复形结构的全部内涵还没有得到彻底的理解，在最近的数学物理研究中出现的gerbe、n-范畴和高结构等都与此有关，值得继续开展认真的研究。

当时国内的研究成果主要发表在国内的学术刊物上，不容易引起国际上学者的注意，更不容易被他们认可。经过一系列各种对外的学术交流，这组研究成果最终被国际学者承认，称为是“北京小组”(Beijing group)的工作，其中的部分情况在郭汉英写的纪念周光召先生的回忆文章中已有一些介绍，不再重复。

有一些情况可以在这里说一说，这个组的一个成员宋行长在美国作了三次学术报告，介绍这项研究成果的情况。在1983年的夏天，宋行长受杨振宁的资助到美国进行一年的学术访问，当时最初的成果已经出来了。宋行长先在纽约州立大学，位于长岛的斯托尼布鲁克(Stonybrook)，不久又在布鲁克海文美国高能物理国家实验室，作报告介绍了这项工作。由于我们的结果与威滕的结果不同，出乎人们的预料之外，让一些与会者非常吃惊。当时美国著名的理论物理学家纽文豪岑(P. Nieuwenhuizen)两次都参加了同样内容的报告，表明他对此结果的关注程度。

1984年5月，在美国的马里兰大学举办了第十三届物理学中的群论方法国际会议，宋行长收到会议组织者邀请，赴会作了一个五十分钟的大会报告，他的报告题目是：*Anomaly, topology and the properties of the effective Lagrangian*。与我们结果出来的同时，有一组美国学者，以徐一鸿(A. Zee)为代表，也得到了类似的(局域性的)结果。他们也应邀在会议作报告，但只是一个二十分钟的分组报告。据说他们对会议的安排有抱怨，经过交涉，会议主持人破例让他们讲了两个二十分钟。但在最后的会议文集中，按会议的规定，五十分钟的大会报告是十页，而小报告是四页，还是不同的待遇。这个情况说明，当时我们的工作已经得到了国际上的认可。

在得到上述系列成果的过程中，有两点体会，要作出好的有创新性的研究成果，一是要敢于站在权威的肩膀上，敢于挑战权威，二是要融入一个集体，要依靠集体的合作，参与国际竞争。

郭汉英多次讲到要“笑三畏”，提倡不要惧怕权威。(这里的三畏来自《论语》中的一段话“君子有

三畏：畏天命，畏大人，畏圣人。小人不知天命而不畏，狎大人，辱圣人。”）权威也是人，人无完人，金无足赤，人非圣贤，孰能无过。威滕教授作为当代一个伟大的理论物理学家、数学物理学家和数学家，对科学发展作出了杰出的贡献，但他也难免会有错误发生。此种错误并不能掩盖他的伟大学术成就。郭汉英先后多次在不同的场合讲到在量子场论大范围性质研究中一些故事，不是揪住别人的缺点错误不放，而是告诉后来人，应该用一个什么样的精神状态做研究。敢于挑战权威，不断追求真理，这种正确的从事科学研究工作的基本态度，在我们今天的社会环境风气中，尤其显得十分重要。

现在回想起来，当时国内的研究工作水平和国际先进水平相比有很大的差距，我们的个人水平和国际先进的个人水平差得更远。要参与国际竞争，作出好的研究成果，依靠同行的合作，依靠集体的力量，就显得更加重要。量子场论大范围性质研究成果的获得，就是依靠了这样的集体努力。这项成果获得了 1989 年国家自然科学奖二等奖。按当时的规定，每个奖项的主要参加者之中，最多只能有五位个人署名。由于我们的项目参加作出贡献的人很多，经过郭汉英一番周折，上级部门最后同意表彰七个人。据我们了解这是国家自然科学奖中非常罕见的，也许是唯一的一例。除了在奖项和合作文章上出现了的名字外，理论所一室还有很多研究人员参加了合作和讨论，包括李小源，张肇西，朱重远，赵万云等。

在这些合作者中，有从事高能物理理论研究的，也有从事基础数学研究的两个方面的专家。在中国

这种合作可以追溯到中国科学院建院时，数学研究所设立的理论物理研究室，在那里聚集了以张宗燧为代表的一批中国理论物理学界优秀人才。后来，在 1978 年，除了侯伯宇外，他们大都转到了中科院理论物理所，成为理论所第一研究室的核心力量。在“文革”期间，以北京地区部分理论物理学家为主，邀请一些数学家参加，以批判相对论为名，学习研究量子场论、广义相对论、微分几何等，同时开展了理论物理和数学的交叉研究。其中的成果之一，就是基于数学上典型域和物理中引力理论而提出典型时空的理论。应该说，数学和物理的交叉研究的环境氛围，以及所取得的研究成果，在 20 世纪 80 年代量子场论的大范围性质的研究工作中达到了新的高潮。现在，国内从上到下提倡学科交叉，开展交叉研究，如何开展不同学科的研究人员之间的真正有成效的合作呢？回顾历史，也许会有一点借鉴和帮助。

在开展合作研究中，郭汉英是一个典范，他和各种不同的人，老的和少的，同单位和不同单位的，都有过愉快和富有成果的合作，这可以在他发表的论文目录中看到。

谨以此文表达对郭汉英研究员的深深地怀念！

（吴可，首都师范大学数学科学学院 100048；宋行长，北京大学物理学院 100871）

---

此文是据 2011 年 6 月 11 日作者在晨兴中心数学物理研讨会的报告修改完成的。在此表示感谢晨兴数学中心的经费支持和会务等方面周到的服务。



## 科苑快讯

### “消化不良”的黑洞

天龙座一个巨大黑洞捕获的恒星超出了自己的吞噬能力。2011 年 3 月 25 日美国宇航局的雨燕卫星发现了一束 X 闪光。一个 39 亿光年外的黑洞撕碎了一颗路过的恒星，在被黑洞完全吞噬之前，摩擦和引力作用炙烤恒星残骸，发出灼热光线。

最近天文学家发表报告，X 射线数据和射电观测都表明，闪光源自黑洞边界射出的狭窄物质

喷流。其他黑洞也有类似的喷流，但这是天文学家首次目睹产生的全过程。天龙座的这个黑洞位于该遥远星系的中心，与银河系中心的 400 万个太阳质量黑洞大小相同。尽管我们银河系的这些黑洞目前都保持安静，但该发现说明一颗运行无规则的恒星还是可能遭遇黑洞产生这种耀目的奇观。

（高凌云编译自 2011 年 8 月 24 日 [www.sciencemag.org](http://www.sciencemag.org)）