

规范场理论在中国^{*} ——为祝杨振宁先生 80 大寿而作

李 华 钟

(中山大学高等学术研究中心及物理系 广州 510275)

杨振宁：“假如今天……问我，你觉得你这一生最重要的贡献是什么？我会说，我一生最重要的贡献是帮助改变了中国人自己觉得不如人的心理作用。”

——引自“杨振宁文集”扉页

摘 要 文章记叙了 20 世纪 70 年代到 80 年代初期，规范场理论研究在中国的历史事实及杨振宁对中国物理理论研究的影响和贡献，介绍了杨振宁对中国科学研究、教学的一些论述和从中国规范场理论研究中可吸取的教训。

关键词 规范场 杨振宁

GAUGE FIELD THEORY IN CHINA ——In Honor of the 80th Birthday of Professor C. N. Yang

LI Hua-Zhong

(Advanced Research Center and Department of Physics, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China)

Abstract A review is presented of the development of gauge field theory during the 70's and early 80's in China. The great contribution and influence of C. N. Yang are reported.

Key words gauge field, C. N. Yang

1 规范场理论

现在全世界物理学界都知道，杨振宁教授是现代规范场理论——非阿贝尔规范理论的创始人和奠基者。1954 年杨振宁和米尔斯 (R. L. Mills) 发表了划时代经典论文：“同位旋守恒和广义的规范不变^[1]”、“同位旋守恒和同位规范不变^{[2][1]}”。但是非阿贝尔规范场的重要性在此后 20 年里不为人所广泛地认识。虽然也有极少数物理学家对此有兴趣，有的物理学大师对此抱存疑的态度，例如泡利就是。不过循此开拓了的路向，仍然有一些拓荒者不断前进。这就是 1962 年 Glashow 提出的定域 $SU(2) \times U(1)$ 规范理论，这个模型提供了弱电统一理论，纳入定域非阿贝尔规范场理论的框架。可是这个理论的规范场矢量介子质量问题未能解决，也是未能重整化的。然后是 't Hooft 和 Veltman 在 1972 年的里程碑性的工作，它们证明有一种非阿贝尔规范场理论是可重整化的。

即他们证明具有自发破缺的规范场论是可重整的和么正的。自发破缺机制有好些人研究过，最著名的成果是 P. Higgs 证明的标量场耦合到非阿贝尔规范场而使定域规范对称自发破缺。由于连续对称的自发破缺伴随出现 Goldstone 粒子，零质量的规范场量子“吃”掉了这种场量子而带有质量。这种机制，现今称为 Higgs 机制，引入的标量场称为 Higgs 场，引入这种机制的非阿贝尔规范场在理论上成功地解决了规范场量子的质量问题、重正化问题。重要的一步是 1968 年 A. Salam 和 1967 年 S. Weinberg 各自引入的弱作用和电磁相互作用统一的模型。这一模型建立在非阿贝尔自发破缺带 Higgs 机制的规范场理论的基础上。这一理论是物理学基础的重大突破，理论中出现的矢量介子，就是规范场量子，也是实际上已被

* 2001-11-12 收到初稿，2001-12-10 修回

1) 文献 1 是极简短的报道，文献 2 是主要的

观测到的重介子(带电).它预言存在的中性流现象于1974年被实验证实,而建立在定域非阿贝尔规范理论的弱电统一相互作用,成为自然界的基础性的规律之一.规范场的研究导致了三个诺贝尔物理学奖.S. L. Glashow, A. Salam, S. Weinberg 获得1979年诺贝尔物理学奖; G. 't Hooft, M. Veltman 获得1999年诺贝尔物理学奖;带电和中性重介子(W^\pm, Z^0)的实验发现使 W. C. Rubbia 和 S. van der Meer 获得1984年诺贝尔物理学奖.

非阿贝尔规范理论的另一方向就是在物理学中引进了一族全新的数学和物理的结合.杨振宁1974年另一篇经典性论文:“规范场的积分形式”^[3],1975年和吴大峻合作的一篇论文:“不可积相位因子的概念和规范场的整体性表述”^[4],是这一方向的开拓性的结合.物理学历史上每个历史时期发现的自然界基础性的物理规律,总有相伴的相应的数学结构.例如,牛顿力学和常微分方程,电磁场理论、热理论和偏微分方程,相对论和微分几何黎曼几何……非阿贝尔定域规范场理论则是开拓了物理学和纤维丛数学的结合,把规范场理论置于严格的数学基础上.规范场理论是数学的纤维丛理论的物理学中的体现,由此物理学紧密地与拓扑学结合.就物理学本身的基础而言,对物理系统的微分描述之外,还需要整体的描述.整体的描述最简单的系统就是磁单极.这个物理基础理论问题,自1931年 P. A. M. Dirac 提出开始,1959年 D. Bohm, Y. Aharonov 预言的效应,是一个里程碑,是主导物理理论近十年之久的超弦理论的前导,是物理学整体性研究的前导.1984年, M. V. Berry 预言,在通常量子力学系统上出现量子几何相位,这又是沿着上述物理整体描述的一个重要里程碑.纤维丛就是物理整体描述的数学工具.物理的整体描述是最近20年物理基础理论研究的重要方向.

我们重温这段历史,自然深刻体会到规范场理论的重要意义和杨振宁的伟大贡献.可以说,牛顿的经典力学规律,爱因斯坦的相对论,麦克斯韦的电磁理论,普朗克、玻尔、海森伯、薛定谔、狄拉克等建造的量子论和量子力学,奠定了物理世界的基本规律,规范场理论同它们一样是物理世界的基本规律.现在已知弱作用电磁作用统一于规范理论框架,强相互作用也已经可望纳入这一框架,重力相互作用也极为可能应该纳入这一框架.如果规范场理论果真把现在所知自然界四种基本相互作用都纳入这一个框架之内,那末大至宇宙小至微观基本粒子的万象皆源于规范理论规律.

现代规范场理论在20世纪50年代诞生,经历了20年浮沉,也有冷漠和疑惑的批评者.然而沿不同方向探索者,竟然会合于成功的规范场框架,产生了和实验密切结合和符合的弱电统一理论,漫长的道路上有几代物理学家的共同努力.这对于一些急功近利的功利主义者们也许也是很好的一课.非阿贝尔规范场理论在物理上的重要意义不亚于任何一项诺贝尔奖的物理研究.甚至超过许多获奖的研究.但它迄今未被授予诺贝尔奖,这自然有许多因素.但是至少说明一点,能获诺贝尔奖的固然是一流研究工作,但未获诺贝尔奖的就未必不是一流工作,甚至可以是超一流的工作,历史上已有好几个应得而未得诺贝尔物理奖的例子.获奖与否并不是评价历史的贡献最根本的准则.中国学者本来是崇尚埋头苦干,努力耕耘,为下一代创造更好的条件.在现在却常耽于豪言壮语和为“自我价值”所陶醉,规范场的历史也可为殷鉴.

2 规范场理论在中国

1971年杨振宁在离开中国大陆近三十年后,首次访问中国.1972年又到北京访问.他带来了规范场理论研究的最新信息,更带来了使国内基础科学研究复苏的春风.1972年7月周恩来总理邀请杨振宁出席在人民大会堂的一个宴会.杨振宁向周总理建议要制订一项使基础科学研究能受到日益重视的政策.杨振宁认为:当时中国基础研究受到严重破坏,这项政策是急不容缓的.其后,也就是在1972年7月周总理指示周培源(当时北京大学副校长)去探求如何实施执行这样的政策,这就是当时在知识界科研人员中广为流传的周总理对周培源的谈话.这使得理论物理工作者深受鼓舞.在杨振宁带来的规范场研究信息影响下,北京、广州、上海、西安、兰州各地都有规范场的研究.1974年在广州中山大学举行了京穗两地粒子物理研讨会.北京学者戴元本、何祚庥等来参加讨论,可是会议当中就传来了北京开展“反右倾翻案风”的信息.事实上真正重视基础研究的政策,到1976年“四人帮”倒台后才成为现实.但是在1972—1976年期间,国内粒子理论工作者在规范场方面的研究却仍在各地悄悄地进行.在打倒“四人帮”后,1978年在广州召开全国规范场理论研讨会,也为1980年在中国召开国际粒子理论讨论会作了准备.

在上节我们讲到的规范场理论继续发展的两个方向中,杨振宁当时主要在第二个方向,即规范场理

论的数学基础和整体表述.磁单极便是物理整体表述的最简单而又最先显示整体描述必不可少的理论实验室.中国大陆规范场的研究就在杨振宁的影响和参与下开始发展.规范场的数学基础是古典微分几何和纤维丛理论,在美国,杨振宁除了请教纤维丛理论的创业大师陈省身之外,还邀请当时石溪 SUNY 纤维丛专家 Simons 以午餐讨论会形式专门讲演纤维丛理论.在中国大陆,复旦大学数学家谷超豪继承了苏步青从事古典微分几何的研究.正是杨振宁合适的合作者.杨振宁、谷超豪、胡和生等完成一系列规范场数学结构研究^[5].谷超豪发展了杨-米尔斯场的位相因子方法.研究了闭环路位相因子的作用^[5].国内关于规范场的数学研究和理论物理研究与国际的研究同时平行地发展.早在杨振宁回国报告规范场的积分定义的当年,陆启铿就开展了有关纤维丛和规范场关系的研究,并写过文章.陆从和乐群的角度把规范场的微分定义和积分定义联系起来,并且自然得到规范场量与纤维丛的几何量之间的对应关系.陆启铿还求出了非阿贝尔规范场中磁单极的严格解.1972年,陆启铿曾在中国科学院物理研究所和数学研究所内系统地报告过纤维丛理论和规范场形式理论的关系,和他的研究成果.1974年发表了论文“规范场与主纤维丛上的联络”^[6].

以上是规范场的数学方面的研究,这些工作无疑是在杨振宁直接影响下,在国际上独立发展的.在理论物理方面,主要的工作除了北京之外,却是在广州和西安、兰州开始.在北京“四人帮”为了“彻底批判资产阶级学术思想”,飭令在中国科学院成立“相对论批判组”.后来成为中国科学院物理研究所的第十三研究室,这个研究组的成员却在实际上悄悄进行理论物理的研究.除了陆启铿研究纤维丛与规范场的关系外,1972年杨振宁在北京大学报告后,郭汉英、吴咏时、张元仲等研究了一种以洛伦兹群为规范群的引力规范理论.这是第一个挠率场作为动力学场的引力规范理论.戴元本、吴咏时开展了规范场在粒子理论的应用,计算了高阶微扰 QCD.以上都是当时国际前沿领先的工作.可是到1974年底,这个研究小组被派驻研究所的工作组指责说是“裴多菲俱乐部”、“打着批判相对论的旗号,行反批判之实”、“在业务上搞资产阶级自由化”,等等.这个组被迫“停产整顿”.这就是当年的理论物理工作者逆境求存的历史片断.事实上,当时中国科学院物理研究所的理论物理研究组后来成为现今的理论物理研究所的第一批成员.

甚至,在近十年后(1983年)杨振宁写道:“在那些年代,我对于在中国发生的事没有足够的了解,使我能认识到‘四人帮’会不高兴我的建议(指上文中杨振宁对周恩来总理的建议——本文作者注).我实在不解为什么在1973年张春桥(‘四人帮’之一员)对我表现出的敌视,他曾在他的一份文件中明显地批判我,而我到1977年才知道这事.”^[7]

在广州中山大学李华钟、郭硕鸿和北京中国科学院高能物理研究所冼鼎昌参与下,开展了规范场整体表述(global formulation)的研究.这是在杨振宁1974年的论文启发下,结合到当时't Hooft关于非阿贝尔磁单极的研究而开展的研究工作.他们发展了没有纤维丛语言的实质上的纤维丛的一个物理模型的磁单极理论.在一系列论文中系统研究了规范场真空的整体(拓扑)性质.在这些研究过程中,北京中国科学院理论物理研究所吴咏时也参加了合作.这些工作都独立于国际,有一些成果与国外并行发表,有些比国外早几年.与此同时,兰州大学段一士、葛墨林和西安西北大学侯伯宇合作完成了 Higgs 场的拓扑性质和规范场的拓扑学微分几何的分析.这些工作也是独立于国外,近乎同时发表,在国际上的前沿领先的研究.其后四川大学王佩和内蒙古大学侯伯元也参加了西北大学的研究工作.北京中国科学院高能物理研究所杜东生参与了杨振宁、吴大峻的磁单极研究.上述工作都是从1973年开始的.1978年,在广州开了全国第一次规范场理论研讨会.1980年到了一个新阶段,经国务院批准,中国科学院和教育部1980年1月在广州市郊从化县举办了国际华人粒子理论物理研讨会.钱三强、周培源和朱洪元是这次会议的领导者.这次会议是文化大革命后第一次大规模的物理学科国际会议.为筹备这次学术讨论会,1979年在安徽合肥召开了预备会议,中国科学院和全国高等学校从事这方面工作的研究者,提交会议的论文,都在这次会上报告,进行评审筛选.会上决定由朱洪元和李华钟代表中国大陆学者在全体会上分别作题为“关于层子模型的回顾”和“近年来中国关于经典规范场理论的研究”的报告.李华钟为做好报告,组织了一个集体提供资料,成员有吴咏时、冼鼎昌、侯伯宇、段一士、郭汉英等.这是在大会上备受海外华人学者注意的工作,因为它是“文化大革命”后到1980年以前中国大陆的基础物理理论研究的一个重要方面的总结^[8].它总结了1975—1979年在国内期刊上发表的60余篇论文,并与国外平行的研究作了比较.李政道在大会讲话时说,这个“报

告的水平很高”。在这次研讨会上,有关规范场理论
的报告还有刚从其他领域回到理论物理研究的周光
召和中国科学技术大学阮图南关于陪集(coset)规范
场的研究;中国科学技术大学赵保恒和阎沐霖关于
非阿贝尔规范场正则量子化的研究;谷超豪、胡和生
关于球对称规范场的研究;李华钟、郭硕鸿关于瞬子
集团的研究……10多篇论文。可见,规范场理论的
研究在国内当时是相当普遍的(当然这个会议中,国
内作者还有许多的论文是粒子物理的理论工作,因
为它们不属于本文的题目范围之内,不能论述了)。
参加广州会议的海外学者50余人,遍布世界几大
洲。以后20世纪80年代中国留学生出国留学和理
论物理访问学者在美国访问都受海外学者欢迎。可
以说在广州会议上显示的中国大陆学者的水平给他
们深刻的印象不无重要影响。

经过了20多年,这段历史事实已不被现时的研
究后继者所知,即使在老一辈人中亦已淡忘。在中
华人民共和国成立50周年之际,物理界专业人士纷
纷在《物理》杂志上发表50年的总结和回顾文章。可
是这段重要的历史却未有记载。我们回顾规范场在
中国的发展,显示了在杨振宁的学术影响下,曾经被
“文化大革命”摧残了的基础理论研究的复苏。我曾
撰写过一篇文章,在引言中说及“文化大革命”后,国
内物理基础理论研究的“文艺复兴”^[9]。那篇文章的
一小段中我只限于讲到当时国内的一部分因素,现
在把杨振宁的影响和当时国际的因素补充,总算比
较完整记叙了一个时期中国物理学的一段历史事
实。

3 子曰:温故而知新

物理基础研究的重大发现,往往出人意料,不是
在热门话题中,不在人们预期之中,历史上不少事
例,规范场理论也是在一个完全不被当时同时代研
究者注意的地方开始,经过20年才为人们所认识。
国内近数十年来在基础研究也仿效其他行业喜欢搞
大团队“攻关”,喜欢讲“预期结果和价值”,喜欢搞
“国家队”,等等。事实上,物理学历史上,许多极为重
要的研究却完全是一两个人的活动。规范场就完全
是一个人开始,坚持了几年,偶然机会与米尔斯合作
获得启发,在规范变换式引入非线性项,解决了最后
的障碍。最后的结果完全不是事先能“预期”想像到
的。杨振宁曾说过:“攻关”、“大协作”之类,不是基础
理论科学研究惟一方式,也不可以视为主要的方式,
因为基础理论研究中,“散兵群”往往起决定作用,取

得最重要的成果,只注意“攻并”,忽视“散兵”不是可
取的策略。我们讲规范场的历史,也许可以有点启
发。

当然,我们并不反对“国家队”,对一些竞赛性的
行业,如体育运动,国家队决不可少。对一些“大科
学”或系统工程,国家队必不可无。但是对自然科学
基础理论性研究,可以有“国家队”,但是不可以单
一依靠“国家队”。在许多国家,不存在理论科学研究的
“国家队”。与此相关,20世纪70和80年代规范场研
究在中国也是一些“散兵”自发的成绩。同时,也是当
是广州粒子理论讨论会上事实上的“国家队”。60年
代,70年代钱三强、周培源等老一辈的科学家十分
关心“京外”的物理,他们很用心发现和支持“京外”
各地的理论物理研究者,他们把散于全国各地的粒
子理论研究者,视作与“翰林院”的京城学者同等重
要的力量。1980广州粒子理论物理讨论会就是一个
历史的见证。

还有一点有趣和值得注意的事实是,当年国内
规范场研究者,就它的开拓者和主力大都不是从国
外留学回国的。在当时甚至是未出过国门的“土包
子”。在30年封闭与国外没有直接交流情况下只有
凭过时的出版刊物了解国际成就和动向,这一代的
物理学者可说完全是“中国制造”。即使在这种环境
下成长的一代学者,一旦与外界接触,却可以说是与
国际“顺利接轨”。因此今天的青年学者得益于开
放,交流信息,出国访问,比之当年有无可比拟的优越
条件,自然会有超过老一辈人的成绩。但是有一种观
念认为只有留过洋的学者才能做出高水平、高质量
的工作,规范场在中国的研究的经验,说明凭完全“中
国制造”的学者,可以做出与西方学者平行发展的研
究。我并不主张“闭关”“练功”。开放与交流是研究所必
需的。20世纪80年代以后,我们许多同行出国访
问,我感受中的一点是“中国制造”的品牌的货色,并
不都是比海外品牌低劣。中国学者如果只知道崇尚
洋货世界名牌,恐怕就不是一个好现象。规范场理论
在中国在标志着“文化大革命”后70—80年代基础
物理理论研究学者们的自信和努力。

这里我们引用杨振宁的不朽名言:“假如今天
……问我,你觉得你这一生最重要的贡献是什么?
我会说,我一生最重要的贡献是帮助改变了中国人
自己觉得不如人的心理作用”^[10]。我们这篇文章,就
是给这段话作了一个小小的注释。

当然,中华人民共和国建国以来,中国大陆的许
多巨大成就,有不少使中国人恢复自信心的事件,但

是杨振宁自是有其独特的作用. 因为: 他个人的成就立足于古今中外的世界科学史. 杨振宁远在 20 世纪 50 年代初期, 在普林斯顿高等研究院工作时, 就已经在世界物理学界中声名显赫. 有人回忆, 传闻早在李、杨获得诺贝尔物理奖之前几年, 奥本海默(J. R. Oppenheimer)说过: 50 年代物理学是杨振宁的天下^[1]. 杨振宁 1945 年赴美国之前, 在中国本土受了 20 多年教育, 抗日战争时期, 毕业于昆明西南联合大学(北京大学、清华大学、南开大学联合), 取得硕士学位. 到美国后受教育研究先后十年, 就取得很高声誉. 杨振宁多次讲过: 他受中国式大学按部就班基础踏实教育影响甚深, 后来又受美国大学的研究启发的跳跃式(或说渗透式)方法, 他自己是东西方优点的结合所致. 杨振宁从来主张中国传统方式有它的优点. 西方学习方式也有它的优点, 不可以其一否定其二. 他身体力行综其双方所长, 并且一再告诫青年要吸收东西方的长处. 如果仔细阅读杨振宁的论文, 他的科学选题和破解, 品味和风格, 隐约闪现东方式的智慧.

现在我们正经历一个转变的时代. 中国传统的高等教育, 物理教学在建国后 30 年的传统是否要否定, 是否要来一个美式改造, 仁者见仁. 事实上有一种观念认为中国没有什么科学传统、没有什么值得保留和发扬的东西. 以“世界一流大学”为模式的“校长名句”不少. 我接触到不少上任的大学校长总要把“某某”国际一流的大学作为他办学模式, 作为就职演说的必备豪语. 也有那么一说: 中国大陆真正的科学研究是在 20 世纪 80 年代国外留学回国这些人才开始的. 照那么说, 80 年代以前中国没有科研, 更没有传统. 在祝颂杨振宁的成就之时, 我不可忽略杨振宁不只以他的华人血统自豪, 而且他认为他受益于中国传统教育, 他总没有忘记西南联合大学当年

极其恶劣的生活环境下, 教导他的老师吴大猷、王竹溪、周培源等中国卓越学者. 20 世纪 70 年代初他访问中山大学, 他向我提出, 他要做的一件事是看望当年教过他数学课、已故姜立夫教授的夫人. 为此他曾专门寄来一封短信. 我想这一段的叙述也是为杨振宁的不朽名言再作一点注释.

致谢 作者感谢当年合作同行们的支持, 特别是洗鼎昌教授、郭汉英教授、段一士教授、张元仲教授的宝贵意见. 感谢谷超豪教授寄来他的论文抽印本.

参 考 文 献

- [1] Yang C N, Mills R L. Phys. Rev. ,1954 ,96 :191
- [2] Yang C N, Mills R L. Phys. Rev. ,1954 ,95 :631
- [3] Yang C N. Phys. Rev. Lett. ,1975 ,33 :445
- [4] Tai Tsun Wu ,Yang C N. Phys. Rev. ,1975 ,D12 :3845
- [5] Gu C H. Physics Report ,1981 ,80(4) :253
- [6] 陆启铿. 物理学报 ,1974 ,23 :249. LU Q K. Acta Physica Sinica , 1974 ,23 :249(in Chinese)]
- [7] Yang C N. Selected Papers 1945—1980 with Commentary. New York :W. H. Freeman & Co. ,1983, 78
- [8] Li H Z *et al.* A Review on the research in classical gauge field theory in China during the recent year. In :Hu N ,Zu H Y ed. Proc. 1980 Guangzhou Conference on Theoretical Particle Physics. Beijing Science Press ,1980. Vol. I :97
- [9] Li H Z. Magnetic Monopole and Its physical effects. In :Lin C C ,Hu N ed. Some New Trends on Fluid Mechanics and Theoretical Physics. Beijing :Peking University Press ,1993. 524
- [10] 杨振宁. 杨振宁文集(传记、演讲、随笔) (上). 上海 :华东师范大学出版社 ,1997. 扉页 Yang C N. Collected essays of Chen Ning Yang—Biographies ,Public lectures and notes(I). Shanghai :Huadong Normal University Press ,1997. title page(in Chinese)]
- [11] Hung Cheng(郑洪). How to Quantize Yang-Mills Theory. In :Liu C S ,Yau S T ed. A Great Physicist of the Twentieth Century. International Press ,1995. 49

· 物理新闻 ·

枝状激光器(Dendrimer Lasers)

以活性介质的荧光染色分子积聚于树状结构的高聚物的中心处形成了通常的枝状激光器. 在大多数的染色激光器中, 若不使荧光过程发生猝灭, 则染色浓度一般不能超过 1 毫克分子量/升. 但现在日本科技协会和日本通信实验室的科学家 Shiyoshi Yokoyama 等人完成了一个新的实验, 他们的染色浓度可达到 9 毫克分子量/升, 而激光器的输出功率不但没有减少, 反而略有增加.

另外谱线宽度很窄, 只有 0.1nm, 激光器的输出功率极强, 因而不需要使用端反射镜. 如果进一步考虑有机激光体的柔软和可调性质, 10nm 大小的激光器就可能在短期内得到. 所以 Yakoyama 等人认为他们应进一步研究枝状激光器, 从而可产生出一系列的应用, 如: 固体波导管、光纤和激光晶体等.

(云中客摘自 Applied Physics Letters ,7 Jan. 2002)