



●1926年，合肥



●杨振宁(右)同陈郑士宁(陈省身夫人)的两位兄弟郑士成(中)和郑士清。在小学和中学,同学们都把杨振宁叫做“大头”。后来他回忆道:“我跟我的小学同学们在清华园里到处游玩。几乎每一棵树我们都爬过,每一棵草我们都曾经研究过。”



●1950年8月26日,新泽西州普林斯顿。杜致礼和杨振宁摄于  
结婚典礼后



●1966 年春,杨光诺、杨光宇、  
杨又礼和杜致礼、杨振宁摄  
于新泽西州普林斯顿 Mer  
cer 街 284 号杨家的花园中



●1976 年感恩节,全  
家合影于石溪附近



●1987年1月摄于香港。杨振宁  
同母亲度过的最后一个春节



●1971年1月，杨振宁和母亲合影于香港



● 1957 年春



●1971年8月摄于中国长城。

“在此行看到的景色中，令我感触最深的就是长城了。长城是令人叹为观止的。它简单而坚强。它优美地蜿蜒上下，缓慢而稳定地随着山峦起伏。有时消失于远处山谷中，那不过暂时的，终于又坚毅地攀登了下一个高峰。查看它的每一块砖石，我们会体会到在它复杂的历史中，真不知凝聚了多少人的血和汗。可是只有看到它的整体结构，看到它的力量和气魄以后，我们才会体会到它的真正意义。它是悠长的，它是坚韧的。它有战术上的灵活，有战略上的坚定。它长远的一统目的，使它成为自太空接近地球的访客所最先辨认的人类创作。

“长城象征着中国的历史。它象征着中国历史的悠久，它象征着中华文化的坚韧。它表现出了几千年来无数中国人民的胼手胝足，以及他们的辛劳为人类所作出的优异贡献。它象征着历史上中国一统的观念：尽管中国历经盛衰兴亡，尽管中国有如此大的地域和多种的方言，尽管中国有过多次内战和朝代的更换，但是贯穿历史的只有一个中国。在世界人民心目中只有一个中国，在中国人民心目中只有一个中国：合则盛，分则衰。”

——摘自杨振宁《读书教学四十年》，香港三联书店，1985



- 1947年8月23日，芝加哥大学。自左至右：凌宁、李政道、杨振宁，驾车漫游美国出发前所摄。在38天时间里，他们到过拉什莫尔山（在南达科他州，山石上雕有华盛顿、杰斐逊、林肯和西奥多·罗斯福四人的巨像因而出名。译注）、蒂顿族印第安人保留地、斯波坎附近一望无际的一抹平川、旧金山、约塞米蒂谷（在加利福尼亚州中东部。译注）、大峡谷（在亚利桑那州。译注）和许多其他令人难以忘怀的风景胜地。这是他们了解美国的一次重要旅行



●1971年8月1日，周恩来总理和杨振宁



●1979年1月30日摄于华盛顿希尔顿饭店。当时中华人民共和国副总理邓小平来到华盛顿同卡特总统签署中美两国建立外交关系的协定。作为全美华人协会(NACA)会长，杨振宁举行宴会招待邓小平夫妇。背后为NACA副会长何炳隼。





●1957年12月。瑞典国王同杜致礼



●杨振宁在他的办公室,1986年



●石溪,杨振宁布置得很雅致的办公室。他从1966年到1974年在此办公(参见本书中萨瑟兰的文章)



●1993年8月,摄于吉林长白山



●1992年7月,杨振宁同丘成桐在新竹清华出席庆祝杨振宁七秩大寿庆典



●1992年7月,杨振宁夫妇同新竹清华校长夫妇合影于本书编者所组织的庆祝杨振宁七十寿辰的大会上



●杨振宁摄于他的办公室,1993年



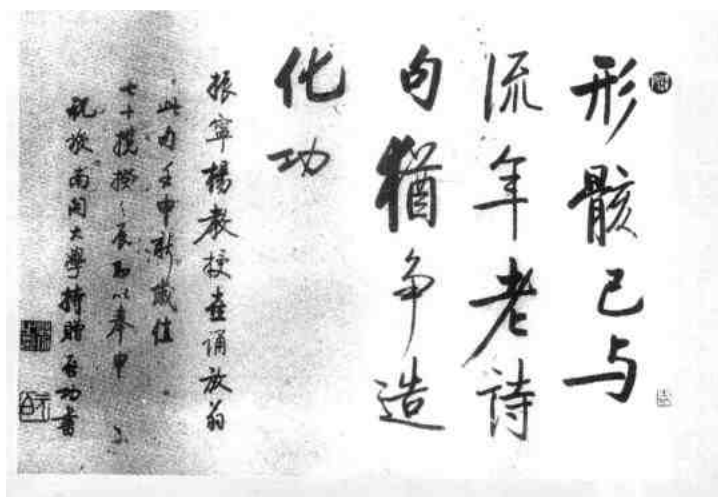
●杨振宁的小学同学、艺术家熊秉明书赠杨振宁庆贺他七十大寿的中堂



●杨振宁在香港摄于其生日庆祝会上



●送给杨振宁庆贺他七十大寿的条幅(宋代大诗人陆游句)。上为熊秉明书,下为启功书



## 译 序

1992年,是方今健在的最伟大的物理学家、诺贝尔奖得主杨振宁教授七秩大寿.世界各地都以各种形式举行了祝寿庆典,其中,新竹清华则以“庆祝杨振宁教授 70 寿辰”为题召开了一次国际学术研讨会.出席研讨会的有来自世界各地的著名科学家,包括多名诺贝尔奖获得者;他们当中,有杨振宁先生的师长、学生、同事和朋友.除了切磋学问之外,他们还利用这次难得的学术聚会表达对杨教授的颂扬之情.事后,丘成桐教授和刘兆玄教授把研讨会的文章编辑成集,以《杨振宁——20 世纪一位伟大的物理学家》为书名,于 1995 年春在美国出版.承蒙丘成桐教授厚爱,该书一经问世,就给我寄来一本,俾我得以先读为快.阅读是书,乃一大乐事.看到如此众多的学者、名流热情洋溢,异口同声地赞颂杨振宁对物理学的不朽贡献,我心中不禁欢喜,盖因我在拙著《杨振宁评传》(广西科学技术出版社出版,1992 年,南宁)中称杨振宁先生为方今健在的最伟大的物理学家,曾受到某些人诘难.现在,《杨振宁——20 世纪一位伟大的物理学家》一书中各位大师都说,物理学史上,只有牛顿、麦克斯韦、爱因斯坦和狄拉克这样的科学巨匠才能与杨振宁相提并论.这是我中华民族的极大荣耀,无疑也是对我上述论点最有力的支持.一篇文章要做到完全客观,是不可能的.然而,众口一词,人人都这么说,那就一定客观公允.读过这本书的人,都会由衷地感到,杨振宁先生不但是科学泰斗和一代宗师.而且在一切方面都堪称做人楷模.因此我希望把他翻译出来,以飨读者.

翻译此书,还有另一层考虑.我曾有幸翻译出版杨振宁先生的两本大作:《读书教学四十年》(香港三联书店出版,1985 年)和《三



十五年心路》(广西科学技术出版社,1989年,南宁)。这两本书收集的是杨振宁先生的演讲和回忆录,内容主要是杨先生说自己,谈物理,议论他所经历和参与的历史事件,以及评论各种人物。两书出版以来,颇受海内外读者的欢迎,被誉为姊妹篇。而如今的这本《杨振宁——20世纪一位伟大的物理学家》则是众多学者、名流议论和评价杨先生的文集。从这个意义来说,后面这本书才是前两本书真正的姊妹篇;这三本书合在一起,就能使我们对杨振宁先生的崇高品格和伟大贡献有一个明晰和完整的认识。我有机会翻译出版这样三本重要的书,真是三生有幸!

前两年,杨先生应邀到北方某大城市讲学。同机前往的还有一位大红大紫的流行歌星。机场上,一大群追星族手捧大束大束的鲜花,迎接他们心目中的偶像。看到杨先生在一些人的簇拥下走向停在一旁的豪华轿车,这群追星族听说同机前来的还有一位大名人,便跑过来打听。当被告知,这位大名人是杨振宁先生时,歌迷们满面狐疑:“杨振宁?未听说过。杨先生是唱什么歌的?”呼的一声又散去。该市电视台播出“杨振宁教授到我市××大学讲学”的消息,通篇竟把杨先生的名字写错念错了!听罢这个故事,我不禁黯然神伤。

有道是,我们中华民族应该对人类作出更大的贡献。既然如此,我们为什么不去宣传、颂扬像杨振宁这样已经对人类作出了极大贡献(连外国人都异口同声地承认这一点)的中华民族精英呢?正是因为有上面的刺激和感慨,本书译者这些年来才如此起劲地研究、介绍和宣扬杨振宁先生以及他对人类所作的伟大贡献。我的一片苦心孤诣,希望能够得到读者诸君的理解和赞同。

要说明的是,原书是一次物理学研讨会的文集,收入了许多学术论文。考虑到广大读者并不熟悉,也不需要学术性、专业性太强的内容,故略去(完全略去未译的数学、物理论文共有9篇)。另外,外国人名、地名,除众所周知者外,一律不译出。每篇文章都附一小段作者简介,多是原书所载,部分为本书译者所撰。一些情况下,为

了帮助读者完整地了解某一作者对杨振宁先生的评价,本书译者收集了该作者的其他文章,作为附录,载于文后;这些附录皆非原书所有。我们在每一附录之后都标明了文章出处,在此特向有关作者及有关出版者致谢。

此外,译者对原书各篇文章先后顺序稍稍作了变动。

借此机会,我要向读者介绍原书编者之一丘成桐教授。丘先生是世界著名的美籍华裔数学家,美国哈佛大学教授,同时是美国斯坦福大学、加利福尼亚大学伯克利分校和普林斯顿大学终身教授,美国数学学会会员。他1949年生于广东汕头,即随父母迁居香港,1971年获美国加利福尼亚大学伯克利分校哲学博士学位,1980年获香港中文大学理学博士学位。他在微分几何、非线性椭圆微分方程、低维流型拓扑、广义相对论、复流型解析几何等方面有突出贡献。1977年因解决卡拉彼猜想和广义相对论的正质量猜想而扬名数学界。他还与萧荫堂合作解决了任鸿熙猜想。1979年获美国加利福尼亚州科技及工业博物馆科学家奖;1981年获美国数学学会韦伯伦奖,同年获美国国家科学院卡利奖;1982年再获菲尔兹奖,为获此殊荣的第一位华人。由于诺贝尔委员会不设数学奖,故菲尔兹(J. C. Fields)奖和沃尔夫(Ricardo Wollf)奖就成了相当于诺贝尔奖的世界数学最高奖项,其中,前一种只奖给不满10周岁的青年数学家。

此书翻译出版得到了广西师范大学物理系柳继锋教授的大力促成,在此仅表谢忱。本书的校译者黄得勋教授同我在共同翻译杨先生大作《读书教学四十年》过程中合作愉快,记忆犹新。我们还共同翻译了本书中Max Dresden的那篇文章。囿于译者才疏学浅,错漏在所不免,敬请读者诸君不吝赐教,是所至祈。

甘幼珩

1995年8月于邕州

# 目 录

电子-正电子高能对撞的最新结果 .....	丁肇中(1)
附录:杨振宁小传 .....	丁肇中(4)
杨振宁和 CP 不守恒 .....	詹姆士·W. 克罗宁(6)
杨振宁-米尔斯方程和杨振宁-巴克斯特方程 .....	陈省身(11)
附录:我与杨家两代的因缘 .....	陈省身(17)
杨振宁教授七秩大寿 .....	吴健雄(21)
杨振宁教授 70 寿辰献辞 .....	弗里曼·J. 戴逊(25)
杨振宁教授 70 寿辰贺词 .....	爱德华·泰勒(27)
附录:对杨振宁南渡人生半世的贺辞 .....	爱德华·泰勒(31)
杨振宁教授在一座优秀大学的发展过程中所起的关键作用 .....	
.....	约翰·S. 托尔(39)
杨振宁对我的生活和研究工作的影响 .....	G. E. 布朗(46)
杨振宁的金字塔 .....	乔玲丽(52)
如何对杨振宁-米尔斯理论进行量子化 .....	郑 洪(55)
杨振宁教授 .....	邹祖德(60)
发现具有更高临界温度的超导体的可能途径(序言部分) .....	
.....	朱经武(65)
超导体的量子化磁通:我个人的一些看法 .....	
.....	小巴斯科姆·S. 第佛(68)
回忆普林斯顿的岁月 .....	黄克孙(72)
我所知道的杨振宁 .....	高 锟(77)
美丽与真确 .....	罗伯特·米尔斯(79)
附录:杨振宁和米尔斯 .....	罗伯特·米尔斯(81)

26 年 .....	聂华桐(83)
附录:我所知道的杨振宁 .....	聂华桐(87)
回忆我当杨教授研究生的岁月(1966—1969) .....	
.....	比尔·萨瑟兰(102)
杨振宁教授和我 .....	吴大峻(107)
杨振宁教授对物理学的影响 .....	顾东茂(112)
加速器物理中的非线性动力学 .....	赵 午(120)
杨振宁 .....	李炳安 邓超凡(122)
附录:基本物理学的精髓——九组方程式 .....	李炳安(140)
试论物理学中的风格和品味 .....	马克斯·德累斯顿(144)
杨振宁和当代数学 .....	张奠宙(187)
外国人名及中译对照 .....	(207)

丁肇中

## 电子-正电子高能对撞 的最新结果

今天,能在这个讲坛上做报告庆祝杨教授的 70 寿辰,感到极大的荣幸.第一次听到杨教授名字的时候,我还是台北的一个高中生.杨振宁和李政道关于宇称不守恒的伟大工作是我们了解弱相互作用的关键一步.

杨振宁教授是 20 世纪最伟大的物理学家之一.他对物理学和数学的贡献大大地推进了我们对物质世界的了解.大家公认,每当提起 20 世纪物理学的主要里程碑时,下面几项立刻就会浮现脑际:

1. 相对论
2. 量子力学
3. 规范理论

人们可以很容易地列出杨振宁-米尔斯理论的某些重大后果:

- a. 把局域规范不变性用到一族  $n$  个粒子时,得到
  - 量子色动力学以外的第一个成功的理论;
  - 用于粒子的第一个非阿贝尔对称群;

——建立了更高的对称及不变性之间的关系。

b. 应用于  $SU(2)(n=2)$ ,

——为规范场建立了局域变换规则;

——用  $A_\mu$  来表示  $F_{\mu\nu}$  的表达式;

——阐明了对称及同位旋守恒;

——引进了三个矢量规范粒子:无质量,其中两个荷电,一个中性;

——表明了对质量大的规范粒子需要一种希格斯机制;

——为统一的弱电理论奠定了基础。

c. 推广到  $SU(3)(n=3)$ ,

——量子色动力学及 8 个无质量的胶子。

d. 推广到弱电相互作用;标准模型。

e. 成为所有现代规范理论的基础。

60 年代末,我正在德国的 DESY(德国电子同步加速器)做矢量介子的光子产生及量子电动力学的验证研究。利物浦会议期间,第一次有机会同杨教授进行了深入的讨论。随后,1974 年在布鲁克海文发现了  $J$  粒子之后,我又同杨教授在布鲁克海文和石溪相处了一段时间。1977 年夏,我同杨教授在北京相会。当时我们共同为接待中国科学院的科学家预做安排。这次,我有机会同他做了长谈并有幸见到了他的泰山大人杜聿明将军。随后一段时间里,我们利用在意大利 Erice 举行的夏季讲习班、在新加坡和汉城举行的亚洲及太平洋物理学大会等机会又做了许多讨论。最后,几年前,当他到瑞士接受苏黎世高等工业学校(ETH)荣誉博士学位时,顺便来到欧洲核子研究中心(CERN)访问了我们。此外,我还于 1986 年在香港见到他。现在他每年都要到香港呆些日子。

杨教授有一付异乎寻常的清晰头脑,对物理学有透彻的了解。他常常帮助我弄清所进行的实验有什么价值和蕴涵。他虽然不是位实验家,对实验的局限和可能性却有深入的理解。他知道什么

可能、什么不可能. 对判断不同实验结果的相对价值, 他也有良好的感觉.

他总是以极大的热情来支持和鼓励年轻的科学家. 他的洞察力和睿智使他认识到, 对许多国家来说, 以应用为目的的科学比起诸如实验高能物理等费用高昂的纯科学来, 或许更重要.

我今天要做的报告涉及到许多实验. 它们都是杨振宁教授关于宇称(同李政道一起)和规范理论工作的直接后果. 本工作是在世界上最大的加速器, 即日内瓦 CERN27 千米长的电子-正电子对撞机(LEP)上进行的.

(以下为专业论文, 兹从略)

丁肇中教授是世界著名的实验高能物理学家, 祖籍山东日照, 1936 年生于美国密执安州, 1962 年获密执安大学博士学位, 现为美国麻省理工学院教授. 1974 年他发现了一个新的长寿命中性粒子—— $J$  粒子, 震动了整个物理学界, 并因此于 1976 年荣膺诺贝尔物理学奖. 翌年, 他当选为美国国家科学院院士. 1988 年, 他荣获意大利最高科学奖——德卡斯贝里奖. 译注.

# 附 录

## 杨振宁小传<sup>①</sup>

丁肇中

中国积极吸收自然科学,由来至今,已历百人之年.国人在国际科学坛上有建立不朽之功绩者,乃自杨振宁始.

杨振宁教授 1922 年生于安徽省合肥县. 6 岁时父亲从美国芝加哥大学学成回国,先在厦门大学执教,次年受清华大学聘为数学教授. 因此杨教授成长时期,他家在当时的北平.

1937 年抗日战争开始,随家几经转折,迁入内地的昆明. 1938 年他从高中二年级考入西南联大,得到许多良师的启发,开始对物理学发生兴趣. 在吴大猷先生指导下他完成了取题于群论及分子光谱的学士论文. 这段工作引起他对对称性特别的兴趣. 其后,跟王竹溪先生做的硕士论文涉及的统计力学,也成为他以后研究的主题之一.

1945 年杨教授赴美进入父亲的母校芝加哥大学,3 年后得物

<sup>①</sup> 这是丁肇中教授为香港中文大学“杨振宁阅览室”揭幕所撰. 译注.



理博士学位。在芝加哥大学时他接触到许多世界第一流的物理学家。其著名者有论文主任泰勒(Teller)和一代大师费密(Fermi)。1948年他与费密提出 $\pi$ 介子是质子及反质子束缚态的可能性,开创了研究粒子内部结构的先河。

1949年他应奥本海默(Oppenheimer)邀请去普林斯顿高等研究院做研究工作,不久升为教授。1954年他与米尔斯(Mills)发表的规范场理论,是一个划时代的创作,不但成为今日理论的基石,并且在相对论上及在纯数学上也有重大的意义。

1956年他与李政道教授指出宇称不守恒,次年即获得科学界最高荣誉的诺贝尔奖。从1966年至今,杨教授主持纽约石溪州立大学的理论物理研究所。

杨教授为人耿直,教诲不倦,聪敏过人而治学严谨,年逾耳顺而精神蓬勃,是年轻人无上的榜样。

詹姆士·W. 克罗宁

## 杨振宁和 CP 不守恒

我一向敬佩杨振宁，他的物理学品味和论著的风格对实验物理学家有很自然的吸引力。他同李政道系统地分析宇称不守恒的证据时所表现出来的风度是他的物理学风格的著名例子。其特点是，一切考虑都以实验事实为基础，尽力避免任何牵强附会的推测。在发现 CP 不守恒的那段时间，我和他在研究方向上曾有过相互交叉的情况。在这篇短文里，我想谈谈杨振宁关于此课题的一些研究工作。他清楚、准确地指出，在中性 K 介子系统中，必须做些什么测量，然后才能完全确定 CP 不守恒。

我在芝加哥大学开始我的研究生生涯。杨振宁也在芝加哥大学 Samuel K. Allison 教授的实验室里开始他的研究。一段时间以后，大家都很清楚，杨振宁在理论物理方面天分太高了，再跟 Sam Allison 学实验物理就等于白白浪费他的才华。最近跟杨振宁交谈，我弄明白了他这段经历，有两点是有价值的。对杨振宁来说，跟着 Sam Allison 从核物理的研究到气体中轻离子的俘获和耗损截面的研究等课题转来转去，是很有裨益的。这使他懂得了许多重要的技术，包括向等离子容器注入中性原子、向加速器注入负氢离子，以及串列范德格拉夫加速器的电压倍加，等等。实验本身也让

杨振宁懂得了应该尊重实验,并对实验抱有兴趣.这有助于他日后对物理学作出贡献.就我本人而言, Sam Allison 使我体会到了从事实验工作的乐趣.

我这一代物理学家对 50 年代中到 60 年代中这段时间有着非常美好的记忆.无论实验物理还是理论物理,到处都是一片生机勃勃的景象.重要的发现一个紧接一个;很少几个人的一个小组就能进行重大的实验.就在这个时期,做出了许多能够清楚检验粒子物理学中各种对称是否成立的实验.随着宇称不守恒的发现,人们提出了弱作用中在宇称(P)和电荷共轭(C)联合作用下,对称是否得以保持的问题.如果 CP 守恒,则物质和反物质就保持对称.若然,盖尔曼(M. Gell-Mann, 1929—, 美国物理学家, 由于基本粒子的分类和相互作用方面的发现和提出“夸克”理论而独自荣膺 1964 年诺贝尔物理学奖.译注)和派斯在一篇漂亮论文中描述的不同寻常的中性 K 介子系统的性质也就得以保持. CP 守恒的话,长寿命中性 K 介子衰变成两个  $\pi$  介子的反应就不能进行.李政道、Oehme 和杨振宁合作的一篇论文清楚地指出了这一点.寻找被禁止的两体衰变就成了对实验物理的一种挑战.那时(1963 年),没有人对 CP 表示怀疑.由于 Adair 等人发现的反常再生的不寻常结果,刺激 Jim Christenson、瓦尔·菲奇(Val Fitch, 1923 年生, 美国物理学家, 由于发现 CP 的对称而与克罗宁一起荣获 1980 年诺贝尔物理学奖.译注)、Rene Turlay 和我本人提出了要做一个可以大大地改进限定 CP 可能不守恒范围的实验.

我们的实验在 1963 年进行,实验结果于 1964 年 7 月发表.因为使用了火花室新技术,我们的装置比前人的要灵敏得多.我们得到了长寿命中性 K 介子衰变成两个粒子(其中每个的质量等于带电  $\pi$  介子的质量)确凿无疑的证据.1964 年 8 月,伊利诺小组发表了一篇类似的论文.8 个月之后,发表了完全肯定的实验结果.

对我们所获得的实验结果,人们有各种各样的反应.许多论文

想探究是什么原因产生了所观察到的效应. 人们纷纷提出了各种怪异的解释, 许多人试图坚持 CP 守恒. 我的同事瓦尔·菲奇评论道: “我们并未期望有这个发现. 做这个实验时, 我们也未曾料想到它会是这样的一个结果. 最初, 我们还想找出一个能够甩开这个结果的某种解释呢.” 所有 1964 年发表的理论分析文章中, 今天仍被人引用的只有两篇. 一篇就是吴大峻和杨振宁合写的论文, 题目是《 $K^0$  和  $K^{\bar{0}}$  衰变中 CP 不守恒的唯象分析》; 另一篇是 L. Wolfenstein 的, 他认为, 导致 CP 不守恒的是一种“超弱作用”. 其结果是, 只有在中性 K 介子系统中才能观察到 CP 不守恒.

杨振宁和吴大峻的文章分析了与 CP 不守恒有关的中性 K 介子系统中一切可能进行的测量. 他们强调了, 要完全肯定在该系统中 CP 不守恒, 还应该做些什么测量. 他们提出了一系列表征 CP 不守恒的参数, 这些参数一直沿用至今. 他们引进了  $K_S$  (短寿命) 和  $K_L$  (长寿命) 这两种有限寿命粒子的定义, 以区别于 CP 本征态  $K_1$  (偶) 和  $K_2$  (奇). 为了分别地表征荷电及中性两种衰变模式中 CP 不守恒, 他们引进了著名的复振幅比  $\eta_{+-}$  及  $\eta_{00}$ , 它们由  $\eta_{+-} = a_{+-}^L / a_{+-}^S$  及  $\eta_{00} = a_{00}^L / a_{00}^S$  两式定义; 式中的各个  $a$  表示相应衰变模式中的振幅. 这些振幅之比通过  $\eta_{+-} = \epsilon + \epsilon'$  及  $\eta_{00} = \epsilon - 2\epsilon'$  而与两个量  $\epsilon$  与  $\epsilon'$  相联系. 其中, 参数  $\epsilon$  是 CP 偶态在占统治地位的 CP 奇态  $K_L$  中混合程度的量度. 参数  $\epsilon'$  则是两  $\pi$  衰变模式内禀 CP 不守恒程度的量度. 过去几年, 大家在竭力找到 CP 不守恒的第二种表现形式即  $\epsilon'$  不为零, 或者发现某些其他系统中的 CP 不守恒 (如测量中子的电偶极矩, 等等).

在我们发现 CP 不守恒时, 重要的是要有一种系统的分析, 究竟必须做些什么测量才能完全肯定中性 K 介子系统中 CP 不守恒. 吴大峻和杨振宁的文章不去考虑 (更准确地说, 是不去猜想) CP 不守恒的原因, 而是集中力量去选择那些对我们完整地理解所发现现象必不可少的其他测量, 从而建立起完整的唯象描述. 正是

根据这种准确的分析,使实验物理学家得以弄清进一步研究的方向.

在此,我不想深入讨论吴、杨论文的技术细节,也不想重提林总总的实验结果,吴、杨的论文中已包括了这些东西.为庆祝发现 CP 不守恒 25 周年而举行的大会的文集对当前 CP 不守恒问题的状况及其历史给出了全面的评论.在这里,我要对杨振宁表示敬意,他写了这样一篇好文章,不但澄清了 CP 不守恒的发现所引起的问题,而且为过去 29 年以来的实验指引了方向.我们在深入了解 CP 不守恒问题方面进展十分缓慢,但每年都有人完成更精确的实验.吴、杨论文所建议的实验中,最重要的是测量  $K_L$  衰变成两个中性  $\pi$  介子与衰变成两个荷电  $\pi$  介子的比值.最近的实验发现,这个比值与  $K_S$  衰变的对应比值相等,误差小于 0.4%.这个结果表明, $K$ -长寿命原则上是 CP 奇态,混有极少量的 CP 偶态.比值  $\epsilon/\epsilon'$  小于 0.001.这正是超弱力模型所预言的,唯其如此,Wolfenstein 的论文才一直不断被引用.是否可以在粒子物理标准模型的框架内解释 CP 不守恒,目前还不清楚.吴、杨定义的各种参数已经差不多完全精确地测定出来了;或许,我们必须在其他系统中找出 CP 不守恒,否则无法取得进展.

CP 不守恒发现近 30 年了,我们对它的了解并没有多大进展;要进一步研究这个问题,需要用到新的加速器和新的探测器.毫无疑问,杨振宁在评价他自己的工作时 would 认为别人的论文更有意义,但是我希望他本人充分认识他和吴大峻合写的那篇论文对整整一代实验物理学家所起的作用;这一代实验工作者为理解 CP 不守恒作了巨大的努力.写此短文敬献给他的 70 寿辰,这一点正是我所要强调的.

本文作者詹姆斯·W. 克罗宁(1921-- )为美国芝加哥大学物理系及恩里科·费密(Enrico Fermi, 1901 --1954, 美籍意大利物理学家, 1938 年诺贝尔物理学奖的唯一得主)研究所教授. 由于发现 CP 不对称, 与 V. L. Fitch 同获 1980 年度诺贝尔物理学奖. 译注.

陈省身

## 杨振宁-米尔斯方程和 杨振宁-巴克斯特方程

### — 60 余年的友谊

我第一次见到杨振宁是在 1930 年,当时我到清华大学数学系当助教.数学系很小,只有 4 位教授,两位讲师,我是系里唯一的助教.振宁的父亲杨克纯(武之)是系里教代数的教授,我常到他家里拜访.在杨教授家里见到振宁时,他还是个 8 岁的孩子,我 19 岁.我同振宁肯定谈过些话,但接触很少.杨克纯教授不时谈及当时还是小学生的杨振宁爱刨根问底的天性,给我们留下了印象.

由于抗日战争爆发,清华大学 1937 年搬到长沙,翌年再播迁昆明.我到国外学习 3 年之后,回清华任教;而杨振宁则成了清华的学生.1940 年间,他选修我的微几何学,随后还选了研究班的一些高级课程.当时,我正在啃伊利·嘉当的巨著.我明白了“连络”这一概念所起的极端重要的作用,写了几篇关于把连络同一给定几何结构联结起来的论文.我很高兴,我和杨振宁各自的研究工作都同“连络”有关.

为准备这个讲话,我曾试图学习杨振宁的一些著作.但对我来说,物理学始终太艰深难懂了.我想谈的是,从一个数学家的角度来看,我学到了些什么.

## 二 杨振宁-米尔斯方程

这是些洛仑兹流形四维黎曼上复矢量丛中的偏微分方程.未知函数是一个连络(即规范势).把流形记为  $M$ ,为简单起见,假定它是黎曼的.

设

$$\pi: E \rightarrow M \quad (1)$$

是  $q$  维复矢量空间的一个丛,其群为  $U(q)$  或  $SU(q)$ . 在分析上,连络就定义为一个线性微分型的矩阵

$$\omega = (\omega_{ij}^k), \quad 1 \leq i, j \leq q \quad (2)$$

矩阵  $\omega$  是斜厄米型的,即

$$\omega + {}^t \bar{\omega} = 0, \quad {}^t \bar{\omega} = \omega \text{ 的共轭转置} \quad (3)$$

丛群是  $U(q)$ . 如果群是  $SU(q)$ , 则另有一附加性质

$$\text{Tr} \omega = 0. \quad (4)$$

用连络使我们能定义矢量场的共变微分  $\xi^i$  如下:

$$D\xi^i = d\xi^i + \omega_j^i \xi^j, \quad 1 \leq i, j \leq q \quad (5)$$

通过标准的途径,它也定义了丛(1)的张量场的共变微分.

联络矩阵  $\omega$  随变换而定义为

$$\omega \rightarrow \omega' = dgg^{-1} + g\omega g^{-1} \quad (6)$$

式中  $g$  是一个满秩矩阵,它描述局域基的变化,而通过这些局域基,  $E$  被坐标化. 取(6)式的外微分,得

$$\Omega' = g\Omega g^{-1} \quad (7)$$

式中



$$\Omega = d\omega - \omega \wedge \omega \quad (8)$$

$\Omega'$  通过  $\omega'$  而类似地加以定义.  $\Omega$  是一个两型  $(q, q)$  矩阵, 随变换 (7) 而定义. 它叫做连络的曲率 (即强度). 物理文献中,  $\omega, \Omega$  分别用  $A, F$  表记. 据 (7) 式,  $\text{Tr}(\Omega \wedge \Omega)$  是  $M$  中的 4-型.

假定  $M$  是密致的. 下式的数  $K$  是一个整数, 并且是从的一个不变式, 这是特征级中的一个结果:

$$k = \frac{-1}{8\pi^2} \int_M \text{Tr}(\Omega \wedge \Omega) \quad (9)$$

这是所谓陈省身-魏耳理论的一个特殊情形, 该理论给出用局域数据表示的丛的不变式. 这种不变式并不常见, 但在具体问题中很有用.

因  $M$  是黎曼的, Hodge  $*$  算符就得到定义; 我们引入杨振宁-米尔斯泛函

$$YM = \|\Omega\|^2 = - \int_M \text{Tr}(\Omega \wedge * \Omega) \quad (10)$$

杨振宁-米尔斯方程是这个泛函的欧拉-拉格朗日方程. 它们可写为

$$D\Omega = 0, D * \Omega = 0 \quad (11)$$

式中,  $\hat{D}$  是  $E$  里用于张量微分型  $\Omega$  上的共变微分. 必须说明, 上式中的第一个方程就是所谓的辫子恒等式, 它由外微分 (8) 而得出. 存在流的情形下, (11) 的第二式的第二个成员不为零.

当  $q=1$  时, 杨振宁-米尔斯方程变为麦克斯韦方程. 这时, 群为  $U(1)$ , 它是阿贝耳的.

因为  $*^2=1$ , 故  $\Omega$  分裂为

$$\Omega = \Omega^+ + \Omega^- \quad (12)$$

$$\text{其中} \quad * \Omega^+ = \Omega^+, * \Omega^- = -\Omega^- \quad (13)$$

于是

$$YM = \|\Omega^+\|^2 + \|\Omega^-\|^2$$

现在, (9) 式可写为

$$8\pi^2 k = \|\Omega^+\|^2 - \|\Omega^-\|^2$$

故

$$YM \geq 8\pi^2 |k| \quad (14)$$

对给定的  $k$ , 如

$$*\Omega = (\operatorname{sgn} k)\Omega \quad (15)$$

则  $YM$  达到其极小值. 此时, 连结称为自二象的或反自二象的, 也叫做瞬子. 注意,  $k$  的符号由  $M$  的指向决定.

因此, 重要的问题就是求得瞬子, 即方程 (15) 的解; 或者, 更一般地说, 就是在给定  $M$  及给定整数  $k$  的情况下定出所有瞬子的空间.

通过 S. K. Donaldson 定理, 这一问题导致微分拓扑学的一个重要结果. 让我们考虑  $k=1$  时  $M$  上的瞬子空间. 除了某些奇点之外, 这是以  $M$  为边界的一个五维流形. 人们由此推导出, 在  $R^4$  上存在可微结构, 即四维数空间的奇异现象. 已知  $R^n (n=4)$  只有一个可微结构, 即标准结构. 但有  $R^4_{\text{新}}$ , 它对  $R^4$  同胚而不是微分同胚. 事实上, Gompf 和 Taubes 证明, 存在一个这种结构的二参数族.  $R^4_{\text{新}}$  的一个奇异性是: 在  $R^4_{\text{新}}$  中有一致密集  $C$ , 因此, 围绕它没有平滑嵌入球面.

### 三 杨振宁-巴克斯特方程

1967 年, 在研究量子力学可积问题时, 杨振宁导出了如下的矩阵方程

$$A(u)B(u+v)A(v) = B(v)A(u+v)B(u) \quad (16)$$

并求得了该方程的显解, 其中  $A(u)$  及  $B(u)$  是  $u$  的有理函数. 1972 年, 巴克斯特在研究经典统计力学中一个不同的可积问题时, 发现了同一个方程. 近 10 年来, 大家对方程 (16) 进行了广泛的研究, 并

将之命名为杨振宁-巴克斯特方程.

如果  $A(u)$  及  $B(u)$  与  $u$  无关, 则(16)变为

$$ABA = BAB \quad (17)$$

这是编结群 Artin 理论的基本方程, 是结理论的一个重要拓展.

另一些结果是由下面的 Weierstrass 定理推广而成: 如果函数  $f(u)$  是在整个复平面上亚纯的, 而且满足形为(18)的泛函方程

$$P(f(u), f(v), f(u+v)) = 0 \quad (18)$$

其中  $P$  是一个非零多项式, 则  $f$  是椭圆型或有理的, 或者具有  $\varphi(e^u)$  的形状, 而  $\varphi$  是一有理函数.

1985 年, Drinfeld 建立了 Hopf 代数与杨振宁-巴克斯特方程之间的基本关系. Heinz Hopf 证明了, 一个致密群流形的上同调环同奇维球乘积的上同调环一样, 并具有后来称之为 Hopf 代数的特殊结构. 这种代数结构在理论物理这么多领域的可解性方面起着如此根本的作用, 真是不禁令人啧啧称奇!

杨振宁-米尔斯方程和杨振宁-巴克斯特方程引起了这么大的数学兴趣, 我想, 在未来的岁月里, 还会有许多数学家去争相研究它们呢.

#### 四 一首小诗

麦翁<sup>①</sup>磁电魁

杨子<sup>②</sup>规范能

穷究宇宙秘

炎黄不世才

① 麦翁, 指麦克斯韦这位老夫子, 他因建立电磁场的完整理论而永垂不朽.

② 杨子, 指年轻的物理学家杨振宁, 他亦因建立杨振宁-米尔斯方程而会流芳百世. 译注.

陈省身是世界著名的美籍华裔数学家,美国加利福尼亚大学伯克利分校荣誉终身教授、伯克利数学研究所荣誉终身所长。他是美国科学院院士、英国皇家学会会员;1975年获美国国家科学奖,1984年获世界数学最高奖项沃尔夫奖。陈省身于40年代完成了高斯-彭内公式的内在证明和关于示性类的著作,使微分几何取得了突破性的进展。许多数学定理都以他的名字命名,如纤维丛理论中的“陈省身级”等等,说明他在世界数学界有崇高的地位。译注。

## 附 录

### 我与杨家两代的因缘<sup>①</sup>

陈省身

中文大学杨振宁图书室开幕,不可无祝.记与武之先生、振宁两代半世纪的关系,以代贺辞.

我于1930年从南开大学毕业,投考入清华研究院.9月去报到,才知因只有我一个学生,数学系决定缓办一年,聘我为助教.那时数学系最活跃的两位教授,是孙光远和杨武之先生.我从孙先生习几何,比较相熟.杨先生专长代数,有时在办公室谈天,觉得他为人正直,通达情理.那时数学系教员连我在内共7人,曾多次到杨家吃饭,振宁才8岁.

杨、孙二先生都是芝加哥大学博士.清华后来聘请的胡坤升先生也是芝加哥大学博士.振宁就是芝大出身,而我则于1949年到1960年在芝大教了11年.我们同芝大真是有缘了.

我入研究院后曾选读武之先生的《群论》课.那时搞代数的年

① 转载自宁平治等主编的《杨振宁演讲集》,南开大学出版社(1989).

轻人有华罗庚和柯召,在同班。武之先生有时同我们谈到振宁的早慧,往事历历,不禁沧桑之感。

我同杨先生接触较多的一年是1934年。那年他代理系主任,我则从研究院毕业,准备去德国留学。我因论文导师孙先生去了中央大学,成了“孤儿”,办理毕业与留学,不全顺利,杨先生是我在学校里最可靠的朋友。

我同士宁的婚姻是杨先生促成的,1937年我们在长沙订婚,他是介绍人之一。1938年起在昆明西南联大,杨先生是清华的系主任,振宁则是物理系的学生。振宁曾选读过我的好几门课,包括为研究院开设的法国大学数学家嘉当(Cartan)的偏微分方程组理论。联大的学生优秀。那时我的班上数学系有王宪钟、严志达、吴光磊等,物理系除振宁外还有张守廉、黄昆等,这些人后来都有独特的贡献,成为各方面的领袖。“得天下之英才而教育之”,是我一生的幸运。尤其幸运的是这群好学生对我的要求和督促,使我对教材有更深入的了解。振宁在班上是一个活跃的学生。那时中外隔阂,设备奇缺,但是我们的学术生活并不十分贫乏。

事后想来,我们必曾注意到嘉当在1923年、1924年关于相对论的两篇重要论文。他的处理方法可用到任意纤维丛的连络。这也是物理上规范场论的几何基础。40年来这些都发展为数学上的基本概念。

1945年振宁到美国留学。他去芝加哥前,我们曾在普林斯顿相见。

等到我1949年夏去芝加哥任教,振宁在物理系任教员,时常相会。1954年至55年我从芝加哥休假,去普林斯顿一年,振宁在彼。我们见面常谈学问。很奇怪的,杨振宁-米尔斯场论发表于1954年,我的示性类论文发表于1946年,而我于1949年初在普林斯顿讲了一学期的连络论,后来印成笔记,我们竟不知道我们的工作有如此密切的关系。20年后两者的重要性渐渐为人所了解,

我们才恍然,我们所碰到的是同一大象的两个不同部分.

矢量丛的联络已成为数学的基本概念,相信在不久的将来,它将成为高等微积分课程的教材.它的观念其实很简单自然,它有局部的和整体的性质,两者的关系便成为微分几何学家研究的对象.这个观念同物理学的场论自然符合.数学家得到现在的认识,花了几十年功夫,譬如沙漠求泉,得来不易,海底探宝,获珠为难.科学家献身而辛勤,非常人所可了解.他的酬报是得宝后的快乐.

在物理上重要的一个特别情形,振宁与米尔斯能独立看出这些深刻的数学性质,这是十分惊人的.许多物理学家认为物理学家不必读太多数学,因为他们应该能发现所需要的数学.这是一个例子.1954年杨振宁-米尔斯的非阿贝尔(Non Abelian)规范场论是一个大胆的尝试.现在大家公认,物理上的一切场都是规范场.

振宁在基本粒子论另一个重要贡献是他同李政道关于宇称可能不守恒(Non-Conservation of Parity)的建议.他们因此于1957年获得诺贝尔奖.振宁在理论物理领域还有许多重要的工作,都富有独立性与创造性.在理论物理学家中,他以超人的数学能力见长.

我同杨氏父子的关系,有几点值得特别提出的:第一,武之先生促成我的婚姻,使我有一幸福的家庭.第二,振宁在规范场的工作同我在纤维丛的工作,有一共同出发点.我们走了不同的方向,在物理和在数学上都成为一项重要的发展.这在历史上当是佳话.第三,他们每人送我一首诗.社会对我的认识,这两首诗的作用很大.1962年夏天武之先生及杨师母在瑞士日内瓦小住,我专程去看他们,相聚数日.杨先生送我以下的诗:

冲破乌烟阔壮游	果然捷足占鳌头
昔贤今圣遑多浪	独步遥登百丈楼
汉堡巴黎访大师	艺林学海植深基
蒲城身手传高奇	畴史新添一健儿

振宁在一篇文章中为我作了下诗：

天衣岂无缝	匠心剪接成
浑然归一体	广邃妙绝伦
造化爱几何	四力纤维能
千古寸心事	欧高黎嘉陈 <sup>①</sup>

最后一句不敢当，姑妄听之而已。

1986年春，天津南开大学授予振宁名誉教授名义。他来南开，并参观南开数学研究所。我们决定在所中成立理论物理组，由他指导。先后50年，从联大到南开（南开是联大的一员），造物待我们厚矣。

---

① 意思是说，陈省身在历史上与欧几里德（Euclid，公元前约300年，古希腊数学家，《几何原本》的作者）、高斯（C. F. Gauss，1777—1855，德国数学家，对代数、数论、天文、电磁理论和大地测量都有重大贡献）、黎曼（G. F. B. Riemann，1826—1866，德国数学家，黎曼几何学的创立者）和嘉当（E. J. Cartan，1869—1951，法国数学家）等伟大数学家齐名。译注。



吴健雄

## 杨振宁教授七秩大寿

获邀参加杨振宁教授 70 大寿生日庆祝会,甚感荣幸。然而,我仔细一看请柬,心中又不免惶恐;因为这次盛会的名称是“国际研讨会”,我却未作好准备去参加什么研讨会。

今年(指 1992 年,译注)五六月,大批旅美中国物理学家回到大陆访问,出席分别在南京、上海和北京举行的一系列生日庆祝会和周年纪念会。袁家骝和我在 6 月中旬回到纽约家里,发现一封邀请我们参加杨教授生日庆祝会的信件。

“ $\beta$  衰变中宇称守恒被推翻”一事,是 1957 年 1 月宣布的一项理论物理和实验物理联合研究成果,迄今有 35 年了。对这个课题,已经有许多总结文章。新竹清华大学的刘校长提议,我最好能写些有关教育,尤其是旧日中国科学教育的事。这个建议使我记起高中时学过的非常睿智而又令人感动的诗句:

1. 岁寒松柏古栽培  
    异日必然成大器

2. 十年树木  
    百年树人

杨振宁教授 1922 年生于安徽省合肥。那时，他父亲在怀宁（今安庆）任教，故给他取名“宁”。振宁 10 个月大时，父亲就负笈到美国芝加哥去攻读数学。1928 年回国后，他携振宁母子到福建厦门。翌年，他们搬到北京，振宁的父亲在清华大学教数学（今天，新竹清华校园同北京清华校园一样，都非常美丽）。随后 8 年，杨家就住在“水木清华”的教师宿舍区。清华大学一直以校园秀美著称，那里是孩子们的玩乐天堂。振宁后来曾写到，他记得校园里的一草一木。

本世纪 20、30 年代，中国内政外交都遇到了大问题。内政方面，军阀混战；外交上，日本军队在东北频频侵犯。最后，发生了 1937 年 7 月 7 日的卢沟桥事变，日本军队成军入马通过卢沟桥入侵中国。那是一条美丽的石桥，两旁的大理石护栏装饰着许多雕刻的龙柱。

于是，杨家迁回家乡合肥。就在这个时候，蒋介石委员长终于宣布开始抗日战争。我国政府深知自己的军队无论从训练上或是装备上都未作好准备，便采取焦土政策。位于沿海大城市设备良好的大学和研究机构搬迁内地，以便能继续办学。要把师生（包括老弱妇孺）和装备经过长途跋涉迁入内地，真是大不易。况且，内地并没有新建的校舍在等待他们。但是，搬迁毕竟顺利完成。在中国西部，许多新校园建立起来了。校舍只不过是些简陋的临时课堂和宿舍，但师生纪律严明，校风严谨，水平很高。教学水平如此之高，今日实难想象。每当想起在西南联合大学当学生的日子，振宁心里总是充满感激之情。西南联大由播迁到边陲城市昆明的北大、清华和南开三所大学联合而成。赵忠尧教授（来自清华）是他的大一物理教授。赵教授在美国加州理工学院取得博士学位，并在 1929 年第一个检测到电子-正电子湮灭时发出的辐射。

大二时，另一位著名物理学家吴有训（也来自清华）教振宁电磁学。吴有训因为在芝加哥大学同康普顿（A. H. Compton, 1892 - 1962，美国物理学家，1927 年诺贝尔物理学奖得主。译注）一起工

作而成名,后来曾任国立中央大学校长和中国科学院副院长。二年级时,振宁还有一个非常好的老师教他力学,那就是周培源。后来,周培源也当了中国科学院副院长。

在振宁读三四年级时,一位青年理论物理学家王竹溪先生刚从英国回来。王先生成了杨振宁的硕士论文导师。振宁的学士论文导师是吴大猷教授(来自北大,现任中央研究院院长)。吴教授最近说,1941年,他的书桌上有一本《Review of Modern Physics》杂志,其中一篇论文是关于分子光谱学的。吴教授把那本杂志交给杨振宁,并说:“把它拿回去,读读这篇文章,看看你能否从中得到些什么。”振宁把它带回家研读。父亲问他:“你在读什么?”振宁答:“这是吴教授让我读的一篇关于分子光谱学及群论的文章。”振宁的父亲是位数学家,对群论很熟悉。他说:“书架上有一本狄克逊写的代数学教程,里面有群论的内容。”这就引导杨振宁走上了对称物理之路。

对于一个聪敏而才气横溢的年轻人,有这样的家学渊源,在大学和研究生阶段又有如此众多的大师和最好的物理学家教导和指引,用杨振宁自己的话来说,真是三生有幸。

让我们祝他生日快乐,并希望他像他的师长那样,反过来在全世界教导和培养出许许多多才华横溢、训练有素的学生。我们祝他健康长寿,桃李满天下。

本文作者吴健雄1912年生于江苏上海县,美国加利福尼亚大学伯克利分校博士,弱相互作用的实验权威。1957年,正是她领导的一个科学家小组证实了弱作用中宇称不守恒,从而导致李政道、杨振宁荣膺当年诺贝尔物理学奖。她的这项实验震惊了世界物理学界,因而使她荣获普林斯顿大学、耶鲁大学、哈佛大学等12所美国著名大学的博士学位。1958年她当选美国科学院院士,1975年

当选美国物理学会会长，同年获美国总统福特颁赠国家科学勋章；1991年被哥伦比亚大学授予代表科技界很高荣誉的普平奖章。为了表彰她对科学的巨大贡献，1990年5月中国科学院南京紫金山天文台将该台在1965年9月20日发现的一颗小行星命名为吴健雄星。她1958年出任哥伦比亚大学教授直到1982年退休，现在仍为哥伦比亚大学物理系荣誉教授。译注。

弗里曼·J·戴逊

## 杨振宁教授 70 寿辰献辞

下面是我对杨振宁教授 70 寿辰的贺辞。40 年前，杨振宁发表了一篇论文，准确地计算了二维易兴铁磁模型的自发磁化。他的计算结果以其美丽的简洁使我们啧啧称奇；他的计算本身则以其漂亮的复杂使我们震惊。这项计算是一位巨匠所做的雅可俾椭圆函数的一种练习，而得到的结果则是一个简单的代数表达式，完全看不到椭圆函数的任何痕迹。读完这一令人惊愕的五光十色的数学炫耀之后，我感到有点失望：杨振宁为何要选择这么一个不重要的问题来浪费自己的才能？当时，由于少不更事，我竟口出狂言：如果杨振宁能选择一个非常重要的课题并作出同样漂亮的工作，那么，他就真的有点像一位科学家了。这以后，我有幸注视着杨振宁如何比自己高出一头，成为一个世界水平科学家的经过。仅仅两年之后，他就找到了一个与他的天赋相称的重要问题并将之解决。他以 1954 年发现的非阿贝尔规范理论奠定了一个坚实的基础，经过许多常常以失败告终的相互竞争的尝试之后，终于在这个基础之上建立了粒子相互作用成功的统一理论。通过规范场和粒子对称性的工作，他向我们展示了，把对自然界的深层次了解同美丽的数学技巧结合起来是可能的。

自从关于易兴铁磁模型的论文发表以后 40 年来,杨振宁不断就重要或不重要的问题做出了漂亮的工作.除了对粒子物理和多体理论这些中心问题做出了巨大贡献之外,他通过不断解决不重要的问题而使自己的品味沉湎于经典数学之中.他依然喜爱错综复杂的椭圆函数之巴洛克<sup>①</sup>音乐,即他在 1952 年那篇论文中玩奏的那种音乐.我用这些话来庆祝他的 70 岁生日,希望他在解决另一个不重要问题时能继续从这种音乐中享受到乐趣.

本文作者弗里曼·J.戴逊是美国普林斯顿高等学术研究所资深教授,著名的理论物理学家.他的最大贡献是同朝永振一郎(1906—1979,日本物理学家)、兴格(J. S. Schwinger, 1918—,美国物理学家)和费因曼(R. P. Feynman, 1918—1988,美国物理学家)一起提出了量子电动力学的重正化方案.1965 年,诺贝尔委员会把诺贝尔物理学奖授予朝永振一郎、兴格和费因曼,但没有同时承认戴逊的贡献,是不公平的.因为前三位只做了低阶的计算,并没有完成重正化方案.是 Dyson 对问题做了深刻分析,指出了症结所在,并做了非同小可地艰巨的高阶计算,才完成了量子电动力学可重正化的证明.译注.

---

① 巴洛克,1550—1750 两百年间,在欧洲流行的一种艺术和建筑风格.译注.

爱德华·泰勒

## 杨振宁教授 70 寿辰贺词

振宁,你同我在一起的那些岁月,是我生活中一段最美好的时光.这里我想回顾一下那个时期及其前前后后,我还有一个弄不明白的问题希望大家讨论讨论.

### — 回忆

你到芝加哥时,我明白你决心要帮助你的祖国——中国——发展物理学.那是共产党取得政权之前的最后一段时间.由于我们的好朋友 Robert Mulliken 的推荐,我很高兴地建议您做一个理论物理方面的博士学位课题.但你却认为做实验课题更实用.就这样定了下来.

事情并不那么顺利.看来,你在理论方面非常优秀,实验技能则不敢恭维.我甚至听到了关于你在做粒子物理实验时的一些流言蜚语,至今仍能清楚地把它背诵出来:

哪里炸得乒乓作响,

那里准有杨振宁在场.

过了不久,你到办公室告诉我,你读了我跟 Konopinski 合作

的论文“对  $D+D$  反应的若干理论考虑”。文中，我们论述了核反应的产物里，角动量与角分布之间的一种关联。你说你可以给出证明，我要求你把它写下来。你用了不到 4 页纸就把这个漂亮的证明写好了。

我知道你的实验遇到了困难，便建议你用这项工作作为博士学位论文；它是一篇好文章，只是稍嫌短了些（我通常都不要求别人写长文章）。我特别建议你证明推广到量子数为半整数的情形。你不费吹灰之力就做到了这点，只增加了两页纸。就这样，来来回回折腾了几个星期，直到论文达到 13 页纸，我才鼓励你把它呈上去申请答辩。这是我指导过的最优秀，而且也是最短的一篇博士学位论文。

正好，我同恩里科·费密对文章的长短和内容孰轻孰重的口味并无差别，这使事情好办多了。

这是故事的开头，至于它的结局如何，那是全世界都已耳熟能详了的。

## 二 问题

这里提出的问题是近 60 年来我一直在冥思苦想的，同时，它也一直困扰着物理学界。问题涉及狄拉克（P. A. M. Dirac, 1902—1984，英国物理学家，1933 年度诺贝尔物理学奖得主。译注）的磁单极。正如狄拉克在他那篇闻名世界的论文结尾提出的，“自然界没有利用这个可能性吗？”我的问题则是：“或许，自然界已经以其隐蔽又狡诈的方式利用了这种可能性？”

人们常常假定，磁单极之所以不露面是因为它那过大的质量。也许如此！但还有另一种可能性。按照最神圣的原则，两个不同的磁单极成对地产生应该是它们湮灭过程的逆转。磁单极同电荷之不同在于， $\mu^2/\hbar c$ （ $\mu$  是磁荷）等于 34.25，而  $e^2/\hbar c$  很小。但是，它们



之比值恰巧等于经典半径  $\mu^2/mc^2$  同康普顿半径  $\hbar/mc$  之比。因此，在经典力学而不是量子力学适用的范围内，单极、反单极对获得负的能量，在单极、反单极仍具有正能量并且仍属于非相对论性的范围内，它们可以被描述成在开普勒轨道上运转并周期性地发射能量。被发射的那一份能量大约等于其本身能量的  $v^3/c^4$  倍。质量为零时（接近经典半径），已经发射了许多量子，所以早已达到了不合理的负能态，质量也为负值，力和加速度反方向平行。随着单极子趋向于经典半径，速度  $v$  趋近  $c$ ，单极-反单极对在一个周期里发射的量子数目为  $\frac{\mu^2}{\hbar c} \frac{v^2}{c^2}$ ，这就是问题的本质。这个过程不须用量子化来描述。因此，单极-反单极对的湮灭本质上是可以经典物理描述的，反过来，它们的产生过程也一样。从而，单极-反单极对通过单一量子而产生的情况可以忽略不计。

对孤立子模型来说，情况也一样。这时，单极子是由半经典场造成的复合粒子（例如 t'Hooft-Polyakov 模型）<sup>①</sup>。然而这种情况下，复合粒子的场在单极子的经典半径内看上去不再是单极的，并且，在孤立子的结构之内将会发生湮灭，负能态得以避免。

下面，我转到假设的点单极和对产生的问题上。我的结论是，如果存在单极-反单极对产生的过程，那么，它不会是通过吸收一个量子而发生的。它很可能在许多量子同平行磁场位相的相互作用中产生。如果确有单极-反单极对的产生，人们可以通过两个铀核的近距离逼近而找到这种情形。这两个铀核是在重离子对撞机里产生的，其中， $\gamma$  值可达到  $100 \left[ \gamma = \left( 1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{-1/2} \right]$ 。在这种情况下，两核之间的电场互相抵消，在核的表面，两核的磁场值比电场值大 100 倍。

① 撰写本文时，在总的方面，特别是内容上得到我的好朋友、劳伦斯·利弗莫尔国家实验室的物理学家 Steve Libby 不少指教，谨致谢忱。

我从  $\gamma$  值不是 100 而是接近 1 出发, 稍为考虑过这种可能性. 考虑到单极的高荷和铀的高电荷, 我发现产生单极-反单极对的过程可以发生. 事实上, 估算一下经典半径  $\mu^2/mc^2$  范围内的电磁密度就可得知, 只要单极的质量同质子质量相当, 这种磁单极对产生的过程就是可能的. 增加  $\gamma$  值于事无补, 靠得近的一对可以产生出来, 但只要有一点动量, 就可以把它们扯开. 场强随  $\gamma$  增加而增加, 但碰撞时间则按  $1/\gamma$  减小. 因此, 可用来使磁荷分开的动量保持不变.

因为单极的质量可能大于质子的质量, 所以对产生过程将不会发生. 但在虚态中的产生过程将会在朝前和朝后两个方向发出强烈的电磁辐射, 即使虚态仅被微弱地激发, 上面所说的这种辐射同电荷所产生的辐射之间的干涉现象应该观测得到.

狄拉克已不在人世, 我对他的问题回答如次: 或许, 自然界已经利用了磁单极这一可能性; 但同时, 自然界却使得找到磁单极存在证据的这件事变得极端困难, 因为这种证据是转瞬即逝的.

祝你长寿, 但愿我们两人有许多机会在一起讨论问题.

本文作者爱德华·泰勒是美籍匈牙利人, 著名的物理学家, 被称为美国氢弹之父. 译注.

## 附 录

### 对杨振宁甫渡人生半世的贺辞<sup>①</sup>

爱德华·泰勒

有机会在我最优秀的一位学生 60 岁生日时致词祝贺,真是非常高兴.可是,麻烦的是,这不是他的 60 岁生日.他的 60 岁生日是哪一天,不能确定.我听说,那是 9 月 22 日,可又听说,是 10 月 1 日.不过,如果我不能再找出一个疑难点,那便算不上一位理论物理学家了.大家知道,对于一位理论物理学家的诞生来说,重要的不是日历,而是他的思想在什么时候开始形成,这是非常难以确定的.在杨振宁的情形,我捉摸要不是他开始考虑左和右之间的不同,就是他考虑物质和反物质之间区别的时候.所以,按照定义,我们可以说,这才是他的 60 岁生日.

我知道,他已经给你们谈过他的生活经历,这样,我也没有什么好说的了.但是,有一天他来到芝加哥,看来想要当理论物理

---

<sup>①</sup> 译自《Gauge Interactions Theory and Experiment》edited by A. Zichichi, Plenum Press (1984).

学家并有兴趣听取我的意见。于是，我向他提出了许多很有意思的课题。它们究竟算什么课题，我可不能肯定。我相信其中一个课题是铍的  $K$  俘获，以及铍受到压缩时这种俘获如何改变。这在当时是一个颇为不落俗套的问题。杨振宁把它给解决了，还将其结果向包括费密在内的一批人做过报告。不过，他没有用这篇论文去申请学位。接着，我们考虑了原子核在强烈撞击下被加热后的蒸发。随后，我们又考虑过氘、锂 6 和铍 10 的磁矩，它们之间都相差一个  $\alpha$  粒子。这都是些古里古怪的想法。

后来有一天，杨振宁找到我，说：“我总得回中国去。回国后，我觉得理论物理没有什么用。中国需要的是实验物理，所以我要做这方面的工作。”于是，杨振宁舍弃了我，转而跟随 Allison。很快就传出了关于他的一些逸事。在理论物理方面，他已经开始做出许多绝妙的研究工作；在实验物理方面，他也开始做出另一种“绝妙”的活计，一首短小的打油诗形象地描述了这些绝活，至今我仍能背得下来。这首打油诗是：哪里炸得乒乓作响，那里准有杨振宁在场。由于这个原因，他很快就得了个“黄色危险品”的绰号。我听到了这些流言。在还未得知这些情况时，我有其他两位理论物理学生，他们也很优秀，都同实验有缘。对他们来说，实验是终生的事业。

其中一位叫 Marshall Rosenbluth，是杨振宁的好朋友，他写了一篇关于某种像介子那样古老而陈旧事物的论文。除非它们迷人，否则我们就不再谈论这些事物。Marshall 比杨振宁迟些得到学位，而杨振宁则稍稍帮助过他。杨振宁不仅在 Marshall 撰写学位论文时给予帮助，而且，后者写完论文时杨振宁已经是一名教员，参加了论文的评审工作。不过，Marshall 并没有停留在纯物理领域。他深深地卷入了等离子体及可控核聚变等学科中。今天，他已成为这引人注目领域的最出色的理论家。如果今日有谁能理解可控核聚变实验的话，那非 Marshall Rosenbluth 莫属。

我的另一位学生 Arthur Kantrowitz 真的成了实验物理学家。

他年长一些。我同杨振宁相识之前几年，他就到哥伦比亚大学投靠我的山门。Kantrowitz 曾同我谈及二氧化碳气体中冲击波的一些非常有趣的结果。那时，还没有一个理论物理学家知道任何有关冲击波的事情。我知道一丁点，因为另一个匈牙利人西奥多·冯卡门（Theodor von Karman, 1881--1963, 杰出的美籍匈牙利物理学家，1911 年完成卡门涡街的研究，在流体力学、湍流理论、超音速飞行、工程数学、飞行器结构和土壤风蚀等方面均有重大贡献。译注）把情况告诉了我，他做了许多有关飞行的研究。因此，我能聆听 Kantrowitz 的叙述，并说：“这非常有趣。”Arthur 问我：“你认为以此作为学位论文行吗？”我回答：“这肯定可以作为一篇学位论文。”他又问：“就请您做我导师好不好？”我说：“有关冲击波的问题，你知道的比我多 100 倍，我怎么能当你的导师呢？”他说：“您瞧，我找过许多人，他们甚至连听也不愿听我说。请您就当我的导师吧。”

这样，我就成了他的导师。后来，他得到了哲学博士学位。他做流体力学的研究，随后又转到激光上来，成为美国最优秀的应用激光专家。现在，他不再研究激光，因为他有一个想法，一个非常好的想法。我们正在为各种各样的事情奋斗，例如基因工程、水的氟化、低强度放射性，还有其他许多烦恼。对这些问题，我们不能取得一致意见，人人都感到困惑。Kantrowitz 说：“让我们建立一个科学法庭，用一种使人感兴趣的方式讨论这些事情，这样，人们就有心思去倾听。这将十分有益。”他正为此而奔波，不再研究激光了。

对杨振宁来说，事情就不同了。过了一段时间，他回过头来找到我，说：“您知道，您同 Konopinski 不久前合写了一篇论文。文章里，你们怀疑核反应中，出射粒子的角分布同角动量的变化有一定的关系。对此我可以给出证明。”我说：“好吧，你就给我证明出来吧。”他走到黑板前，不消几分钟就把证明写了出来，事实上，他的证明非常干净利落。我接着说：“听说你的实验进行得不怎么顺利，你把这写成一篇学位论文不是很好吗！”杨振宁迟疑了一会儿，说：

“我试试看。”

两天后，他带着一篇 3 页纸长的学位论文回来了。一、二、三，3 页纸，颇长吧，是吗？大家知道，那时在芝加哥我们有一条奇特的惯例，学位论文比这要长。于是，我告诉杨振宁：“你看，这是一篇好论文，但是，你是否能把它写得长一点呢？譬如，你是否能把它推广到角动量变化为半整数的情形？”杨振宁走了，回来时带了 7 页纸长的论文，把半整数角动量的情形包括在内。我非常粗鲁地对他说，他应该把论证写得更清楚详细些。其实，我不该这样说，因为论文已写得足够清楚了。经过许多争论之后，杨振宁走了。过了很长时间，大约 10 天左右，他带回了一篇 10 页纸的学位论文。这时，我不再坚持。他取得了他理所应得的哲学博士学位。

我要说，在随后发表的论文中，杨振宁保持了每一页都浓缩着许多思想的这种风格。如果他写一篇长点的论文，那只是因为他有更多的东西要说，就像左右对称或不对称这个问题那样，我在前面已提到过这一点。

如果不提及杨振宁和米尔斯关于把规范不变性推广到同位旋及不可对易变量的那篇著名论文，我就无法谈论杨振宁的研究工作。归根结蒂，他们的这篇文章已经成为几乎所有进一步讨论的基础。我愿意提议，杨振宁应该再次获得诺贝尔奖。还有他讨论过的其他课题，例如状态方程，都是非常饶有兴味的。

但是，有一件给杨振宁的生日礼物正在制作当中。大家知道，他和我们许多人一样，一直对狄拉克原先发明的磁单极感兴趣。也许你们已经听到了，但我还是要详细地给大家说说，斯坦福大学的一位物理学家 Blas Cabrera 看来已经找到了磁单极。下面我把他的实验给大家做个介绍。他做了一个超导回路，为节省时间起见，我不谈及细节，只是说，如果那是一个单网孔的回路，则超导体中的电流应跳跃，同时引起两个磁通量子的改变。但 Cabrera 的回路不只 1 孔而是 4 孔，因此他预期 8 个量子的跳跃。但他没有观察到

这一点，他等待着，得到了一个小的跳跃，这可解释为他的仪器不够完美。但是，还得到了好像是三分之一跳跃或半个跳跃。半年后，他发现了一个接近 8 个量子的跳跃。在最小的那些跳跃当中，他看到的最大的是 0.4；但随后他却看到一个 7.6 的。除非你承认，一个磁单极真的穿过了回路，否则，这种跳跃着实难以理解。包括 Cabrera 本人在内的许多人正在建造更大的回路以便捕捉更多的磁单极。如果我们能够找到一个或更多磁单极，就可做许多真正妙不可言的工作。

下面我要谈谈磁单极问题，但不会占用许多时间。大家都听到，杨振宁说如果我们只要得到一个磁单极，就可以捕捉一个电子和一个正电子并制造一架永动机，花费  $2mc^2$  而回收比这稍多一点的能量。好了，这无疑是我听到过的解决能源危机的最好办法。如果我把它稍为不准确地称做一架永动机，请你们原谅我，你们大家已经讨论过这一论题。但我要谈谈关于磁单极的其他也很有趣的实验。

其中一个是我的朋友路易斯·阿尔瓦雷兹 (Luis W. Alvarez, 1911—, 美国物理学家。因为他对基本粒子物理学的重大贡献，尤其是通过改进氢气泡室和数据分析技术而发现许多共振态，成为 1968 年诺贝尔物理学奖的唯一得主。译注) 提出的。他说，如果我们得到一个磁单极，那该多好。我们可以用某种办法捉住它，让它在磁场里加速，用一座廉价的装置就可以获得巨大的能量。然后，我们可以在一个注满水的小游泳池里捉住它，把它带回来，重复这种实验。这样，我们可以轻易地得到  $10^{12}$  电子伏的能量，真正在物理学领域内取得一个小小的进步，比通常的办法少花几个钱。

然而，我们会遇到一个困难。大家相信，这个磁单极重了一些，但我不敢肯定在这一点上我们是否正确。我想，通常这个数值是  $10^{17}$  京伏。你一旦得到一个磁单极，就不会轻易地失掉它，除非它遇到了一个反单极。遇到反单极时，它就要湮灭，湮灭能量大约相

当于 9 千克 TNT 炸药的威力,我不敢说这个估算十分准确.在这一点上大家不太一致,我们会失去这个单极和这个反单极,很遗憾,在此期间我成了政治家一类人物,所以想出了一个政治性的解决办法.

让我们同苏联人订立一个条约,让西方拥有全部单极而苏联人拥有全部反单极.这样,我们就不会遇到麻烦了.同苏联人交往总是会引起麻烦的,但是,如果用铁幕同他们分隔开,庶几可相安无事.这样做还有另一个好处.如果准确地按照我所说的去安排,则苏联人就破天荒第一遭完全有理由把我们称为垄断资本家<sup>①</sup>.

下面,我想稍为更深入地谈谈物理学.不过,并不像杨振宁在那间大演讲厅所讲的那么深入.在这方面我并不同意他比试.他求得了狄拉克方程中电子的束缚态.而在薛定谔(E. Schrödinger, 1887—1961,奥地利物理学家,因建立量子力学而与狄拉克分享1933年诺贝尔物理学奖.译注)方程中,这同一个问题讨论起来也不难.至少,较高的激发态可能在薛定谔方程中有某种意义.于是便有下列结果.在薛定谔方程中,由于吸引力随 $\frac{1}{r^2}$ 而变,你可以很容易地处理问题.事实上,我在很年轻时就写过一篇论文,证明了,如果一种势不如 $\frac{-h^2}{8mr^2}$ 深的话,就不可能求得束缚态的解;此处  $m$  是折合质量.但是,如果势阱处处都比上述那个要深的话,你就可以在距离增加或减少时求得无限多的束缚态.当然,在距离减少情况下求得的束缚态没有什么意义,因为它们迟早总归要用到相对论性的方程.这时,薛定谔方程不再适用.不过,正如我说过的,直到那一点之前,薛定谔方程还是有效的.而 $\frac{1}{r^2}$ 正是电子的单极与偶极之间的相互作用.恰巧,这也是电子或质子的电场与单极所应具

① 这是一句俏皮话,利用了 monopole(单极)和 monopolist(垄断资本家)两个英文字形的相似,同时应了上面说的全部 monopole 都归西方所有的说法.译注.



有的电偶极之间的相互作用,如果单极是由狄拉克方程描述的话。于是,表达式就同薛定谔近似的一样,即  $\hbar^2$  的  $\frac{1}{8}$  再除以  $mr^2$ , 其中  $m$  为折合质量。

但是,对电子来说,这种相互作用不够强。在薛定谔近似中,你得不到任何束缚态。此外,如果你把  $\frac{e\hbar}{2mc}$  这个磁子当做电子的磁偶极矩的话,也得不到任何束缚态。要得到一个束缚态,你至少需要两个或比两个稍多一点的磁子。但这样一来,对最低可能角动量(杨振宁证明,它等于  $\frac{1}{2\hbar}$ )而言,你就得到无限多的束缚态。所以,在薛定谔方程中,电子不可能被束缚住<sup>①</sup>。质子可以被束缚住,因为它有 2.7 个而不仅仅是一个磁子;但在最低角动量态中,你要多少径向激发态都行。只是,它们的结合能迅速减少而已。反之,中子有 1.8 个磁子,它不能被束缚住;质子可以束缚,而中子没有被束缚,这样,中子最终将被质子吸引过去。

这正是对路易斯·阿尔瓦雷兹另一个实验的一种可能的解释。他有一个极妙的想法:如果有一个磁单极藏在这只烟灰缸里,那么,只要在烟灰缸周围绕上一匝回路,你就能得到可以观测的电流。他选择了各种各样的物件,从没有发现磁单极。他甚至用到月球岩石标本,也未能找到磁单极。那么,为何 Cabrera 找到了一个磁单极而阿尔瓦雷兹却不能?我不知道个中原因,而大多数人认为 Cabrera 可能犯了错误。顺便说一句,为了庆祝杨振宁的正式生日,我希望能找到第二个磁单极,这样,人人都会相信它的存在了。

但是,问题在于,如果存在磁单极,为什么阿尔瓦雷兹没能找到它们呢?我有一个古怪但可能是错误的想法。质子可以被束缚,它们可以被束缚在低能态;而在高能态,某一区域内不是相对论性

---

<sup>①</sup> 看来,这同狄拉克方程所得到的结果相吻合,即用矢势表示的纯磁场对电子来说不能给出束缚态。

的,我们毫无问题可以把质子看成是一个质点而不是三个夸克,同时,可以把质子想象成一个具有偶极的点.事实上,在能量降到足够低,热相互作用或其他效应将把它们分开之前,少数质子可以用这种方式束缚住.一旦有几个质子在磁单极附近结成团,中子将被吸引过来(仅仅用磁场不能把它们束缚住),然后被质子束缚住.这样,你可以开始生成一个原子核,一个把磁单极围绕在中心区域的真正的原子核.这种情况发展下去,就会俘获更多的中子.如果俘获的中子太多,它们就会发生 $\beta$ 衰变而变成质子.于是,便得到铀或超铀元素.最终,会得到核裂变.

在1微米范围内的裂变可以把晶体熔掉,包含在某一碎片中的磁单极将获得自由.获得自由的磁单极将沿着地球的磁场移动一小距离并最终进入地球的内部.大概在某些地方,例如地球的熔岩芯会有许多磁单极,而我们只能偶尔逮住他们中的一个.如果我们能做到这一点,即能逮住它们,那将是很有用而且很有趣的一件事.

我想,我说的比原想要说的多了一些.所以,我不再胡诌废话,只用几句非常实际和非常严肃的话就此打住.这是犹太人的一个古老习俗,别人过生日时要对他说:我盼望在你120岁生日时祝你快乐<sup>①</sup>.杨振宁人生及半的时候,我能对他表示祝贺,感到特别高兴!

本文作者当时是斯坦福大学胡佛研究所高级研究员.译注.

① 分子生物学的发展可以使这一古老习俗变成事实.

约翰·S. 托尔

## 杨振宁教授在一座优秀大学的发展过程中所起的关键作用

这本文集中,许多文章谈的都是杨振宁教授对理论物理的伟大贡献.使杨振宁名扬四海并受人尊崇的,正是他这些非凡的各色各样造诣极深的科学成果.但是,借庆祝他 70 寿辰的机会,我们来表彰另一重要方面即他的伟大服务精神,看来也是合适的.

本文要概括地谈谈杨教授在一所优秀大学的发展过程中所起的关键作用.照我看,1965 年他决定加盟纽约州立大学石溪分校,并且为学校贡献他那惊人的才干,是石溪分校发展过程中最重要的一件事.1965 年以来,杨教授所做的每一件事都有两重意义:他对科学和社会的许多贡献不但本身非常重要,而且为在他身边成长起来的这所大学定了调.

当然,其他许多人为建立石溪的学术环境和强大的阵容也作出了巨大的贡献;不过,在这里我不想面面俱到而仅限于谈及杨振宁所起的关键作用.即使仅限于这一内容,本文也无法做到包罗万象.我只希望我的概括能说明杨振宁是怎样为“优秀”定下标准,然后学校里其他人如何为达到这个标准而努力追求.

1962年,纽约州立大学开辟了一个新校园,把原先位于蚝湾镇种植场的一所毫无办学经验的二年制学院迁到更东边的新址,那就是长岛北岸布鲁克海文镇的石溪。

以 Henry Herald 为首的一个委员会 1960 年向纽约州州长和州议会呈交了一份报告,根据这个报告的宗旨,这所学院搬迁后,它的使命也跟着改变了。这个委员会制定了一个目标,通过招收文学艺术、科学和工程专业的博士研究生而把学校真正办成一所重点大学。这正是教师们朝思暮想的事情。1964 年,根据以 Malcolm Muir 为首的另一个委员会的建议,纽约州当局规定学校必须再加上一个医疗科学中心,包括医学、牙科、护理、社会工作、与医疗相关的专业,以及基础医学等专业;此外还要有一个大学附属医院。因此,长岛中心要办成一所综合性的研究大学。

然而,创办一所优秀大学需要许多杰出学者的共同努力。幸而,在物理学等领域,已经形成了一个好的核心;精力充沛的物理系主任 T. Alexander Pond 立定主意要把他的系办成美国最好的物理系之一。迁到石溪 20 年之内,这个系的研究生院已成为美国东海岸公立大学中最优秀的研究生院。达成此目的之最关键一着就是搬到石溪两年后,能把杨振宁教授礼聘过来。请让我把个中缘由细细道来。

我们的学校靠近布鲁克海文国家实验室,杨振宁教授夏天常到那里工作,他因而认识石溪分校及该校的许多教师。1965 年春, T. A. Pond 通过游说纽约州科学技术基金会拨款用于邀请杨振宁教授到石溪分校作访问教授而加强了这种联系。

但这仅仅是最初的一步。1965 年,在州长尼耳逊·洛克菲勒的领导下,纽约州在大学里设立了 5 个杰出科学讲座职位,命名为“爱因斯坦讲座教授”;在人文科学领域,设立了 5 个同样的“施韦策 (Albert Schweitzer, 1875—1964, 德国神学家、哲学家, 1965 年诺贝尔和平奖得主。译注) 讲座教授”。纽约州内各大学都可以争取

设立爱因斯坦讲座教授职位,竞争得手的学校每年可获10万美元的拨款,这在当时确实是一笔可观的数额,足够开销杰出学者的薪酬以及支撑这个计划的其他一些费用。

自然,纽约州内各大学都希望赢得州政府特别设立的这些讲座席位。但是 T. A. Pond 和 Max Dresden (1964 年来到石溪) 为在石溪设立爱因斯坦讲座而提出了一项强有力的建议。那时我参加了该小组的活动,分担了游说杨振宁教授的工作。我们请求杨教授同意,一旦争取到爱因斯坦讲座,他就接受这个席位。把他表示首肯的回信附到石溪的申请书上,一下子就使石溪比任何其他大学处于更强有力的竞争地位。因为大家普遍承认,杨教授是世界上顶尖的理论物理学家,能把他吸引过来,对纽约州来说无疑是大大地前进了一步。因此,第一个爱因斯坦讲座教席便于 1965 年授予纽约州立大学石溪分校。

许多人对杨振宁教授接受爱因斯坦讲座教席感到大惑不解。杨振宁在恩里科·费密的指导下获得芝加哥大学哲学博士学位后,立即就得到了普林斯顿高等学术研究所的任职机会并成为该所处于领导地位的一位理论物理教授。对大多数科学家而言,像爱因斯坦晚年那样在高等学术研究所担任一名教授,是一个理想的职位。杨教授在那里干得很好,但我们感觉到,他希望同学生们有所接触,而大学的教席则使他能得到这种接触。我们说,杨振宁来石溪将会对我们这所新大学的“定调”施加巨大影响,杨教授对此表示赞同。我们真诚地认为,来到石溪会令他更成效百倍,为学校的发展设定长久的方向,使石溪成为美国最卓越的大学之一。

我是 1965 年就任纽约州立大学石溪分校校长的。正式上任的第一天,我就成功地谈妥了有关设立爱因斯坦讲座教席的具体事宜。这使我非常高兴。这样来开始我的任期,真是再好不过了!我认识杨振宁已经多年。我知道,他不仅像世界上其他物理学家那样才气横溢,而且还是个在各方面都可以为我们想要吸引的教师树立

榜样的不可多得的人物。

任何一间大学,开始时都要克服数不清的困难。例如,爱因斯坦讲座由纽约州教育局(按照法律,教育局叫做“纽约州的大学”)管理。州教育局急于要使自己的形象看起来真的像是一所“大学”,因而想要把每位爱因斯坦讲座教授直接任命为州的公务员,然后把他们分派到合适的分校去。我强烈地反对这种做法,认为爱因斯坦讲座教授应该完全是大学的一位教员,州教育局应该把钱拨给学校,然后由学校一视同仁地同其他教授一样给爱因斯坦讲座教授定薪金。州当局最后同意我的意见,并以此为后继的其他由州政府拨款建立的荣誉讲座教席立下了规例。

我们的这种安排后来证明还有其他好处。我们尽可能在各个方面充分利用爱因斯坦讲座。纽约州立大学系统负责人 Samuel B. Gould 同意我们在石溪创立一个“理论物理研究所”的建议,这个研究所除了按学术计划的常规拨款外将得到额外拨款,以独立研究机构的方式组织,由爱因斯坦讲座教授出任所长。因此,我们马上开始招聘真正杰出的研究人员同杨教授一道工作。

杨教授立刻为他的研究所定下了极为严格的招募人员的标准。他真的吸引来了非常能干的一群人,包括李昭辉和 Gerald Brown。狄拉克则前来作为访问教授。理论物理研究所为实现把我校办成一所能吸引最佳教师队伍的大学这一愿望树立了榜样。我们用研究所定下的“调子”来要求校内的所有其他单位。

虽然研究所的经费是独立的,但杨振宁同意把它当成物理系的一个有机组成部分,研究人员也给研究生和本科生上课并参加系里的一切活动。杨振宁还把他的活动范围扩展到其他系。例如,他同数学系建立了密切的关系,由于他的关系,数学系吸引了一群真正杰出的微分几何专家。

爱因斯坦讲座教授杨振宁非常愿意尽一切力量帮助我们这所羽翼未丰的学校。为了能接近学生和教师,他在附近建造自己的房

子,新居未竣工时便住在校园内的一所小房子里。如果我的回忆不错的话,我当时猜到了杨振宁要选择什么样的地方建他的新房子。在物理学方面,他不仅能解决问题,而且是以其独特的方式求得最优美有效的答案。同样,在为新屋选定地址时,他看中了离校园最近的长岛海峡高高的岬角,要在那里建造一座可爱的现代化新房子,充分利用那个位置的优越性。

杨振宁在石溪的头10年是大学迅速发展的时期,伴随这个时期的是许多混乱和不安宁。校园常常被新的建筑工地搞得七零八落。60年代末70年代初的学生骚乱影响了全国校园,当然也影响了石溪。不时有毒品大搜捕并发生校园与市镇之间的摩擦。我们也遇到年轻和正在成长的学校常有的由于胃口过大而出现经费短缺的情形。但杨振宁处变不惊,常常建设性地考虑他能为学校的改进以及继续保持出色的研究和教学水平做些什么。他能冷静而有效地解决困难。反过来,学校行政当局则明白,他是我们最宝贵的财富,力图尽一切可能去保护他和他工作。

作为一所年轻大学的校长,我准备要面临许多困难。尤其是,在学生们关注越南战争和其他事务的期间,我明白我必须花费大量时间去处理学生秩序瓦解的问题。但是,当我知道学生们开始找杨教授的麻烦时,真是怒不可遏。他们可以浪费我的时间,但他们应该知道,找杨教授的麻烦是千不该万不该的。我认为,他的时间太宝贵了,绝不能这样来糟蹋。

学生们要学校和系的行政领导在校园大门的警卫室值班,这时,这发生了一个特别小插曲。在我来得及阻止这件事发生之前,杨振宁已经答应在警卫室值一夜的班!令人始料不及,杨振宁的这个许诺反过来却是件大幸事,因为这一晚他实际上等于是主持了一个通宵达旦的讲习班。他谈到了科学与社会,谈到了国际关系,还谈到了其他问题。校园小报和其他传媒对此作了正面的报道,大大地缓和了这一冲突期间的紧张局势。同通常那样,杨振宁办每一

件事总是会收到积极的效果。

当中华人民共和国的孤立状态开始解冻时，杨振宁的双亲还在中国。杨振宁为促进国际合作与友谊事业的发展竭尽了全力。一旦情况允许，他立即定期访问中国。作为一个世界领先的科学家，他受到了中国领导人的接见。每次回去，不是毛主席就是周恩来总理宴请他。他利用这种机会去促进中美两国的相互了解。不止于此，每当中国科学界的代表团访美时，第一站通常都是石溪，然后杨振宁再帮助安排他们访问其他研究中心。反过来，他又帮助组织美国科学团体访问中国。由他提议，我率领了一个美国高能物理学家代表团应邀在1974年访问了中国。由于这种接触，我们得以签订协议，长期间引来了许多中国学者到石溪同杨教授及其他学者进行合作。杨振宁诚心诚意地投入这种合作中，同中国学者合写了不少论文。

1978年，担任石溪校长13年之后，我意识到，为了学校的利益，我最好引退，以便让新的州当局能为学校的继续发展任命一位新校长。我有幸应邀返回以前曾服务过的马里兰州大学并出任这个有许多分校的大学系统之校长。离开石溪时，我问杨振宁，为了他继续推进国际了解的事业，我能做些什么。由于他的建议，马里兰州与中国的一个省在中美两国间率先签定了建立姊妹关系的协议。杨振宁会见了马里兰州的州长，安排马里兰州州长同中国安徽省省长之间的互访并建立姊妹关系。这种关系一直持续发展到如今。

州立大学石溪分校所幸的是，杨振宁一直担任爱因斯坦讲座教授。作为一名伟大的上流人士和卓越的科学家，他的品格为人们树立了榜样。他用许多方式帮助别人，服务于一些关键的委员会以招募学校领导和教授或者改变学校的政策。他把时间安排得很好，学校领导小心地不去浪费他的时间，因为他的时间太宝贵了。但他从未拒绝过我的请求，我知道，他同我的继任者 John H. Marburg-



er 校长也一样合作愉快. 石溪现今已成为纽约州立大学系统中一个最活跃的研究中心. 这种学术领导地位表现在许多方面. 例如, 不论在荣膺联邦政府颁发的全国奖项数目还是在每年竞争得到的科研拨款总额, 石溪在纽约州立大学系统中都处处领先. 许多人为这种成功贡献过力量. 但按我的意见, 石溪办成了学习、教学和研究工作如此出色的一所大学, 是因为杨振宁的榜样和杰出领导为它定下了基调.

本文作者约翰·S. 托尔是美国大学科学研究协会主席, 马里兰大学物理教授及名誉校长.

G. E. 布朗

## 杨振宁对我的生活和研究工作的影响

当年研读杨振宁和米尔斯的论文[《Conservation of Isotopic Spin and Isotopic Gauge Invariance》C. N. Yang and R. L. Mills, Phys. Rev. **96**, 191(1954)]时,压根儿不可能想到,我的后半生会同杨振宁结下不解之缘. 在英国的伯明翰,我们大家立时就明白,杨振宁和米尔斯的工作是一个非常重大的贡献(当然,谁也说不清它究竟重大到什么程度). 在后来的岁月里,我逐渐更为欣赏该文的摘要[Phys. Rev. **95**, 631(1954)],它只有一段话,简明扼要地表述了原文的主旨.

1959年,尼耳斯·玻耳(Niels Bohr, 1885--1962, 丹麦物理学家, 1922年诺贝尔物理学奖得主. 译注)邀请我到哥本哈根新成立的NORDITA(北欧理论原子物理研究所)工作. 具有讽刺意味的是,我就在那个时候由研究原子物理转到研究核物理上来. 由于玻耳研究所的历史原因,“原子物理”一词在哥本哈根是包罗万象的.

1964年,随着麦卡锡<sup>①</sup>时代的结束,我与美国政府达成和解,回到普林斯顿任职。尼娜·拜厄斯1964至1965年同杨振宁搭档进行研究,而我则在伯明翰期间同她相识。就这样我得以同杨振宁在学术上有所联系。我把从原子核朝后散射 $\alpha$ 粒子的有关情况告知他们,从而使他们确信“强子同原子核非常相似,在分析当中必须以此为出发点”(参见译者的另一译作《三十五年心路》第135页,广西科学技术出版社(1989),南宁。该书译自杨振宁的大作《选集与后记》的“后记”部分,也可以认为是杨先生的回忆录)。“这种观点直到今天还是(核子)几何模型的基础”。对我来说,更重要的是,我因此结识了杨振宁和杜致礼;我同尼娜·拜厄斯一起在杨家的厨房里参加过他们的家庭晚餐。

得知杨振宁要离开普林斯顿高等学术研究所到石溪去,我们在普林斯顿大学物理系的一次会议上商讨如何才能把他挽留下来。有人建议:“让我们雇用一个人杨振宁喜欢的人做他的研究搭档”。Murphy Goldberger反驳道:“杨振宁并不需要同任何人合作”。Goldberger和Sam Treiman经常同杨振宁讨论粒子物理学的问题。那时候,许多粒子物理学家声称找到了一种对粒子进行分类的非相对论性SU(6)理论。通过洛伦兹变换,自旋可以改变,然而这些理论家们并没有处理好自旋问题。杨振宁告诫他们切不可对此大吹大擂。

1966年,杨振宁接受石溪爱因斯坦讲座教授职位。其时,石溪分校的校园只不过是一个到处泥泞不堪的建筑工地。石溪分校才创立几年,在大家看来,这里充满闲情逸致,做学问的人可以在此过悠哉游哉的田园生活,教教书,闲来也可以搞些研究工作。那时的物理系主任Alex Pond并不这样想,他满怀雄心壮志,要把物

---

<sup>①</sup> 麦卡锡(Joseph Raymond McCarthy, 1908--1957),美国共和党参议员。他于50年代初煽起全国性反共运动。译注。

理系办好.今天回过头来看,我想象不出,究竟是一种什么鬼使神差,Pond 竟能说服杨振宁调到石溪来.

1967年,杨振宁回到普林斯顿做了一次简短的访问.一天,我正坐在巴尔麦物理实验室的办公桌旁,他突然走进来邀我出去溜达溜达.虽然 Linwood Lee 已在石溪造好一座串列式范德格拉夫加速器,但那里并没有人做核物理研究.相反,在普林斯顿这里,我作为这个世界研究中心的教授,已经组织起一个领先的理论核物理学家群体.既然杨振宁看中我,也因为我对他心仪已久,所以我辞别普林斯顿,在1968年来到石溪,任职至今.这是我今生所做过的几个最好的决策之一.我帮助杨振宁建立了石溪物理系,它排在美国12个最好的物理系之内(此为《Changing Times》1983年11月版的排名.《Physics Today》1988年1月号第15页上有一篇题为《科技精英云集从而发生亲近繁殖》的十分引人入胜的文章.文中说,相对于其他最好的大学物理系而言,石溪物理系鲜有精英近亲繁殖的情形).由于杨振宁给石溪物理系带来了名气和声望,我们系没有人为了鸡毛蒜皮的事而闹意气,大家采取了一种互相帮助的态度,建立了一个很优越同时又和谐的教学和做学问的环境.

50年代,我在量子电动力学应用于原子物理方面,尤其是重原子兰姆移位及原子物理多体问题,做了许多基础性的工作.50年代中期,我转到了核物理领域,因为它更复杂,对它的基本原理了解得甚少,也就更具挑战性.我决定把核物理的有关概念弄得更清晰从而使大家能进行定量的计算.首先,我引用了经验的手征不变性,同法国萨克莱的 Mannque Rho 一起统一了核反应的描述方法.随后,物理学家发现以杨振宁-米尔斯规范场论为基础的量子色动力学是正确的.直到这时,我们才高兴地知道,原来在那些行之有效的理论中我们一而再、再而三地采用的手征不变性源于量子色动力学.

众所周知,杨振宁的指导原则是规范不变性.他正是把这种不

变性从量子电动力学推广到杨振宁-米尔斯场论的。很明显，他对数学特别有兴趣。他发现了纤维丛的基本观念，尤其是发现规范场是纤维丛的“联络”，并在文章中表达了他对这一发现的无比欢欣。

1979年9月，在杨振宁的一次讲习课之后，我提了个问题，他认为那是在批评他表述时不顾物理图象而一味追求数学效果。后来，我收到了他从记事本撕下的一纸短简，写的是一段温和地责备我的话：

盖利：希望你不要误解，我要强调的是，物理学不是数学。这一点是清楚的。但是，数学在基础物理中起着非常重要的作用，这一点也很清楚。

杨振宁

诚然，物理学不是数学。但是，杨振宁-米尔斯规范场论却给了数学家一个妙不可言的模型，同时又给了物理学家一种美不胜收的理论。我同Mannque Rho早期的工作要求每种行之有效的理论都要遵守杨振宁-米尔斯的手征不变性，这使我们成功地在原子核内建立了交换流从而定量地确定了核中介子的存在。

最近，Mannque Rho和我设想，如果在我们行之有效的理论中，在原子核的层次上模仿杨振宁-米尔斯的手征不变性（处在手征不变性破缺的范围之内），为什么不把这些方程的标度不变性竭力用到我们那些有效的拉格朗日之中呢？我们知道，这种标度不变性在量子的层次上通过痕迹反常或发展胶子凝聚的这种非常特殊的方式而产生破缺。杨振宁和米尔斯在第一篇论文中就预见到规范场的自束缚系统的可能性。

低能的有效拉格朗日一般不具有这种标度不变性，那怕人们声称通过把夸克和胶子由杨振宁-米尔斯理论中积分掉，以利于核子和介子变量从而得到这些拉格朗日也罢。标度不变性的破缺是通过截断积分而实现的，否则这种积分就是无穷积分。人们这样做的时候没有察觉到，正是在这一步上他们使得标度不变性破缺了。

Mannque Rho 和我认为,与其用这种随意的方式去使标度不变性破缺,毋宁使它尽量保持下去.这就保证我们的有效拉格朗日中每一项都与杨振宁-米尔斯理论的相应项具有相同的标度性质.然后,我们应用辅助的标量场(引进它是为了保证正确的标度性质)以造成一种相互作用来使得标度不变性破缺,方式上正像量子色动力学在量子层次上使它发生破缺一样.

我们在 Phys. Rev. Lett. 66, 2720 (1991) 上发表那题为《在稠密介质中的标度有效拉格朗日》的论文作出了一系列预言,其中主要的有介子质量与密度相关,即

$$m_{\rho}^*/m_{\rho}=m_{\omega}^*/m_{\omega}=m_{\sigma}^*/m_{\sigma}=m_{\pi}^*/m_{\pi}$$

式中,星号表示有限密度下的质量,不加星号则为自由质量值.  $m_{\pi}^*$  是核子的有效质量,费米子的速度由  $v=p/m_{\pi}^*$  定义. 这个标度关系保持到树一级层次,我们正在找出环状修正.

我们的研究结果意味着介子质量随着密度增加而平滑却又比较迅速地减少.此外,对实验工作来说,还意味着许许多多事情,我们俩同其他人正在为此而加紧工作.在德国达姆斯塔德的那个大型研究所 Gesellschaft für Schwer Ion (重离子研究所),正在计划测量大约两倍核物质密度下  $\rho$  介子的质量.这必须检测处于重离子碰撞所形成的稠密系统中  $\rho$  介子无电子衰变的不变质量.几年来,在伯克利高能质子同步稳相加速器一直做着相同的实验,至今还没有得到令人满意的统计结果.

杨振宁-米尔斯理论中的许多不变性大大地丰富了核物理学的内容.它使核物理学更漂亮、更错综复杂,也更饶有兴味.进展虽然缓慢,问题也很复杂,但借助于这些不变性,我们正把核物理学建立在更牢靠的基础之上.

对杨振宁在普林斯顿邀我“到树林子去走一走”,从而使我下决心加盟石溪,我将永怀感激之情.同杨振宁一起,我们在石溪创建了那些可以让我们感到骄傲的事物.基于杨振宁创立的杨振宁-

米尔斯理论,我们对核物理可以有更好的理解,而核物理本身在概念上则是深奥和内容丰富的.当然,核物理只是受到杨振宁-米尔斯理论深深影响的领域之一.它是我进行研究的领域,同时,也是一个兴味无穷的领域.

本文作者 G. E. 布朗是美国著名理论核物理学家,纽约州立大学石溪分校理论物理研究所教授.

乔玲丽

## 杨振宁的金字塔

这篇短文的写作发轫于 1992 年 8 月在台湾庆祝杨振宁教授 70 大寿. 为此, 我重读了杨教授的大作, 特别是《选集与后记, 1945—1980》以及 1980 年以后的新作, 还有其他许多介绍杨教授工作和成就的文章.

作为物理学家, 杨振宁是 20 世纪的一位巨人. 杨振宁-米尔斯方程将同牛顿、麦克斯韦和狄拉克的方程一样, 作为人类永恒的遗产而进入下一个世纪. 而杨振宁-巴克斯特方程的重要性正开始被人们赏识. 毫无疑问, 其持久的价值将不亚于代数里的雅可比恒等式和几何学中的辫子恒等式. 除了同李政道一起荣膺诺贝尔奖的宇称不守恒这一名作之外, 他还撰写了一系列关于粒子物理中对称性问题的论文. 它们都很重要, 而且非常有洞察力. 由于他的工作, 我们更深刻地理解了对称在粒子物理中的作用, 也正确地理解了相变和量子临界现象在多体物理中的地位. 我们还可以把这个清单继续开列下去, 况且在今天, 他的许多工作的重要性或许尚未为人们所充分认知.

关于杨振宁及其工作, 人们已经写得很多, 再要添加一些鲜为人知的新东西, 对我来说无疑是一种挑战. 我越是试着写些东西,



就越感到不知所措。要学习和理解的东西实在太多，而稿子又催得很紧，我必须寄去一些文字。

在研读杨振宁的论文时，我感到他真的好像有点石成金的本领似的。不仅如此，当他那尽人皆知的成果依然在光芒四射的时候，新的物理学领域又在他原来不甚为人所知的工作基础上耸立起来了。过去 40 年间，这种情形已经重复多次，屡试不爽。

50 年代，杨振宁（和他的合作者们）关于宇称不守恒、关于二分量中微子以及其他工作在基本粒子物理学领域里是高耸入云的。他对相变问题的漂亮阐述，澄清了 30 年代以来一直在该领域里徘徊不散的某些混乱。

60 年代，他那关于高能中微子实验、关于磁通量子化、关于非对角长程序和关于贝特假说的工作全都对物理学的有关分支产生了深远的冲击。

70 年代，杨振宁-米尔斯理论的根本重要性开始为人们所赏识，这一理论在我们对自然界所有基本相互作用的理解上是革命性的。

及至 80 年代，奠基性的杨振宁-巴克斯特方程的极端重要性开始显现并在杨振宁过去几十年的所有成果之中崭露头角。

回顾所有这些发展，我认为，要表述杨振宁对物理学的影响，最好的办法是把它比做一座金字塔，在物理学这座金字塔的基础上挖得越深，它的基座就越宽广。杨教授喜爱唐诗宋词。他曾经把心爱的杜甫（712—770，唐代）诗句“文章千古事，得失寸心知”翻译成下面的英文：

*A piece of literature is meant for the millennium,*

*But its ups and downs are known in the author's heart.*

还把陆放翁（1125—1209，宋代）的诗句“形骸已与流年老，诗句犹争造化工”翻译为

*My body creaks under the weight of passing years,*

*My poems aim still to rival the perfection of nature.*

年届从心所欲,杨教授依然精力旺盛.表征他的科学研究的特点是高雅,这种高雅依然宛如印记那样出现在他的新作之中.我企盼今后 10 年能不断研读他的新论文,并看到他的金字塔更深更广的根基.

本文作者是美国加利福尼亚大学戴维斯分校物理系华裔教授.

郑 洪

## 如何对杨振宁-米尔斯理论进行量子化

---

35年前的一个春晨,我一觉醒来,获知杨振宁同李政道刚刚荣膺1957年诺贝尔物理学奖。那天早上,我遇到的所有中国朋友都感到意外、激动、欣喜若狂和骄傲,因为李政道和杨振宁是首次荣获此项最高学术奖赏的中国人。我记得,同其他人一样,我也激动、欣喜若狂并沉浸在骄傲之中;但是,同大多数人相反的是,我并没有感到料所不及。这是事出有因的。在这一历史事件发生之前一年,我在台湾大学图书馆遇到一位同学。闲聊时,他认真地引述了据称是奥本海默(J. R. Oppenheimer, 1904—1967, 美国著名物理学家,因主持曼哈顿计划而被称为美国原子弹之父,译注)的一句话,不知何故,至今我还能一字不差地背得出来:50年代的天下是杨振宁的。我始终未能从其他方面证实此话的出处,或许它只不过是校园里流传的一种说法而已。但是对离美国有半个地球之遙的一个大学本科生来说,这句话在他的脑子里留下了深刻的印象。正因为如此,35年前那个记忆犹新的早晨,当我听到颁布诺贝尔奖的消息时,觉得把诺贝尔奖授予一位已经赢得整个世界的人并不

是什么过分的事。我当时还立下宏愿要去见见这位伟大的科学家，拜他为师。

1963年冬，我实现了上面提到的那前半个愿望。普林斯顿大学的中国学生开了个圣诞晚会，杨振宁教授伉俪在大家的期盼中出席了。就在这个晚会上，我第一次看见杨教授本人。我之所以说“看见杨教授”，是因为我认为他不一定看见我。对他来说，我不过是围绕在他周围，一字一句注意地聆听他说话，看上去毫无区别的许多笑脸中的一个而已。他谈的是为考察新近完工的CEA而到麻省剑桥之行。

我得承认，那一次他着实使我感到意外。他像一个实验物理学家那样向我们复述了那座加速器的每个数据和许多细节，与我所认识的其他理论物理学家大相径庭。不过，杨教授很快就又使我更感意外：他开始同杨太太跳舞。我担保，他们跳的是一个最优雅的华尔兹。我从未见过其他理论物理学家跳得那么好。

我在1968年实现了那后半個愿望，当时我同吴大峻合作研究高能散射问题。在大约两年时间里，我和吴大峻频频驱车访问石溪（实际上，大都是吴大峻开车。现在想来还有点后怕，因为我拿不准大峻是把一门心思用在掌握方向盘上呢，还是在开车的当儿脑子里正盘算着他的微积分）。我们向杨教授汇报高能散射方面的研究进展，并同他就此问题进行非常富有启发性的讨论。他正直，学术上诚实，愿意倾听不同的意见，还无私地让我们分享他的大智大勇和宝贵时间。所有这些，都使我非常敬重他。我们在面对几乎普遍反对的情况下，之所以能完成这项研究并得出散射全截面随能量无限增大的结论，杨教授的支持和鼓励是主要精神支柱之一。

今天，我要讨论的是另一课题——20世纪理论物理学的一个重大胜利，其功劳和荣耀主要归于杨教授。我要谈的是杨振宁-米尔斯理论（非阿贝尔规范场论）；我特别要讨论如何去使杨振宁-米尔斯的理论量子化。

80年代初期讲授量子场论课程时,我遇到了这个问题,该课程的重要部分当然是杨振宁-米尔斯理论.讲完经典杨振宁-米尔斯理论之后,我便迫不及待地要给学生介绍量子的杨振宁-米尔斯理论.像别人一样,我过去几年所读到的都是使杨振宁-米尔斯理论量子化的标准方法,即路径积分法.

我认为这个办法既强有力,又优雅.然而,准备上路径积分课的前夕,我忽然感到它有点不对劲.直到临上课之前,我仍然不得要领,于是感到有点恐慌,便去找一位专家帮忙.他说,我提出的问题不值得大惊小怪,事实上1967年发表的一篇论文早已把它解决了.我冲到图书馆赶紧找来那篇论文.原来该文作者只是清楚地指出问题的所在,并没有把它解决.我又回去找那位专家,他耐心地听我说完,又建议我去读另一篇文章.这样来回折腾好几次,我挣扎着去读完那些劳什子论文,结果依然一无所获.我同我的研究生E. C. Tsai谈及此事,于是我俩决定,与其没完没了地去读别人的文章,倒不如我们自己去寻求答案.不过,这比我们原来想象的要困难得多.最初,我们仍然想在路径积分的框架之内解决问题,毕竟,这是20年来几乎人人都接受的一种办法,并且我们自己也从未怀疑过它的正确性.令人沮丧的是,随着时间的流逝,我们发现越来越多的问题.紧张地工作几个月之后,我们比开始时更感到茫然不知所措.最后,我们不得不放弃路径积分的办法而再次从头开始干.毋庸讳言,这时学期已经结束,我也就不能按计划给学生讲授有关的课程了.

我们的新思路是基于正则量子化.曾有人尝试过走这条路线,但由于大家都喜欢路径积分的方案,所以最后它总是被放弃.大多数人认为循这条路线去使杨振宁-米尔斯理论量子化很困难.我们发现,情况并不如此.使用费密早在30年代就指出的办法,正则地使杨振宁-米尔斯理论量子化,问题就变得很简单.此外,这种方案能提供路径积分法所缺少的信息,这些信息对深入理解杨振宁-

米尔斯理论是非常重要的。显然，用路径积分使杨振宁-米尔斯理论量子化的形式体系，尤其是法捷耶夫和波波夫的那一套不仅缺乏启发性又含糊不清，并且在许多情况下还会给出错误的结果。事实表明，路径积分的那些人们认为不容置疑并被普遍采用的处理办法，原来是空中楼阁。说真的，我认为目前这种对杨振宁-米尔斯理论进行量子化的路径积分形式是错误的。

本文简要地介绍我和 E. C. Tsai 的研究结果，只概括地谈谈中心思想，更专业性的论述将另文发表。

（以下一段为学术论文，兹从略）

最近，我和 S. P. Li 合作把研究推广到重力的范围。已经建立了在短暂规范情形下的量子重力理论，对简谐规范问题的研究则仍在进行。我们的研究表明，量子重力的每一事件在杨振宁-米尔斯理论中都有其对应物。这使人联想起，广义相对论或许是杨振宁-米尔斯理论的特例。

杨振宁-米尔斯理论早在 1954 年就被提出，可是过了几乎 30 年人们才能够完全理解其量子内涵。这正是杨教授研究成果的开创性和学术威力的最好见证。然而杨教授的睿智并不只限于科学。无论何人，只要有幸同杨教授作过交谈，都会被其兴趣的广泛和思想的深邃所震撼；分手时他会感到，作为一个人，由于得到杨教授的指点而变得充实了。自从 29 年前第一次见到他以来，我从他身上不但学到了物理，还学到了人生的各种真谛：大至中国的国家大事，小到为何我的电视机分辨率高，甚或把自己的厨房粉刷得如何糟糕，等等，不一而足。我钦佩他，不但是因为他对物理学的贡献，毫无疑问，这种贡献是革命性的；更令我仰慕的，是他的同情心，他的宽厚以及他的正直和真诚——一句话，他的整个人品。我愿把下面一首古诗奉献给他，这首诗最能贴切地表达我对他的感情：

云山苍苍,江水泱泱,先生之风,山高水长  
杨教授,祝您 70 寿辰生日快乐!  
感谢 L. P. Li 博士在审阅本文手稿时所给予的批评和指正.

本文作者是美国麻省理工学院(MIT)数学系华裔教授.

邹祖德

## 杨振宁教授

---

被邀著文庆祝杨教授 70 寿辰,我感到极大的荣幸。

我记得,1956 年 11 月吴大猷教授首次访问台湾,在一堂研究班课上介绍杰出留美中国物理学家们的不凡成就时,我第一次听到杨振宁的名字。作为一名刚从电机系转读物理系的研究新生,吴教授的评论给我留下了深刻的印象。不久之后,证实杨振宁、李政道两教授关于宇称不守恒预言的实验发表了。1957 年,他俩荣获诺贝尔物理学奖。这一获奖消息立时使杨振宁成为全世界华人社区家喻户晓的人物。对于百万心怀大志的中国青年学生来说,杨教授成了他们的偶像和楷模;而对市井小民而言,他则是民族荣耀的象征。12 年后的 1969 年,在英国利物浦一家小的中餐馆用膳时,听到没有什么文化的店主和厨师满怀敬意和骄傲地在谈论杨教授的成就,我很惊愕并为之动容。

虽然我对杨教授心仪已久,但直到 1964 年随 Max Dresden 教授从爱奥华来到石溪后才有机会同他不期而遇。我是 1966 年春同他认识的。

他从普林斯顿应聘到石溪担任爱因斯坦讲座教席不久,我便向他请教有关研究课题的问题。我是一个新近得到学位的博士,颇



害怕接近他。我听过不少关于著名科学家粗鲁对待青年研究人员的故事[这种故事今天仍在流传。K. C. Wali 在新近出版的那本 S. 钱德拉谢卡(S. Chandrasekhar, 1910—1995, 美籍印度物理学家, 1983 年诺贝尔奖得主)的传记中就有这样一则故事: 在耶克斯天文台, 有两座楼梯, 一座从钱德拉谢卡的办公室旁经过, 一座则在大楼的另一边。“每当大家知道钱德拉谢卡在天文台工作时, 学生们就都避而不用他那边的楼梯”。不过, 我第一次见杨教授时, 他非常热情友好, 不摆架子, 我大大舒了一口气。

他给我的忠告是不要野心勃勃地一心只想钻那些大的或者时髦的课题, 也不要盲目地跟随在那些吹吹打打的彩车后面转。相反, 要从简单、做得出来, 而且同物理现象密切相关的问题搞起。他敦促我在尝试做任何课题之前, 首先要使自己熟悉实验事实。我发现, 这个忠告对我后来的工作极端有用。就具体课题而言, 他建议我考虑, 如果电磁相互作用中电荷共轭不变性(C)受到破坏, 对  $\eta$  介子的衰变可能会有什么后果。这在当时是一个人们议论得很多的问题。

一星期之后, 杨教授安排时间听我报告自己的研究结果。我讲完之后, 他拿出笔记本同我两相对照。这时我才明白, 原来他自己已把这个问题从头到尾详细地考虑过了。但是, 他劝我不要匆忙地把文章拿去发表, 因为缺乏可靠的实验证据, 而他本人则不相信在电磁相互作用中 C 会受到破坏。后来事实证明, 他的判断果然不爽。1966 年秋欧洲原子核研究中心(CERN)的大量数据表明, 早先的那些实验报告并不准确, 从而肯定了电磁相互作用中 C 并未遭到破坏。

就在那一年稍后, 我开始同杨教授合作搞研究。对统计力学问题浅尝辄止之后, 我们把注意力转向高能碰撞。随后的合作使我得到一个罕见而且独一无二的机会去欣赏杨教授的工作作风, 去了解一个伟大人物是怎样在做学问的; 当然, 我还可以近在身边地观

察他的品格和品味。

我觉得,杨教授科学研究的特点是探索新发现现象前沿的那种无与伦比的能力,以及他对理论物理结构方面深入和深刻的洞察。

在基本粒子物理学领域,他同李政道教授那个著名的关于宇称守恒问题的分析是划时代的贡献。1953—1956年间, $\theta$ - $\tau$ 之谜使物理学家们个个坠入五里云雾而茫然不知出路,但是他们俩正是由此而勇敢地推论出宇称在弱作用下不守恒是出路之所在,这种结论对当时人们所信奉的神圣不可侵犯教条来说是大逆不道的。他同吴大峻关于 $K$ 衰变时 $CP$ 不变性遭到破坏的透彻而又优雅的唯一象分析是他那种敢于探索物理学前沿未知事物个性的又一个例子。这种分析为解释后续的所有实验提供了一个框架。

从我们合作研究高能碰撞问题的全过程可以看出,杨振宁的确具有一种罕见的能力,使他可以从大量令人眼花缭乱的新的实验结果中抽取意义重大的事实,并据此给出碰撞物理一种简明扼要、逻辑上首尾一致而且干净利落的描述。在品味方面,他比较保守,十分尊重物理学的传统。但是,需要勇气时,他也会显示出大无畏的精神。

他对理论物理基本结构的贡献更令人赞赏。通过与米尔斯在1954年一起发现的非阿贝尔规范理论,他为后来建立的弱电统一理论奠定了基础。杨振宁-米尔斯方程真正是一件纪念碑式的成就,只有麦克斯韦、爱因斯坦、薛定谔和狄拉克的工作才能同它相提并论。

杨振宁教授的开创性和洞察力也表现在他的统计力学和凝聚态物理研究中。关于二维易兴铁磁体自发磁化强度的准确计算惊人地展示了他在经典数学方面的技巧,以及把错综复杂的计算进行到底出类拔萃的毅力。他关于磁通量子化和非对角长程序的工作都是对理解超导现象产生了巨大影响的有强大生命力的杰作。

他在1967年研究一维 $\delta$ 相互作用问题时发现的杨振宁-巴克斯特方程则是又一个巨大贡献。15年之后,人们才真正开始赏识它的重要性和效力。今天,大家普遍相信杨振宁-巴克斯特方程代表了一种基本数学结构,今后在物理学和数学当中将有广泛的应用。

虽则物理学和数学是他的第一爱好,但他的知识和兴趣决不止于此。举凡艺术、中国古典诗词、古典文学、历史乃至中国的政治和事务,他都十分关心。在专业之外的这些领域,他也会像做学问那样打破沙锅问到底。记得1977年秋的一天,他打电话告诉我,说他到了兰州。这是中国西北部的一个城市,抗日战争时我在那里呆了4年。他对老城区的描述,大部分都同我童年的记忆相吻合。事实上,我们可以肯定,他下榻的宾馆就在我儿时的住所左近。但是,在两点上我们意见相左,这使我们困惑。首先,看来他没有见到那座状为梯形、装饰得很雅致的木桥,这座桥至少已有两百年历史。另外,他没有见到兰州市郊风景胜地兴隆山上成吉思汗的金灵柩和其他文物古董。两星期后,我收到他寄来的一帧照片,上面正是我记忆中的那座桥,是从本世纪初瑞典探险家Swen Hedin的一本书中复印下来的。除照片外,还有一短简:“你说的是不是这座桥?它已不复存在。成吉思汗的古董已在1954年归还蒙古了”。

杨教授的中国情结和对中国血统的自豪感,对中国的一往情深和对中国人民的关切,在他的诺贝尔演讲和收集在《读书教学四十年》(参见本书译序、译注)一书的文章中都尽情地倾诉出来了。1971年夏,他是美国著名学者中第一个访问中国的科学家。70年代,他为了增进长期疏远的中美两国人民的相互了解所作的努力,对发展两国关系起到了催化的作用。他极力劝说中国政府注重基础科学研究和支持中美两国的学术交流,对“文化大革命”后中国科学技术的迅猛发展起到了促进的作用。

杨教授是一位伟大的科学家,也是一个伟大的人。他品德高尚,温文尔雅并且思想深刻;他完美无缺并继承了中华文化中那些

最优秀的传统,正是这种传统意义上的一个德高望重的正人君子 and 学问家。虽然是世界科学界的顶尖人物,但他却礼贤下士,极其谦逊。他永远是那么忙碌,可是对那些向他求助和求教的人,特别是那些在事业上仍在挣扎前进的青年物理学家,他总是有求必应。他会毫不吝啬地向他们提出中肯的评论,诚恳的鼓励和建议,甚至把自己的想法讲出来让人自由分享。他的慷慨是出了名的。1989年,米尔斯在回忆1954年时写道:

杨振宁在许多场合中表现出他对刚刚开始物理学生涯的青年人的慷慨。他告诉我关于推广规范不变性的思想,而且我们较为详细地作了讨论。

过去26年,我有机会在杨振宁教授身边工作,真是一大幸事。对他的耳提面命和经久不衰的鼓励我铭感至深,它们大大地影响了我的生活,并使我们之间持久不断的合作成为硕果累累的一件快事。

本文作者邹祖德是美国佐治亚大学物理系华裔教授。

朱经武

## 发现具有更高临界温度的超导体的可能途径(序言部分)

事隔多年,我已记不起具体日期了.那是1957年10月一个阳光普照的刮风天,消息传来,两位年轻的中国物理学家刚刚赢得诺贝尔奖.这是一个划时代的事件.它使中国人恢复了自信心;由于中国一次又一次地惨败于科技优越的西方,致使中国人开始怀疑起自己的科技能力来.对我这一代以及今后几代人来说,这一事件使许多中国人觉得物理学有了那么一种传奇的色彩.在接踵而来的几个月里,我,台湾中部闭塞小镇的一个高中生,贪婪地阅读手头一切有关杨振宁教授的书报.尽管那时我对杨振宁得以荣获诺贝尔奖项的物理课题内容知之甚少,但那段时间,不管在教室里还是在运动场上,同学们交谈中纷纷频繁使用“宇称不守恒”这样的字眼,虽然说起这些事情来哲学意味重了一些,不太科学,又不甚正确.平时我就喜欢电啊、磁啊这类玩意,所以,这个消息自然促使我不费踌躇地选择了物理专业.

随着物理知识的增长,我对杨教授的学识越发景仰,也更自惭形秽.在统计力学课程中,除了许多其他相关课题之外,我还学到

了他处理二维易兴模型和相变问题的优雅方法。成为超导专业研究生之后,我钻研了他关于非对角长程序及磁通量子化的重要工作。过去几年,我同他就高温超导的问题做过几次长谈,每次都受到很大的鼓舞。一次谈话中,他从理论的角度作了些预言,随后,为了验证他所说的,我甚至花了好几天时间去做实验,但没有得出什么结果。在这件事情上,自然界似乎还不想公开她的秘密。

1969年我在石溪见到了杨教授。对于我,他既是一位给人以鼓舞的物理学家,也是一位世交(通过我同陈省身教授女儿陈璞的婚姻)。生活里有许多意想不到的事。在这之前,我一直认为世界上只有两种类型的科学家:一种人专谈自己在做什么,另一种人则专问别人在做什么。我发现杨振宁教授属于为数极少的第三类:他常常慷慨地把自己那些令人激动的研究成果拿出来与人共享,同时,对不论那一行科学家的工作都有一种令人惊异的好奇心。他静心仔细聆听别人的述说,给别人提出有用的建议从而使同他交谈的人获得鼓舞并增强自信心。他是文艺复兴时代的那种人:无论科学、文学、历史和艺术知识都非常渊博。

杨教授不但是一位物理学家,同时也是一位富有同情心的人。他所做的一切,已经对物理学(尤其对中国血统的物理学家)和中国科学的发展产生了与日俱增的深远影响。当初我向陈璞小姐求婚,杨教授就曾经把我已故导师 Bernd Mathias 教授对我的好评转达给陈省身教授(有时杨教授主动说,或者陈教授问到时讲)。他的这些作为决定性地改变了我的生活。在这欢乐的时刻,我愿意把关于高温超导的一些想法敬献给杨教授。同时,我祝福杨教授身体健康,今后许许多多年在物理学领域仍不断有新的建树。

(以下为专业论文,兹从略)

本文作者朱经武是世界著名高温超导物理学家,美国休斯顿大学物理系及得克萨斯超导中心教授。朱经武祖籍广东,1941年生于湖南。美国国家科学基金会于1987年2月16日宣布,朱经武及吴茂昆分别领导的两个小组,发现转变温度为绝对温标96度的高温超导物质,遂在高温超导物理研究上获得重大突破。此后,他一直活跃在这一前沿,不断有所建树。译注。

小巴斯科姆·S. 第佛

## 超导体的量子化磁通：我个人的 一些看法

能为庆祝杨振宁 70 大秩文集撰写文章，乃一大幸事。1961 年他访问斯坦福大学时，我有幸见到他。当时我处在一个非常兴奋的时刻：我同 William M. Fairbank 测量封闭于超导圆筒内量子化磁通的实验正接近于得出结果。杨振宁在实验的这个阶段出现，并且，在实验结果刚出来他立即就对其重大意义进行理论上的研究，所有这一切都大大地增加了激动的气氛。

1959 年 9 月，Bill Fairbank 从杜克大学转到斯坦福来。作为他在斯坦福的第一个研究生，我同他就我的学位论文倾谈良久。他向我解释他所建议要做的一些重要新实验的有关情况。他当时已被公认为知识最渊博、最有创造性的实验物理学家之一，这些新实验的价值肯定同他的这种名声相称。最吸引我的一种想法是用实验验证 Fritz London 的一个预言：他称为“通量”的物理量是量子化的。

（以下一段为学术论文，兹从略）



在实验过程中，杨振宁频频访问我们的实验室，使我们很激动。费利克斯·布洛赫(Felix Bloch, 1905—, 美籍瑞士物理学家, 1952年诺贝尔物理学奖得主。译注)的办公室刚好在楼上，他也不时来我们的实验室，关注着事态的进展。Fairbank 常常同他讨论实验中的问题。

我们第一个圆筒的实验结果如图所示(图略，下同。译注)。不论杨振宁还是布洛赫都对数据持某种怀疑态度，而 Fairbank 和我则相信实验结果完全正确。获取数据时，看到磁场的微小变化会引起通量陡然改变，这恐怕是最引人注目的效应。在零以上很大的范围内，圆筒排斥了所有的磁通。随后，磁场的一小点增加，圆筒就把几乎全部磁通吸了进去。我们第一次观察到这个现象时，Fairbank 就看出了其重要性。经过录取数据的发狂般几个不眠的日日夜夜，我也理解了为什么它重要。后来杨振宁向我解释了做理论研究的人(或许，任何一个局外人)同真正获取数据的实验人员在诠释和理解这些数据方面的差异。

从第二个圆筒得到的数据使杨振宁和布洛赫完全信服了。于是，我们便把结果向《物理评论通讯》杂志投稿，文章在1961年刊出。在同期杂志上，Doll 和 Näbauer 也发表了他们的实验结果。除了磁通量子化的存在令人注目之外，在  $h/2e$  这一单位中的因子“2”也让人诧异。

一旦杨振宁确信了实验结果，他就着手研究这一结果究竟是否需要引进什么新的基本物理原理。因为昂萨格(Lars Onsager, 1903—1976, 美籍挪威人，因提出不可逆过程热力学理论而荣膺1968年诺贝尔化学奖。译注)在1953年的一次会议上指出，超导体中的磁通量子化可能对磁场意味着某种特殊的条件。后来，1959年在英国剑桥的一次会议上，昂萨格又对 Fairbank 说，情况并不如此，还说量子化单位可能为  $h/2e$ 。

杨振宁同当时斯坦福的教师 Nina Byers 一起，很快地做了理

论计算,解释了实验结果.在发表实验数据的那一期《物理评论通讯》上,Byers 同杨振宁也发表了他们的结论.他们发现,不需要新的物理原理;磁通量子化可以在通常的量子理论原理框架内加以解释.他们证明,“2”这个因子起因于电子配对,是 BCS 理论<sup>①</sup>所要求的.他们注明,Meissner 效应同磁通量子化的要求紧密相关.他们还评论道,即使在没有磁场的区域内,超导体中电子能级的变化(这就是磁通量子化的原因)与 Bohm Aharonov 效应依赖于相同的原理.

也是在同一期《物理评论通讯》杂志上,昂萨格发表了一篇论文,解释因子“2”来源于电子配对并指明,量子化的磁通是超导体的一性质,并不是磁场的一个特殊原理.

磁通量子化的存在,有力地支持了 London 所提出的一个概念,即超导电性是一种宏观的量子态.同 Ginsberg-兰道(Л. Д. Ландау, 1908—1968, 苏联物理学家,由于对物质凝聚态理论的研究,尤其是对液氦的研究而独自一人荣膺 1962 年诺贝尔物理学奖.译注)理论中的“有序参数”联系起来, London 的这个想法就变得更清楚了.

1962 年,杨振宁发表了一篇漂亮的论文《非对角长程序概念及液氮和超导体的量子相》.文中,他更深入地探索了准玻色子玻色凝聚、平均动量的“长程有序”,以及“宏观量子态”的概念.同时,他也再次讨论了磁通量子化的起源.

1965 年,我到弗吉尼亚大学物理系任教.花了大约一年时间建立了一个新的实验室,我同一组研究生开始做磁通量子化、约瑟

---

<sup>①</sup> 指巴丁(J. Bardeen, 1908—)、库柏(L. N. Cooper, 1930—)和施里费(J. R. Schrieffer, 1931—)三位美国物理学家提出的超导理论.由于这一物理理论的成功,他们荣膺 1972 年诺贝尔物理学奖.在此之前,巴丁因半导体的研究和发明晶体管而与美国物理学家肖克莱(W. Shockley, 1910—)和布拉顿(W. H. Brattain, 1902—)一起荣获 1956 年诺贝尔物理学奖.巴丁是迄今唯一两次荣获诺贝尔物理学奖的物理学家.译注.

夫森效应及 SQUID 等实验. 1967 年 5 月, 杨振宁访问弗人, 做了一系列报告. 杨振宁在他那繁忙的日程之外, 还抽出几个钟头参观我们的实验室并同我们小组座谈与我们实验有关的问题. 至今我还清晰地记得, 我和我的学生们是如何地兴奋.

当时, 新的 SQUID 磁通计使我们能大大精确地测量超导圆筒中的磁通量子化. William Goodman 那时正在做一个实验, 所得数据示于图 3, 其中, 平台的高度为  $h/2e$  的整数倍, 精确到 0.5%.

(以下一段为学术性论文, 兹从略)

为庆祝 Bill Fairbank 65 寿辰, 1982 年在斯坦福大学召开了一个名为“接近零度: 物理学新边疆”的学术会议. 我还愉快地记得同杨振宁一起开会的情形. 我们大家回忆了早期进行磁通量子化实验的日子, 会上, 他在报告中讨论了对量子力学中“相”这个概念的理解是如何演变的. 会后, 他像以往那样, 宽厚又和蔼可亲地同我们一小群人在当地一家餐馆度过了愉快的一晚. 我的妻子和小女儿也在场. 女儿是大提琴家, 她同杨振宁谈到了马友友. 当马友友还是一个小孩时, 杨振宁就认识他.

我以下面一段个人注记来结束本文: 我把上述回忆当作迟到的生日贺词. 杨教授, 你的工作如此之高雅, 范围如此之深广, 它们大大地改变了整个物理学, 这方面我不想作什么评论. 我只想在这里向您表示极大的敬意: 您对我从事的物理领域有这么深入的了解, 谢谢你的指导. 衷心祝福您万事如意.

本文作者小巴斯科姆·S. 第佛是美国弗吉尼亚大学物理系教授.

黄克孙

## 回忆普林斯顿的岁月

---

1956—1957年，作为博士后，我在普林斯顿高等学术研究所度过了两年光阴。那是值得怀念的岁月，因为我有幸同杨振宁一起搞研究工作，朋友们都叫他 Frank。

他同妻子杜致礼、以及他们那时候唯一的儿子 Franklin（即光诺）住在卡特路。我还记得怎样开着我的第一部车子去那里吃晚饭，那是一部 1950 年的浅蓝色普利茅斯。那时，他们的起居室刚铺好盖满整个地板的厚厚的白地毯。为了使餐厅的房门不致刮着地毯，要把门卸下刨短。在这件事上杨振宁显然遇到了些麻烦。我到他家时，他正在犯愁，他刨过了头，门下边的缝太大了。

晚饭后，我们下中国象棋。我从没见过有谁像杨振宁那样下法：每走一步棋都要考虑得那么苦、那么久。凌晨两点，第一盘棋仍激战犹酣。杨振宁提议：“让我们把这盘棋记下，明天再继续厮杀吧。”可是，我们以后再也没有下完这第一盘棋。

就这样，开始了真正愉快的两年，我常常满怀深情地回顾这一段时光。下面是一些小花絮：

\* 一天，杨振宁一家回到家里，发现一只黄鼠狼正在厨房地板上酣睡。他们惊恐万状，便打电话叫警察。两个警察提着一个口

袋赶来，袋里装了浸透乙醚的破布，他们蹑手蹑脚地把破布盖到了那畜牲的身上。

\* 杨振宁很少衣冠楚楚，我每次见他成套行头时，总是穿那同一套西装。我开玩笑地说，他只有一套西服应付各种婚丧喜事。致礼觉得很好笑，多年以后还重复这句笑话。

\* 致礼娘家姓杜。她说，过去在中国上学时，大家叫她“肚子里”。

\* 杨振宁说，看电影时，只要一脚迈出电影院大门，片子里的内容便一点也记不起来了。他可以一遍又一遍地看同一部片子，可每次好像都是看新片一样。

\* 一次，杨振宁说了个笑话：一个中国人对外国朋友说，中国人吃饭时，大家都往同一个盘子里夹菜，以示亲近。这位朋友想象这种情形，问道：“如果是一张大餐桌，你们怎样才能夹到对面碟子里的菜？”中国人答曰：“用长筷子夹呗”。沉吟片刻，那朋友又问：“如果筷子那么长，你如何把菜送到嘴里呢？”中国人答道：“我们是用筷子喂对面的人吃呢”。

\* 预见到总有一天美国会用高速公路将东西海岸连接起来，杨振宁设想，你在公路这一头取张票，到另一头交买路钱，通行费用必定很可观。但是，如果一个向西开行的司机半路遇到一个向东开行的司机，两人互相交换票据，那么，谁也不用付费了。

\* 杨振宁和我讨论物理学问题时，通常用中文。当远处有个外国人出现，出于考虑，他开始用些英语词语作点缀。等那人走近，杨振宁已经全部转用英语了，做得天衣无缝。

同杨振宁一起工作是很有意思的。他有着孩子般的天真和好奇，还伴随着热情。每当有什么问题做不出来（这是常有的事），我们便长时间对坐，沉默不语（好像下棋走子时的情形），直到其中一人提出一个想法才打破寂静。倘若找到了解决问题的办法，他就声称我们已反败为胜。

杨振宁常形容某些想法“很妙”；如果一个想法真的很妙，他就用“妙不可言”来形容。

杨振宁可以把一个想法长时间束诸高阁，用多年时间等待解决问题所必需的那关键一着。杨振宁-米尔斯规范场论就是最明显的例子。我们共同研究的硬球气体问题也属于这种情形。我到普林斯顿去的前一年，他同卢丁格已经尝试过用费密的膺势替换硬球相互作用，发现除了最低级微扰之外，基态能量发散。后来，卢丁格离开了普林斯顿，杨振宁便把这种想法打入冷宫。我对这个问题同样感兴趣。V. E. Weisskopf 和 S. D. Drell 在麻省理工学院(MIT)指导我做博士论文时，我们克服过核子-核子势中的硬核困难。杨振宁和我重新做这方面的研究，通过一种减去程序，能够避免发散，这样，就为一系列其他应用开辟了蹊径。

杨振宁和李政道提出了有关相变问题的一个普遍理论，并举易兴模型为例加以说明，结果便是著名的“单位圆定理”。爱因斯坦对相变问题深感兴趣，便请他俩向他解释这个理论。杨振宁告诉我，当他埋头于讲述复逸度平面时，爱因斯坦问道：“但是，分子们如何知道呢？”（对这个问题，在威尔逊之后的今天我们依然不得要领。）

一天，杨振宁从城里回来，显得很激动。他告诉我：“理发的当儿，我有个想法。我认为，所有的基本粒子就像固体中的那些激发。而基本粒子间的相互作用，正像声子-声子互作用那样，只不过表白它们不是那么‘基本’而已。我确信这是对的，但却不知道怎样去证明。”30年过后，这个问题仍被束诸高阁。

传统的中国文人把写文章当作一种很高尚的艺术，杨振宁正是用这种精神去对待他的著作。他喜欢杜甫(712—770)的著名诗句：语不惊人死不休。在《选集与后记》一书中，他又引用了杜甫的两句：文章千古事，得失寸心知。

满载收获，我于1957年离开普林斯顿。这段经历是令人激动

的,生活充满了情趣。但是,最重要的是我得到了与杨振宁相结识的殊荣和快乐。那一年稍后,杨振宁和李政道因为正确地指出左和右是天生地不一样从而荣获诺贝尔物理学奖,他们是中国最早的诺贝尔奖得主。正像这件事在物理学界的巨大影响那样,它也使那些知道这一事件象征意义的人们激动万分:一个世纪以来,在西方的“坚船利炮”(制造这些船、炮的技术起源于千百年前的中国)面前四分五裂的中国,要像火中凤凰那样再生了,整整一代的中国青年科学家都受到了杨振宁和李政道所树立榜样的鼓舞。

在对待中国历史文化和对我们各自父母的感情维系方面,杨振宁与我有一种默契。在归化为美国公民时,他动情地说:“近一百年来所蒙受的屈辱和剥削在每一个中国人的心灵中留下了极深的烙印。任何一个中国人都难以忘却这一百多年的历史。我父亲在1973年故去之前一直在北京和上海当数学教授。他曾在芝加哥大学获博士学位。他游历甚广。但我知道,直到临终前,对于我的放弃故国,他在心底里的一角始终没有宽恕过我。”

这种心绪很能引起我的共鸣。因为吞噬我父亲生命的那火一般的激情,就是要使中华复兴。先父于1956年故去,当时我正在普林斯顿。杨振宁在他心底的一角应该知道,对于中华的复兴,他已尽到了超过每人一份的责任。

1964年12月,杨振宁的父母弟妹获准出境到香港与他见面。那时我恰好在香港探视母亲和妹妹,于是我们两家一起在九龙的一间餐馆共庆合家团圆。

1971年我到汉堡的DESY访问。一天晚上,从餐馆出来时我看到街头报摊的大字标题,宣布基辛格已完成其具有历史意义的秘密之旅,从北京返回。其后,我接到杨振宁寄来的一封中文信:“此刻我正登上一架飞机准备飞向北京……”对我来说,这是令人刺激和颤栗的一刻。

杨振宁物理研究工作的根本宗旨是探求对称性并用之阐明表

面上看来不可解释的复杂现象. 这一主旨贯穿在他早期关于两光子衰变的研究, 与李政道共获诺贝尔奖的关于宇称不守恒的研究和杨振宁-米尔斯规范场的发现(最后这一项也许是杨振宁的所有成就中最能历久弥新的)等等成果当中, 这可以解释为何他会被强子碰撞那口沸腾大锅炉中出现的简单花样所迷住. 他和邹祖德在1967年合作研究这个课题, 并不时问过头来再做这方面的工作. 在1986年寄给我有关这个问题的论文预印本封底内页, 他写下了陆游(1125-1210)的两句诗作为题词:

形骸已与流年老, 诗句犹争造化工

70岁时, 孔夫子终于能“从心所欲”. 我祝杨振宁同样能从心所欲, 在未来的许多岁月里更进一步去争造化之工.

本文作者黄克孙祖籍广西宁明. 他在广西梧州度过了童年时代, 其时他的父亲在广西大学(梧州)任教. 黄克孙是世界著名的理论物理学家, 美国麻省理工学院物理系教授. 60年代初黄克孙的专著《统计力学》, 是全世界各大学研究生院争相采用的著名教材, 直至今日仍不失其风采. 他是我国北京大学、复旦大学等许多著名学府的名誉教授. 译注.



高 锟

## 我所知道的杨振宁

“我们同意，为了未来在香港建立新工业，生物技术是科学发展令人兴奋且日益重要的一个领域。”这是我同杨振宁教授，世界上第一个中国血统的诺贝尔奖得主，一次见面时彼此的共同结论。此事发生在几年前，我刚出任香港中文大学副校长不久，礼聘杨教授担任博文讲座教授，每年来校工作三个月，是中文大学的一件幸事。能吸引这样一位知识精英同我们一起共事，这是值得中文大学引以为骄傲的。就我个人来说，能同杨教授共事确系三生有幸。

杨教授敏锐地察觉，科学和技术进步会给全世界尤其是中国予巨大的机遇。他以身处物理学顶峰的优越地位，对许多新科技领域有广阔而明晰的视野。他对中国科技进展的了解也使他对发展中一港之间的合作有清楚的看法。

当时，我同他就发展香港高新技术产业之重要性进行了交谈。我们注意到了世界上的工业从劳动密集转向低成本型的潮流，以及这种转变对香港的影响。话题很快转到了生物科学上。杨教授说，他高兴地获悉，生物技术正被考虑。他曾同生物技术领域的许多科学家交换意见，对中国在这方面的进步印象深刻。他认为我们可就这一话题进行深入的交谈。他引述了中国在诸如免疫、单克隆抗体用于诊断以及器官移植等方面的技术状况以说明他的观点。

几个月后,杨教授提出了能帮助香港开始实施生物技术计划的具体人选.他参与起草所有给政府和可能的捐助机构的建议书.他参加了几个关键的听证会.他的威望,以及他对真实、准确的特别注意,使我们终于成功地引起了香港各界对发展高新技术工业的关注,并使我们香港中文大学同中国的联系处于有利地位.

同杨振宁教授的这次相遇使我对这位杰出人物有了更清楚的了解.作为一位物理学家,他获得的巨大成就不仅仅由于他是一个天才.他不但思想深刻,一丝不苟,而且还有永不满足的求知欲.他的学习热情一直贯串着他那无与伦比的硕果累累的70年生涯.在步入八秩之际,他对知识的不断追求进入了一个更加广阔的境界.

他的道德文章,堪作我们的楷模.人们说,由于他和李政道在50年代荣膺诺贝尔物理学奖,学习理论物理的中国学生数目大大增加.在某种意义上,这反映了一种民族骄傲.方今这个看问题要从全球着眼的时代,他为人子、人夫、人父,以及作为一位教师,一个有使命感的完美的人,在在都为大家树立了榜样.

世界各地都欢庆他的70寿辰,我有幸参加了在香港的庆祝会.宴会结束后,杨先生作了长达50分钟的演说.参加晚宴的有许许多多的人,包括他的老师,最著名的吴大猷教授.即使是长时间宴会之后,在他发表演说时,大家都没有退席,被他谈到的一生丰富经历吸引住了.50分钟很快就过去,听众都感到从中学到了许多有价值的东西.同这位杰出的做人楷模每次相见,我都留下了珍贵的记忆.

本文作者高锟,1933年生于上海,伦敦大学工程博士,现任香港中文大学校长.他是国际知名的光导方面的学术权威,曾获巴伦坦奖章等科学大奖.译注.

罗伯特·米尔斯

## 美丽与真确

——量子规范理论是否足够美丽,以至它是真确的?

---

被邀请为庆祝杨振宁 70 寿辰而出版的专集著文,感到极之荣幸. 他是我多年的朋友. 我的名字像标签一样, 终生地同他这样一位物理学家的大名紧密联系在一起, 不但是——一件幸事, 而且还是不可言喻的乐事. 物理学家和学物理的学生遇到我时, 总爱发出“我的天哪, 您真的是杨振宁-米尔斯中的那个米尔斯?”这样的赞叹. 遇到这种情形, 我总是不自然地解释道, 虽然相信自己对建立杨振宁-米尔斯理论作出了有用的贡献, 但当时我初出茅庐, 是运气使我同聪明过人、对年轻物理学家又极慷慨大方的杨振宁走到一起. 从在中国当学生时起, 他就一直考虑物理学中的局域规范不变性以及把规范不变性思想推广出去这一类问题. 经过深思熟虑, 把这种想法仔细地用一种形式体系表达出来的时机成熟了. 同杨振宁的那次合作之后, 我从事了我认为有价值的其他研究, 但是这些工作从来没有像我们 1954 年合作的论文那样对物理学产生这么大的影响.

(以下的学术论文内容从略)

本文作者罗伯特·米尔斯是美国俄亥俄州立大学教授。

## 附 录

杨振宁和米尔斯<sup>①</sup>

罗伯特·米尔斯

.....

本世纪 50 年代初,人们,其中特别有杨振宁(1922— )开始考虑局域规范不变性在物理学中可能有更普遍意义的这一思想.当时杨振宁正在新泽西州的普林斯顿高等学术研究所.在这以前,即早在中国昆明西南联大做研究生时,他就对电荷守恒与规范不变性之间的关系,特别是电磁本身的结构可由规范不变性这单一要求所唯一地确定这一事实有了极深刻的印象.1945 年到了美国,并在芝加哥大学做研究生之后,他就开始试图把规范不变性推广到其他守恒定律,特别是同位旋守恒上去.虽然自那时起已出现了各种类型的许多守恒定律,但是在当时看来与电荷守恒定律类似的仅是同位旋(那时在英语中通常称为“isotopic spin”,而现在通用的是“isospin”)守恒.这是一个不完全的守恒律,虽然它在电磁相互作用和弱相互作用下会受到破坏,但是它在强相互作用下显然是严格成立的.很容易想象一个只有强相互作用的世界,在其中

① 摘自罗伯特·米尔斯,规范场,《自然杂志》第 10 卷,第 8 期.

同位旋守恒及相关的对称性是严格有效的. 如果可以推广规范不变性思想, 那末结果应是强相互作用的一个完整理论, 并以同位旋为造成这一强相互作用的“荷”, 而新发明的规范场则为“粘胶”, 起着电磁场在电动力学中所起的那种作用.

1953—1954 那一学年中, 杨振宁在纽约市东面约 80 公里的长岛上的布鲁克海文国立实验室任访问学者. 在那里, 当时世界上最大的粒子加速器—— $2\sim 3\text{GeV}$  的考司莫加速器正开始产生出大量人们所不熟悉的新粒子, 它们在随后的岁月中改变了物理学的面貌. 我当时接受了一个博士后的工作, 也在布鲁克海文, 并与杨振宁使用同一个办公室. [其时我正在纽约哥伦比亚大学克罗尔 (N. Kroll) 指导下慢慢地撰写对于四阶兰姆移位可能有的贡献进行研究的毕业论文.] 杨振宁当时已在许多场合中表现出了他对刚开始物理学家生涯的青年人的慷慨, 他告诉我关于推广规范不变性的思想, 而且我们较为详细地做了讨论. 我那时已有了量子电动力学的一些基础, 所以在讨论中能有所贡献 (特别是关于量子化的过程), 而且在计算它的表述形式方面也有小小的贡献, 但是一些关键性的思想都是属于杨振宁的. ……

聂华桐

## 26 年

——为庆祝杨振宁教授 60 寿辰而作

---

26 年了. 是的, 那是 26 年前的 1966 年, 杨振宁教授从普林斯顿来到石溪, 就任理论物理研究所所长一职. 他的到来, 改变了石溪这所年轻大学的面貌, 也改变了许多人的生活. 我就是其中的一个. 我追随他和已故的李昭辉教授, 比他们迟几个月到石溪来, 直到如今. 我至今仍生动地记得李昭辉在物理系老楼杨振宁那间布置得很雅致的办公室里把我介绍给他时, 我那种兴奋、敬畏和有点局促不安的心情. 对我来说, 他虽然只有 44 岁, 却已经是一位传奇式的人物.

35 年前, 授予年轻的杨振宁和李政道诺贝尔物理学奖, 以表彰他们划时代贡献的这件事, 给所有中国人, 不论他们生活在何处, 都带来了骄傲和希望.

1840 年鸦片战争一个多世纪以来, 由于战败和羞辱, 中国人怀疑自己不能在科学上做出成绩. 荣膺诺贝尔奖这件事使这种情绪一扫而光. 一个古老而骄傲文化的自我观念也被这一事件彻底改变, 一去不复返.

杨教授出生在一个有强烈的中国传统价值观念,同时又放眼世界的知识分子家庭。他在日本入侵这一困难时期长大。在这种困难当头的社会环境里,中国民众,尤其是知识分子渴望着民族自尊心得以恢复。因此毫不奇怪,杨教授一生对中国的一切事物,不管是古代的还是现代的,都深感兴趣并热切地期待中华文化的复兴。

过去的年代,中华文化作为最古老的一种文明,在技术上曾有过光辉的发现和发明。但是,我们今天所理解的那种意义上的科学,却从未在中国繁荣过。现代科学源于欧洲,花了几百年才移植到亚洲。东京大学于1886年成立,可以作为现代科学在日本肇始的一个象征。本世纪初年,中国开始派留学生到西方去学习科学与工程。杨教授的父亲1928年在芝加哥大学取得数学博士学位,是最早回国的留学生中的一员。他们回到中国便热情地着手在中国建立现代科学。令人吃惊的是,只经过短短一代人的时间,就培养出了像陈省身、华罗庚、钱学森、吴健雄、林家翘、杨振宁和李政道(我们只列举少数几个)那样璀璨的科学明星。

回顾这段历史,人们不禁想到,汤川秀树(日本人,1907—1981,1949年诺贝尔物理学奖得主,译注)、杨振宁和李政道等人的名字或许真的在预报东亚的崛起?西方用了几个世纪才完成的工业化进程,东亚只用较短的时间就完成了。是否根植于孔子学说的注重教育和学问的文化传统,真的在为科学、技术的繁荣提供肥沃的土壤?展望21世纪,人们能对远东,尤其是中国抱有什么期望?我知道杨教授是个乐观主义者。无疑,他是一个热爱中国的人,他的乐观主义有着坚实的基础。

石溪理论物理研究所的大多数同事都是奔杨振宁而来的;他是磁石。相信石溪的所有同事都会同意我的意见:杨振宁不是那种典型的帝国建造者,他在自己的周围吸引了一圈人,各人按自己的兴趣在做各自的事。他鼓励我们从事自己感兴趣的工作,并尽其可能给予我们帮助。



回忆起来,开始时,杨振宁的物理学风格确实是我始料不及的。令我诧异的是,他对大多数流行的理论推测都持一种保守的怀疑态度。这种保守性竟然来自那个曾经系统地分析过宇称不守恒这种激进想法,并且使我们关于自然界基本相互作用基础结构的思想发生了革命性转变的人,委实令人吃惊。在理论观点上他不赶时髦,而是脚踏实地从实验的或理论的基础出发,深入事物内部,努力求得对所涉及物理问题的本质了解。有时,他会被某种漂亮数学结构的优雅所倾倒,这种数学结构或许对物理学可能有潜在的意义。对他来说,随意的猜测是没有特殊价值的,最主要的是,他相信这样做不会有什么结果。他的风格是,既有寻根问底的想象力,同时又循规蹈矩。在谈到物理学的进展时,他明确地对那些空泛或轻率的想法表示强烈的憎厌,虽然不久前他承认,那些投机的冒险者有时可能也有所斩获。杨教授在众多的场合总是劝导心怀大志的年轻人把注意力集中到“活生生”的物理学上。他所指的就是那种能够导致硕果累累的新发展的物理学。他劝导年轻人要脚踏实地,努力探求本质上的了解,不要掉进无稽,因而也就是无结果猜测的泥潭而不能自拔。

杨教授的成就中,宇称不守恒或许最引人注目;而杨振宁-米尔斯规范场理论则对基础物理学的发展意义最深远。用他自己的话来说,易兴模型自发磁化的计算最费功夫。像我一样,许多人被他在解决一维 $\delta$ 函数势模型问题时表现出的灵巧所折服。这项研究导致杨振宁-巴克斯特方程的提出。杨教授取得这么多的成果,这对我和我所认识的许多人来说,真是一个奇迹。这些成果将作为物理学流芳百世传统中的真正遗产而代代相传下去。

认识杨教授的人,无不对他的物理学见解留下深刻印象,这是很自然的。同时,大家还惊叹他的知识面之宽广,举凡考古、艺术、历史、中国文学,甚至较为“世俗”的方面,诸如中国的经济发展及香港的政治过渡等,他都知之甚详。过去 26 年,尤其是近 10 年来,

我有幸从无数次平等的交谈中亲身领略了他的睿智。我们的交谈一般在办公室，有时也在本地的餐馆中进行。我深深地珍惜这种特殊的荣幸。有时我们一起吃午饭。就餐时我们评论物理学，表述对爱因斯坦、狄拉克等人的敬佩，追忆杨教授当年在中国的岁月，回顾他的老师如吴大猷、王竹溪、费密和泰勒对他的影响，他同李政道教授的合作，他如何做出那些重要的研究，以及五六十年代物理学的情形，等等。我们还一起考虑过东西方文化和教育的差异，讨论过中国科学的发展。所有这些使我得以近在身边窥见这么个不寻常人物的心灵，它代表了保守主义与创造性之间、物理的直觉与数学的抽象之间，以及杰出的分析能力与概念上的想象力之间的一种平衡。正是个性和智力品质的这种结合及平衡，使杨振宁教授得以成为本世纪最伟大的物理学家之一，也造就了他的这么一种独一无二又令人神往的人格。我常常想，在许多方面，杨教授身上集中体现了东西方传统之间最微妙最恰当的平衡。

26年来，杨教授对我生活的各个方面产生了巨大的影响。我期望着使人得到快乐和鼓舞的下一个26年的到来。

本文作者聂华桐是美国纽约州立大学石溪分校物理系及理论物理研究所教授。

## 附 录

### 我所知道的杨振宁<sup>①</sup>

——1982年9月访问中国科学技术大学时的演讲

聂华桐

今天很荣幸能够到这儿来跟大家见面,介绍一下杨振宁先生的治学和成就,以及他的为人.大家都知道杨先生是安徽省合肥市人,我来到这儿感到特别亲切和高兴.我跟杨先生相识16年了,对他的做人以及做学问的态度,对他的成就有一点了解,今天就借这个机会向大家作个介绍.

#### 一 根

杨先生于1922年9月22日出生在合肥.6岁以前是在合肥度过的,后来随父母到厦门、北京.抗日战争开始后,他全家又从北京回到合肥,然后经武汉、香港、越南的海防抵达昆明.他16岁时以同等学历考进了那时在昆明的西南联大,开始念化学,因为那时

① 摘自《物理》杂志,第13卷,第6期.

他还没学过物理,直到进了西南联大以后才对物理发生兴趣.他是1938年进西南联大,1945年毕业的.年纪稍大一些的人也许经历过抗战时期,那时的确是非常艰苦的,而且辗转各地,生活很不安定.西南联大的校舍非常简陋,可是教员和学生的教学和学习热情却非常高.杨先生一再跟我谈起,而且还给我看了一些照片,可以看出那时的物质条件实在非常艰苦,比现在的中国科学技术大学可以说是差得很多很多.可是师生们却以那样高涨的热情来教书和读书.按我的想法,他们那样努力,绝不是仅仅为了个人,而是为了整个国家,有使命感.不然的话,很难想象在那么艰苦的条件下,教员那么用心教,而学生又那么用心读.

1942年,杨先生从物理系毕业,他的毕业论文是跟联大的教授吴大猷先生做的.也许在座的有些人还记得吴先生,他那时刚从美国回来不久,做的是关于分子光谱方面的工作.他就让杨先生用群论的方法把分子光谱的一些问题搞清楚.所以杨先生当时对群论、对称性等有了一些基本的了解.杨先生以后一再讲他自己所做的工作,比如关于宇称不守恒以及后面要讲到的规范场都与那时候的学士论文有一定的关系.杨先生在西南联大毕业后继续留在那里做硕士研究生,那时他的导师就是现在北京大学的王竹溪先生.当时王先生刚从英国回来,他的专业方面的工作是统计物理,所以杨先生的硕士论文是统计物理方面的工作.杨先生后来在统计物理方面也有很大的贡献,到了美国以后做了很多工作.他自己常常讲,他在统计物理方面的工作,根源可以追溯到在西南联大跟王先生做论文的那段时间.他一再讲,他自己这一生在物理上的见识、视野、鉴赏能力,以及对物理的基本态度,可以说是年轻时在中国奠定的基础.我强调这些是要使大家感觉到只要有条件,自己肯努力,又能够有合适的发展机会的话,中国是能够出很多人才的.杨先生在西南联大的时候,条件那么艰苦,但是他掌握住了物理的基本精神,由于在西南联大受到的教育,到美国以后结出了硕

果,而根是在中国,杨先生一再提到这一点,从中国去石溪访问的好几位朋友也常常听到杨先生这样讲.杨先生对自己的“根”从来没有忘记过,他身在美国,心里对中国的情形是非常记挂的,一直关心中国各方面的发展.

## 二 芝加哥大学和普林斯顿

杨先生是1945年去美国的.可能大家知道那时有一个清华基金,是美国用庚子赔款的钱设立的一个基金会,接受中国学生到美国去留学.当时杨先生考取了物理系的一个名额,去美国念研究院.他于1945年离开中国经过印度,然后坐船到美国.到美国时已经是1945年的冬天了,所以他于1946年的春天开始在芝加哥大学做研究生,学物理.那时的芝加哥大学是第二次世界大战后美国一个有名的物理研究中心,原子弹就是费密在芝加哥大学研究发展出来的.杨先生到了芝加哥大学以后,感到自己比较缺少训练的是在实验方面,因为在西南联大那种物质条件下做实验非常困难,因此就决定在实验物理方面做他的论文.从1946年到1948年,他在实验室里工作近两年,一方面做实验,一方面也继续在理论上做一些工作.可是杨先生在实验工作方面的进展并不很顺利,近两年的时间,没有做出十分理想的工作.当时芝加哥大学还有一位教授,叫做泰勒,也是一位很有名的物理学家,在美国号称氢弹之父,氢弹就是在他主持下研制出来的.泰勒对杨先生非常赏识,他对杨先生说,你既然已做了近两年的实验,现在看来还不是很有头绪,那你还是转回来做理论工作好了.的确,当时在芝加哥大学,杨先生在理论方面是高人一等的,他对新发展出来的许多理论工作都有相当多的了解.当时芝加哥大学最有名望的是费密教授.据传说,当费密不在的时候,同学有了问题就去找杨先生.由于自己在西南联大的根基以及他后来的不断努力,他在芝加哥当学生的

时候已远远超出同辈同学的水平了。

杨先生在1948年接受了泰勒的劝告转做理论工作后,很快就做了一些很有价值的工作,在半年之内泰勒就建议他拿博士学位。所以在1948年夏天,杨先生就得到了物理学博士学位。由于杨先生学业上出众,芝加哥大学就把他留下来做讲师。大家也许不了解,1949年那个时候,美国的种族歧视还是比较严重的。杨先生是一个中国人,能够留在那样的学校做讲师,是一件很不容易的事情。他在芝加哥大学做了一年讲师以后,又转到了普林斯顿高等学术研究所工作。当时的普林斯顿高等学术研究所是爱因斯坦所在的地方,那里还有其他几位世界著名的物理学家。他到普林斯顿以后做了一连串重要工作,粒子物理、统计物理方面的工作都是非常重要的。因此他在普林斯顿高等学术研究所就从短期转成了比较长期的工作,最后留下来做教授了。

### 三 获诺贝尔奖的宇称研究

杨先生和李政道先生合作开始于1949年。李政道先生是1946年到芝加哥大学的,比杨先生年轻几岁,班次也晚几年。杨先生先去了普林斯顿高等学术研究所,李先生后来也到了那里。从那个时候开始,他们就有了非常密切的合作,在基本粒子物理、统计物理方面,他们都有很重要的贡献。在他们开始合作以后不久,美国一些新的高能加速器造出来了,发现了一些新粒子,有一些非常令人迷惑的现象,原有的物理理论不能解释这些现象。所以在1953—1955年间,这种种现象和问题就成为当时基本粒子物理中最使人关心的问题,有各种各样的讲法,各种各样的猜测,各种各样的理论,都想要解释这些令人迷惑的现象。杨先生和李先生他们共同从各种不同角度去推敲,想办法来解决这问题。搞物理的人原来最相信的原理之一就是所谓宇称守恒定律。所谓宇称守恒,是说

物理规律在最深的层次上是不分左右的,左边和右边没有区别.大家一致相信这是物理学中一个最基本的原则.当时他们就很大胆地设想,如果不接受宇称守恒这个假设,那么很多令人迷惑的现象就不会使人感到迷惑,问题就可以解决了.但是提出这个猜想还不够,还必须能够证实这个猜想.他们对当时已有的物理工作做了很仔细的分析,提出了几个根据当时的情形可能做得出的实验来验证他们这个猜想.吴健雄先生和她的几个合作者立即着手去做,而且很快把实验就做出来了,证实了他们的猜想是对的.这是1956年的事情,这件事对整个物理学界轰动很大.当他们最初提出宇称可能不守恒的时候,世界上一些最有权威的理论物理学家都是不信的,实验的结果出来以后,不信变成了惊讶和赞美.实验证明了杨、李的猜想是对的,同时也说明了科学的进展有时候要靠年轻人不顾权威的反対,大胆提出新的见解.当然,新见解不能是个空的见解,而要经得起检验.杨、李的见解轰动了物理学界,成了以后物理学中弱作用理论的基石.由于这一工作,杨振宁和李政道共同获得了1957年诺贝尔物理学奖金.

#### 四 统计物理和高能物理

大家也许有个印象,以为杨先生在物理学上的贡献就是这个宇称不守恒.的确,这是杨先生在物理学中一个很突出的贡献.可是杨先生对物理学的贡献不只是这一个方面,他在其他方面还有很重要的贡献.我在这里简单介绍一下.

首先是统计物理方面.他从在西南联大跟王竹溪先生做论文的时候起就对统计物理感兴趣,到普林斯顿高等学术研究所以后,又有了一些新的发展.这个新发展是基于1944年化学家昂萨格所做的有关统计物理的一个很重要的工作.昂萨格的结果是非常不容易懂的,而且他怎样得到那个结果也是非常不清楚的.大家都觉

得他的结果是对的,而其中的一些道理却又弄不太清楚,于是杨先生就着手对这个工作进行研究.他对我说过,他在这个工作中所花的工作量远远超过他的其他工作,杨先生花了一年的时间推出了昂萨格的结果,物理意义弄得很清楚,数学上处理得也很干净.他这篇文章是1952年发表的,现在变成了一篇经典性的文章.杨先生在统计物理方面除了刚才提到的那件工作以外,在以后十几年里,他和李政道先生、黄克孙先生、吴大峻先生,还有杨振平先生(杨先生的弟弟)分别合作,做出了相当重要的工作,所以他在统计物理中有很高的地位.再一方面,他在高能物理领域的贡献也很重要,其中之一是他和他的合作者对高能粒子碰撞现象的研究.60年代以来,在美国以及在西欧有了能量较高的加速器,记录了许多新的数据.杨先生和他的几位合作者(如吴大峻、邹祖德)用比较简单的几何图象分析了这些高能物理的散射数据,得到了很好的结果.

## 五 最高成就——规范场

我最后要介绍的就是所谓规范场.大家都知道电磁学的基础就是那组麦克斯韦方程式.那组方程式有一个性质叫做规范不变性,所以最早关于规范场的理论就是电磁学.电磁学加上量子力学就成为量子电动力学,这个理论无论在实验上还是理论上都越来越证明是正确的,现在被公认为最成功的一个物理理论之一.到了50年代,实验上又发现了其他的一些现象,这些现象相当于某些相互作用具有同位旋不变的性质.同位旋是一个守恒量子数,性质和电磁场中电荷守恒有些类似.杨先生由此就问为什么不可以把同位旋守恒的性质也变成一个规范场的理论呢?他告诉我,他在做学生的时候就在考虑这个问题.1954年把这个问题解决了,提出了现在所谓的非阿贝尔的规范场理论.他和米尔斯两人最初写出



这篇文章时并不受重视,因为其中还有很多问题没有解决,物理的发展也还没有达到需要它的成熟阶段,许多现象还没有在实验中发现.但这一情形慢慢在转变.到了60年代,由于实验的进展,对弱相互作用现象的知识越来越多,于是大家想要找到一个弱作用的理论.弱作用是人们研究已久的一种相互作用,比如 $\beta$ 衰变, $\mu$ 子的衰变等,都属于弱作用的范围.十几二十年来,理论物理中一个很重要的尝试就是寻找这样一个完整的弱作用理论,可是一直没有成功.到了60年代,最初是一个叫格拉肖的物理学家,继而一个叫温伯格,一个叫萨拉姆的物理学家,首先引用了杨先生1954年写的这篇文章中的数学结构,即非阿贝尔的规范场理论的数学结构,来构造一个关于弱相互作用的理论.这些文章在当时也没有受到重视,一直到1970年和1971年,在温伯格、萨拉姆提出的模型上,又有人做了很重要的理论工作,弄清了这个模型的细节,从而使大家认识到了这个理论的确是站得住脚的.不久,在美国以及在西欧的原子核研究中心做的一些实验也证实了这个理论所作的一些预测.于是,在1970年和1972年的时候,大家认为这个弱相互作用的理论已经找到了,而这种弱相互作用的基础就是杨振宁和米尔斯所提出的杨振宁-米尔斯规范场.1954年,杨先生和米尔斯写出文章时,杨振宁-米尔斯规范场还不被承认是物理,而只是一个数学结构,是一个可能对物理有用的数学结构,但到1972年,这个非常简单而又非常漂亮的数学结构被正式承认是物理的一个基本结构,并最后奠定了弱相互作用的基础.

从物理基本规律看,相互作用可以分为四类.一类是电磁作用,根基是麦克斯韦方程组.另一种是万有引力,比如太阳和地球之间的吸引力,万有引力理论,现在当然公认爱因斯坦的理论最成功.而弱作用理论的基本数学结构是由杨先生和米尔斯所提出来的,所以从长期的物理发展的观点来看是非常重要的一个贡献.还有一种相互作用是强作用.这种强作用是指什么呢?我们都知道原

子核是由质子和中子组成的。现在有很多实验的结果来支持我们相信这些中子、质子里面还有更小的东西，在中国叫做层子，大家给它一个名字，叫“夸克”。在夸克和夸克之间的作用决定物质基本结构的形成，这种作用是一种很强的作用，把“夸克”合起来形成质子和中子，这种作用就是我们所说的强作用。好多年来，许多人一直在摸索，企图找到一个合理的强作用理论，但没有成功，直到大约 10 年前，由于弱作用理论获得成功的刺激，有人提出了强作用也是一种杨振宁-米尔斯规范场作用。虽然这还是一个没有最后证实的理论，但在现存的理论中，是成功可能性最大的一个理论。我想在我们这一行当中，大多数人都是接受这个说法的。这就是说，杨振宁-米尔斯非阿贝尔规范场的数学结构也是强作用理论的基本结构。这样看来，电磁作用、万有引力作用、弱作用和强作用，这四种基本的相互作用中就有两种是基于杨振宁-米尔斯非阿贝尔规范场的数学结构。从这一点大家就可以了解到杨先生的这一个贡献是何等了不起。由于这一个贡献，再加上其他种种成就，杨先生现在在世界物理学界的地位是非常崇高的。我们常常可以听到一些物理学家的名字，像麦克斯韦、爱因斯坦，量子力学初建时的海森堡、薛定谔以及狄拉克。现在再要往下排的话，我想杨先生的名字就要算在里面了。大家知道，格拉肖、温伯格、萨拉姆以杨振宁-米尔斯数学结构为基础所提出的弱作用理论，为越来越多的实验所证实，三年前他们得到了诺贝尔奖金，现在强作用理论也用杨振宁-米尔斯场作基础，因此有些美国朋友在议论杨先生是不是应该得第二次诺贝尔奖金。这并不是一句开玩笑的话，假如他没有得第一次诺贝尔奖金的话，我想他与米尔斯的这个工作是足可以获得诺贝尔奖金的，因为这个工作的重要性不是局限在一个小范围内，而是整个物理学的长期发展中的一个环节。60 年代，当杨振宁-米尔斯非阿贝尔规范场理论还没有被接受为真正的物理的时候，杨先生在物理学里的贡献就已经了不起，在杨振宁-米尔斯结构逐步

被证实为弱作用以及强作用基本结构的今天,杨先生的声望一天比一天高,现在世界上和他的贡献相当的理论物理学家不是很多的。加州大学有一个相当有名的物理学家,叫 Segré,前年他写了一本比较通俗的科技书,介绍从 X 射线起直到最近的一些物理学上的发展,是一本写得很生动的书。在谈到物理学家时,他认为在这几十年中可以算作全才的理论物理学家有三个,一是费因曼,现在 65 岁,在加州理工学院,是个声望很高的物理学家,在很多方面都有很重要的贡献。第二个是俄国人,叫兰道,这个人也是个全才,在多方面有很重要的贡献,对各方面的见解也很深刻。第三个就是杨先生,杨先生在理论物理的许多方面都有很重要的贡献,而现在看来,最重要的贡献就是杨振宁-米尔斯非阿贝尔规范场理论。我自己想了想,觉得这三个人当中,兰道虽然是很聪明的一个人,而且对物理学有很深刻的了解,但从基本贡献来讲,他不能比得上杨振宁和费因曼。我以为在目前还健在的物理学家当中,贡献最大、最了不起的是狄拉克,再往下数就应该是杨振宁,还有费因曼这些人了。所以杨先生在国外华裔的心目中是一个骄傲,他在物理学上的成就是 10 年、20 年或是 30 年中都不容易出现的。他能够取得这么多成就,与他自己的才华,与他自己的努力,与他的境遇都是有关系的。在国外,我们讲到杨振宁以及他的成就时,心里都是很骄傲的。同时由于他的成就太大,对我们这一辈人也产生了很大的压力,压力在于我们要接近他的水平,甚至就只是作出像他所做的一小部分都是做不到的,我想国内去的人都会同意我这个讲法。

## 六 血浓于水

我前面讲过,杨先生是牢记根本的一个人,对中国有非常深厚的感情。他常常谈起在中国生活学习的那些日子,对于抗日战争期间流离失所的情景记得非常清楚。多年来和他相处,我深深感到他

对中国的关心,关心中国人的生活是不是在改善,关心中国的科学技术是不是在朝着正确的方向发展,关心培养中国的人才,关心中国的前途.对于在美国的中国人,他也在可能的范围内,尽力扶助,不仅我们这批知识分子,就是在华侨社会的人,也都得到了他的帮助.这种血浓于水的感情,对于中国的那种骨肉之情,在我和他相处的16年里,是深深地感受到了的.我常常想,杨先生从来没有忘记过自己是个中国人,他留在美国,心里一定有很多矛盾的.他1945年到美国,一直到1964年才归入美国籍,拖了近20年,可见他并不是很安然加入美国籍的.1971年,中美关系稍有松动,他马上就决定回中国来看一看.回到美国以后,他对中国的情形作了很多报告.由于他的名望和地位,他的作风和为人,他的演讲和报道在美国社会起了很大的作用.在当时中美关系还没有解冻的情况下,他这样做,是担了相当大的风险的,但他认为正面报道中国在各方面的许多发展是他的义务.由于他在学术上的地位,他经常到欧洲、南美洲、东南亚、日本等地去讲学或访问,大家往往都要求他做关于中国情况的报告,他的报告在这些地方,尤其是对当地的华侨产生了很大的影响.许多美国人,尤其是科学家对中国持友好态度,愿意同中国亲近,杨先生的功劳是非常之大的.杨先生还花了不少时间,尽力为美国的华人做些事情.譬如,在美国有一些华裔认为美国的华人不够团结,于是组织了一个全美华人协会,发起人中有何炳棣教授(他是芝加哥大学历史系的,在美国史学界声望很高)、任之恭教授,等等.他们认为在美国的中国人应该联合起来,对中美关系的改善作出贡献,对于在美国的华裔社团能有所帮助.在华盛顿举行筹备会议时,他们邀请杨先生参加,并推选杨先生做主席.杨先生开始时考虑到学术工作忙,很难抽出很多时间去做这方面的工作,再三推辞,可是协会的人认为杨先生在美国华人里声望最高,杨振宁这名字也是在美国社会里为很多人所熟悉的,一再坚持要杨先生做主席.就是在这种情况下,杨先生做了这个协会的

主席。对他个人做学问来说这是一个牺牲。这个协会建立以后做了大量的工作，在宣传中美人民之间的友谊，促进中美建立邦交等方面发挥了作用。譬如，在中美建交之前，全美华人协会在报纸上发表声明，极力主张中美正式建立邦交。此外，以杨先生为主席的全美华人协会还尽力去促进美国华人的团结。在美国几个华人集中的地方有所谓“中国城”，像纽约、旧金山、洛杉矶、夏威夷就有“中国城”。在“中国城”的人，很多是以前到美国去做苦工的那一批人的后裔。“中国城”里，有不团结的现象，杨先生花了不少时间，费了不少力气，设法来把华侨社会团结起来，一方面能为华侨自己争取福利，另一方面也能为中美之间的交流作出更多的贡献。

## 七 治学：才智和个性的融合

下面就杨先生的治学态度和精神，谈谈我的感想。大家都知道，杨先生的成就是很大的，不夸张地说，近几十年来科学里有这么大成就的人为数不是很多的。但如果这由于他是个天才，我就看就浮于表面了。我认为他今天能有这么大的成就，是他的个性和才智融为一体的结果。当然，杨先生的才智很高。但是为什么世界上许多聪明的人没有作出贡献而他作出了贡献呢？我个人认为，这是因为他性格中的很多成分不是许多其他人所具有的。我常常和一些朋友谈起这些事情。我所能得出的结论就是，杨先生具备一些一般人不能同时具有的性格。

杨先生是非常实在的一个人，他做的工作都是扎扎实实的，他自己从来不做虚功，不做表面文章。他的工作都是有内容的，而且这些有内容的工作都是他反复慎重考虑过后做出来的。讲求实际效果，实实在在，这是他的一种性格。但通常一个非常实在的人往往容易缺乏想象力；同样地，一个想象力丰富的人又不容易很实在，往往容易变得想入非非，想些不切实际的事情。可是杨先生一

方面很实在,另一方面又有十分丰富的想象力,这是他很重要的一个特点。

杨先生的兴趣非常广泛。他对中国的古典文学、中国的历史,对传记和考古——中国的以及埃及和其他许多地方的考古等都了解得很多,而且他也爱好音乐、艺术和摄影。前面讲到杨先生在物理方面的兴趣也是广泛的,在统计物理领域,在万有引力理论方面,在强作用与弱作用的理论方面,他都有兴趣,他对纯理论的东西有兴趣,对实验的东西同样也感兴趣。这是他的一个特征。多方面的兴趣使他随时都在吸收新的东西。而在这同时,他又能够坐下来做工作,做很深入的工作。一般说来,兴趣太广了往往难以收下心来对一件工作钻得很深。杨先生令人惊讶的一点就是:他对多方面的事情深感兴趣,而同时又能坐下来就很多问题进行深入研究,并且作出重要的贡献。杨先生对我说过,他感到国内经常使用的一些字眼并不是很恰当的,比如“十年寒窗”的提法,要学生苦读。他认为假如一个人读书觉得很苦的话,要把学问做得好,要出成果,恐怕是很困难的。你对一件事情有兴趣,才有可能在这件事情上取得很大成就。一个人要能出成果,一个因素就是要顺乎自己的兴趣,然后再结合社会上的需要来发展自己的特长。如果你做一件工作感到非常苦,那是不容易出成果的。对杨先生来讲,做学问是一种乐趣,我从未见到他做学问的时候感到苦恼,“十年寒窗,埋首苦读”,不是他的形象,他是顺其自然,发展自己的兴趣。他很自然地很多东西发生兴趣,随时都在观察,随时都在提问题,随时都在思索答案,这就是他能够对很多问题都有深刻了解的原因所在。他对随时随地提出的问题都有一个见解,一个答案,成年累月积累下来,知道的东西越来越多,了解得也越来越深刻,难怪每个人一跟他接触都会感到杨振宁懂得那么多,了解得那么透彻,好像什么事情比你本行懂得还多!这一点对发展国内的教育是一个很重要的启发。我们这些人,包括杨先生在内,有这么个感觉,就是国内教育

比较窄一些，主要注意的是灌输知识，而比较不注重发展学生的兴趣。多学习些，当然很好，可是假如能改变一点，除了灌输知识以外，同时又能提高学生的兴趣，我想收到的效果，从长远的观点来看是不可估量的。我对中国科学技术大学（以下简称科大）的一些朋友讲，科大招收了优秀的学生，不需要担心学生学得不够，我提倡科大最好把课程都放松一点，不要使学生一天到晚就是为了分数去忙，让学生能够自由发展，能够多想些问题、多问些问题，多做些有创造性的事情。培养了兴趣，养成了思考的习惯，这对以后的发展，对一个人的成长关系重大。每当杨先生对我讲起这类问题的时候，我很快就体会到他的心情是什么。一个人要用功读书，这是对的，可是除了用功之外，还要提倡能够想办法发展每个人的兴趣，有了兴趣，“苦”不是苦了，而是乐。假如到了这个境地，我想很多工作就比较容易出成果了，很多事情就不单单是靠尽责任、尽义务去做了。今天在座的有许多是大专院校的老师，我特别在这里向大家呼吁，在教学方面最好是能够提高学生的兴趣，去启发他们，让他们自己去发展自己的知识而成才。

我再谈谈杨先生另外一个很突出的品质，我想这种品质对于发展科学技术、发展学术以至做任何工作都是很重要的。这个品质就是诚实。一般来讲，诚实往往是指人与人之间相处的那种诚实，在这个意义上讲杨先生当然是诚实的，他对人坦诚，不会虚假的那一套。可是我觉得更重要的是他对自己诚实。我为什么讲这一点对一个人做学问很重要呢？做研究工作的人都会了解，当一件事情是未知的时候，常常是非常混乱的一个局面。要从一个非常混乱的局面中把一个正确而且真实的东西找出来，假如你不是一个对自己很诚实的人，那是不容易做到的。比如你用枪打鸟，你拿着枪拼命乱开是打不到的，只有枪对准了才可能打到鸟，做学问也是如此。诚实是做学问的基本要求，有些人容易自我欣赏，自鸣得意，甚至于自欺欺人，这就很难抓到真实的东西。一个人只有对自己非常诚

实,总是对自己怀有疑问,常常更正自己的见解和观点,常常老老实实去思考自己在这件事情上做的是对还是错,力求抓住事情的本质,才能真的抓到事情的本质,而不仅仅是抓住一些表面的虚像.我认为杨先生具备了这种品质,许多有成就的科学家也都具有这种诚实的品质.

杨先生还有一个特点是大多数人不常有的.一方面,他非常实在,不做表面文章,而另一方面,他的思想又非常容易受到激发,在新的物理现象面前充满激情.比如像宇称不守恒的种种现象,有些人很实在,对那些事实拼命去分析,却不能产生一种“灵感”去考虑一些“打破框框”的解决办法,可是杨先生和李先生就不同,他们想到的是原来认为不可思议的一些可能性,并且有胆量去抓住那些问题.一些人没有这个胆量,太保守了,产生不出新的思想.一方面很实在,另一方面又能够对新现象有激情和灵感,这也是杨先生又一个难得的特征.

我在这里还要再讲一点.做研究工作的人一般来说是很愿意独立思考的,可是有些人会走极端,“独立”到一个程度,不太愿意去了解别人在想什么,不太愿意去读别人写的东西,对别人的工作漠不关心,而只顾自己去独立思考.当然,一个人如果要做重要的工作,独立思考、独立工作能力是必须具备的,但如果不理会别人的工作,常常就会变成井底之蛙,很多东西看不见了.所以,一个搞学术研究的人还需要能够不断地学习,不断地吸收.另外一种做学术研究的人,他们很愿意看别人的文章,而且把所有能够看到的文章都找遍了来看,学识渊博,很多东西都懂.但如果仅仅去读书,不进行独立的思考,他就没有办法去创造新东西,没办法在科学研究中出新成果.一个健康的结合是什么呢?那就是既能吸收别人的东西,而自己又具有独立思考的能力和习惯,这一点在杨先生身上得到充分的体现.到过我们那儿访问的人都知道,在讨论会上杨先生是经常提问题的,而且带了笔记本,经常把他认为重要的东西都记



下来,他今年60岁了,而且取得了这么大的成就,普通人也许不会去听年轻人的意见,但他却不然。我们每个星期有两三次讨论会,对于有兴趣的讨论发言,他都把它记下来,而且不懂就问。他不了解的,讨论会完了之后他也会找着去问,一直到今天他还保持着谦虚好学的态度。但在另一方面,他对每件事情又都有自己的判断和自己的见解,这种结合也是使他具备了取得成果的又一要素。

## 八 自勉与希望

我上面提到了杨先生的品质和性格的一些特征及这些性格特征的融合,希望大家,也包括我自己,能够从杨先生那里领悟到一些东西。你如果真正要在科学研究方面有点贡献,有一些品质是必须具备的,比较狭窄、比较偏颇的性格往往不容易有大成就。我为什么强调这一点呢?我感到国内在教育方面往往过早地把学生引导到一个方面上去,定在那一点上就不变了。例如,学数学就一天到晚埋在数学里,其他什么事情都不管;学文学的,自然科学就可以不管了;学自然科学的,语文可以不去管了,音乐也不管了。我觉得这不是一条很健康的教育路子。以杨先生为例,他为什么有这么多成就?这不是某一个单一性格造成的,也不是因为他有超人的能力。杨先生的成就反映才智和个性的结合。个性的形成是一个长期、全面的过程,和小时候受的教育,和家庭教育,社会教育,文学的修养,艺术的修养,和你以前多方面的发展都是联系起来的,所有这些东西加起来形成了一个人。所以我在这里借介绍杨先生的成就和他的治学精神的机会向大家呼吁,最好的教育方法是培养年轻人的兴趣,多方面培养他们,让他们得到发展的机会。安徽是个出人才的地方,我今天介绍的杨振宁也是安徽出的人才。希望我们大家在教育方面多多努力,让中国,让安徽,让合肥出更多的人才,出更多像杨振宁这样的科技人才。

比尔·萨瑟兰

## 回忆我当杨教授研究生的岁月 (1966—1969)

通常,都是学生到大学去拜一位著名的教授为师,我的情况则有所不同。我是1963年到石溪的,比杨教授早了3年。我向T. A. Pond教授求助,结果得到了国家科学基金会的奖学金。Pond教授是系主任,他正致力于在一所崭新大学里建立一个新的物理系;而我能得到这笔奖学金,完全是托斯普特尼克<sup>①</sup>的福。石溪分校刚刚建立,我来的前一年,研究生宿舍和物理系办公室就在同一座楼房里。我在华盛顿大学读本科时就认识Pond教授,他给我们上的物理课是我所听过的最好的课。此外,同样重要的是,他给了我一份工作(我协助照管他的研究生,其中一人现在就是我的妹夫)。我相信他的政治手腕,对他要建立一个出色的物理系这点完全有信心。

---

① 斯普特尼克,即俄文 спутник 一词的音译,意为人造地球卫星。1957年11月,苏联领先于美国,发射了世界上第一颗人造地球卫星。这件事对美国有极大的冲击。朝野各界经过深刻的检讨,美国人认为他们在教育和科学研究方面比苏联落后了。为了与苏联一决雌雄,美国各级政府加大了对教育和科学(特别是基础科学)研究的投入,为研读基础科学的大学生和研究生提供更多的机会。所以萨瑟兰说,他得到这笔奖学金完全是托斯普特尼克之福。译注。

事实上石溪物理系研究生入学率每年都翻一番,因此,1976年的照片上(参见杨振宁《选集与后记》)研究生的人数已达 $2^6$ 人(即64人.译注)。

1965年春,我隐约地感觉到系里荡漾着一片激动的气氛。有小道消息说杨振宁可能离开普林斯顿高等学术研究所,接受石溪新近设立的爱因斯坦讲座教授职位并在石溪创立一个自己的研究所。说实话,我对这些事情并不太在意,一方面因为高等学术研究所及其学者对我来说宛如神话里的事物一样不可企及,另一方面,我当时完全耽于自己的事情而无暇他顾,因为当年夏天我就要结婚。可以肯定,在我照管 Pond 儿子 Ward 的时候,谈判正在取得进展。杨振宁真的来到石溪时,他看上去并不像是不食人间烟火,三头六臂。他比我想象的要年轻,并且非常讨人喜欢,一点也不装腔作势吓唬人(我要补充一句,今天他看上去还是这个样子)。然而,他受到系里其他人如此之尊敬,当我问及杨振宁的计划(对我来说,最要紧的是他招不招收研究生)时,竟无人知晓。杨振宁在《选集与后记》一书里谈到我时,用了“缺乏自信”(diffidence)的字眼。我查了查字典,发现这个词含有“腼腆”的意思。这是真的;今天还是依然故我,有点害羞。但是,我居然能鼓足勇气到杨振宁的办公室去要求他考虑接受我为研究生!

我在1966年开始跟杨振宁写学位论文。像当时的大多数研究生一样,我对高能物理感兴趣,如饥似渴地拼命直接向纽约市本杰明出版社购买诸如“李奇极点”那种论题怪里怪气的简装书刊。但是,杨振宁建议我不如搞统计力学,因为这方面的贡献,价值会比较持久,也不那么赶时髦。我想他或许认为我的进取心不够强,因而学不好高能物理!不管情况是否如此,反正我觉得搞统计物理也挺好。1966年秋,他对我的研究工作给出了一些建议:研读他和他弟弟杨振平合写的有关海森堡(W. K. Heisenberg, 1901-1976, 德国物理学家,量子力学的创立者之一,1932年单独获得诺贝尔物

理学奖. 译注)-易兴模型的论文;找出任意维海森堡铁磁体的低温及高温表达式;研读《物理评论通讯》上 Elliot Lieb 关于冰熵问题的论文. 可能不止这些,不过我记得就这么多.

我非常喜欢其中的第一、第三两个课题,不过觉得 Lieb 的论文极为难懂. 我费尽了力气,却并没有真正搞通其中的计算过程. 后来,我同妻子 Veronica 在 1967 年复活节去 Hatteras 角海滩度假. 这是莱特兄弟试飞他们第一架飞机,也就是美国刮风最厉害的地方. 我们躲在沙堆后面. 风把沙子刮到我们身上. 我忽然一下子弄懂了为何 Lieb 的方法能奏效,进而明白,用杨振宁和杨振平关于海森堡-易兴模型的漂亮办法,就能解决任何 6 顶角模型的问题. 我真高兴;很清楚,返回石溪之前我甚至不需要写下什么.

不过,当时我还是一个毫无经验的研究生. 例如,回来后我告诉杨振宁,可以求出变换矩阵的所有本征值,但我认为对这些本征值求和从而算出矩阵的迹(即配分函数)很难. 只消 5 分钟,杨振宁就教会了我,要算迹并不须求出所有本征值,只要把其中最大的那个算出来就行了. 杨振宁很兴奋,不过我觉得,最初他并不相信我能说到做到. 但是我们并排坐在一起,各自按自己的办法求出了答案,结果表明我说得对. 就在我把这些结果写成论文的当儿,杨振宁收到了 Lieb 的一篇论文预印本,它给出了 F-模型(6 顶角模型之一)的解. 这是除我那篇还未发表的论文之外,第一次求得了任意温度下的解. 冰块问题是所有 6 顶角模型在温度为无限大时的极限情形. 于是,我赶紧把论文写完并把它寄到《物理评论通讯》杂志. 这个成果后来成了我学位论文的主要部分. Lieb 几乎在同时也向《物理评论通讯》杂志投交了一篇关于求解 KDP 模型的论文,这是第二个 6 顶角模型.

那年夏天,杨振宁的弟弟杨振平访问石溪,发现我们的这个解可以推广到具有竖直场或水平场完全一般的 6 顶角模型. 我们 3 人一起研究出了其细节,该文刊出时伴有杨振平的一封信.

1967年秋,杨振宁通过给自旋空间中贝特(H. A. Bethe, 1906—,美籍德国物理学家,1967年独自一人荣获诺贝尔物理学奖,译注)假设系数的准确波函数(即贝特-杨振宁假设),而求出了自旋 $1/2$ 相斥 $\delta$ 函数型相互作用一维费密子问题的完全解.对我来说,这个波函数本质上看起来好像贝特假设那样,只不过自旋朝下相当于一个空格点,自旋朝上则为粒子.因此,把这个过程无限重复就可以解决任意多组元系统的问题,这是合乎逻辑的.这样做可避免用到杨图,而我那时对这玩意一窍不通.

让我再谈谈同杨振宁一起工作的感受.我是他在石溪的第一个研究生,或许也是他开始招收的第一个研究生.在我跟他工作的3年里,他好像有无限的时间可以花在我身上.记得许多时候早上一来到学校,我就去见杨教授,想知道他是否有时间花几分钟同我讨论个把问题.他会把我请进办公室的里间,那是一处令人愉快而又吸引人的工作场所.于是,我们开始讨论.很快地,我们便并排坐在一起互不相干地静静工作起来.通常,杨振宁用白色的拍纸簿,我则用黄色的.我们不时互相核对结果.杨振宁的秘书偶而会进来一下,看看我们是否需要些什么,问杨振宁要不要和什么人谈话.有时,杨振宁要停几分钟去接电话.杨振宁同访客长谈时,就让我去浏览那一大叠论文预印本,书架上的书,文件夹里的老预印本,10年前的诺贝尔演讲,甚至更老的资料.这样不知不觉就到了午餐时分,他会叫来份饭,通常是附近快餐店味道好极了的三明治.我们一边吃一边讨论,饭后继续讨论,继续工作,继续核对结果,为了跟上他,到下班的时候我已精疲力尽.我记得这样的每一个日子,我从来没有像这样努力地工作,也从来没有这样地快乐过.杨先生办公室的气氛是温暖而又使人感到受保护似的,虽然空气里充满的是寻求知识的兴奋.许许多多的科研成果就是在那种气氛下做出来的.事实上,这种成果今天仍在源源不断地从那里涌出.

我要感谢杨振宁离开高等学术研究所那座象牙之塔而进入一

个大世界里去的明智决策。我认为，在他看来那是非常无畏的一步。我个人则要对他表示感谢，这不仅仅是为了他对我的教导或给予我的友谊。今天，在他的生日，我祝他万事如意，祝他长寿并希望他喜欢下面我要宣读的这篇论文。

（以下为专业论文，兹从略）

本文作者 William Sutherland 为美国犹他大学物理系教授。

吴大峻

## 杨振宁教授和我

我读哈佛大学的第一学期,期中考试门门课都考得很糟.由于先我一年入学的杨振平慷慨相助,我才得以勉强通过.正因为有这种机缘,第二学期振平的哥哥杨振宁教授从普林斯顿高等学术研究所到哈佛来参加物理学术讨论会一事使我特别兴奋.虽然我对量子场论一窍不通因而听不懂报告,但仍清楚地记得杨振宁介绍他的研究课题杨振宁-米尔斯非阿贝耳规范场时所引起的轰动.多年以后,大家才逐渐明白,这个杨振宁-米尔斯非阿贝耳规范场是一切基本相互作用的基础.杨振宁和米尔斯 1954 年的那篇论文无疑是 20 世纪影响最为深远的两篇论文之一.

我于 1956 年获哲学博士学位之后,立即就到布鲁克海文国家实验室去,整个夏天都在那里.我的学位论文由 Ronald W. P. King 教授指导,其主要部分讨论的是短波长极限下圆柱和圆球的散射总截面.我在布鲁克海文国家实验室又见到杨教授时,他问起我的学位论文.我把情况告诉了他,不到 1 分钟,他就告知我解决这个问题的另一个更好办法!也就是这个夏天,我认识了杨教授那绰号端丽的太太致礼及他们的儿子光诺.她要教会我跳舞,但很遗憾,没有成功.他们还花大力气教我打桥牌,我相信这个我还凑合,虽

然往往把每个特殊情况下的惯例给理解错了。那年夏天振平访问布鲁克海文国家实验室时，杨教授夫妇、振平和我一起打了好多回桥牌。多年以后，光诺成为美国最好的桥牌手之一，比他的父母打得要好得多。

1956年夏，杨教授极端忙碌。多数时间他都是同李政道教授埋头在宇称不守恒的问题里。他们那篇著名的论文“弱作用中的宇称不守恒问题”就在那年夏天完成。就是这篇论文使他们翌年荣膺了诺贝尔奖。这年夏天，除上述有关粒子物理的工作之外，他们还研究了多体问题，特别是硬球玻色气体问题。即使今天我还纳闷，他们怎么能同时做这两方面的研究。

虽然杨教授日程繁忙，但他总是能挤出时间教我物理。那年夏天我跟他学到的最重要一点是，想要成为一名理论物理学家，必须对许多方面的前沿有足够的认识，单单知道一个方面是不够的。他为我勾画了一个8年计划：两年更扎实地打好基础，两年学统计力学，再用两年学量子场论，最后两年是基本粒子理论。

从布鲁克海文国家实验室返回哈佛后，我幸运地被任命为研究员协会初级研究员。这使我可以不受任何义务的约束而能按照杨教授为我制定的计划开始潜心钻研。杨教授安排我在初级研究员任期的最后一年（即1958-1959年）到高等学术研究所同他一块工作。

按杨教授为我安排的日程表，我从学习统计力学开始。这一年里，大伙对上面提到的硬球玻色气体极感兴趣。为了研究一个具体的问题，我决定着手探求这种系统的基态能量。大约每两个星期，我要到杨教授的办公室去一次，把我所做的工作向他汇报。通常，他总是花几分钟时间告诉我问题的难点，这就够我花上一周时间才能领会他所说的，剩下的另一周则要想办法取得一些进展。接着，又开始新一轮的循环。回想起来，我印象最深的还不是杨教授这么快就能指出困难之所在，而是他在这样做的时候，总是那么恰



到好处,使我一点也不感到灰心丧气。最后,我求得了他和李政道教授 1956 年夏天在布鲁克海文国家实验室所算出的基态能量之外的一个修正项。这个结果在 1959 年的《Physical Review》(物理评论)杂志上发表。不久,这个结果又被 Hugenholtz 和 Pines,以及泽田分别证实。虽然杨教授在这项工作中做的比我多,但他拒绝在论文上署名,以对我的事业表示支持。这种事发生过好几回。5 年之后,1964 年我们才开始联合署名发表第一篇论文《 $K^0$  和  $K^{\bar{0}}$  衰变中 CP 不守恒的唯象分析》,见《Physical Review Letter》(物理评论通讯)13,380(1964)。

在高等学术研究所度过 1958—1959 年之后,我被任命为哈佛大学的助理教授。由于我得到斯隆基金会资助,杨教授重又安排我回高等学术研究所工作一年(1960—1961 年)。这一次,我又按他的日程表开始学习量子场论。当研究生时,我曾从哈佛大学的朱里安·兴格教授和麻省理工学院的 Felix Villars 教授那里学习过这门课程。然而,不从原始资料着手,要理解一门课程,实际上是不可能的。第二次访问高等学术研究所期间,理论物理学界掀起了一股研究费因曼图解析性质的热潮,我加入了这一行列。除此之外,我也想学习重正化理论。我再次像两年前那样定期地去杨教授的办公室。他试图教会我的东西,我要花上好几个星期才能领会得了。例如,要弄明白为了达至重正化,为什么对质量求微分啥用处也没有这一点我就花了好长时间。这次在研究所,他们要我就自己所做的工作开一个研讨会。结果,这对我来说是一次最有意义的经历。我的研讨会历时六个半钟头,中间休息一夜;不知道时间之长是否创下了纪录,如果不是,至少也接近创纪录。

1962—1963 年,我对高等学术研究所进行了第三、第四次长时间访问。我按日程表学习基本粒子物理,杨教授要我把精力集中到与传递弱力的中间玻色子有关的问题上。那个时候,中间玻色子纯粹是一种理论上的推测,直至 10 年以后它才被实验发现。但是,

我当时因为要找工作而被搞得心烦意乱,因为哈佛助理教授的任期行将届满.幸而得到罗伯特·奥本海默教授的推荐,哈佛又给了我一个新的任期.

1964年夏访问威斯康辛大学时,听到克罗宁、克里斯登逊和图雷关于CP不守恒实验的消息后,我立即返回布鲁克海文国家实验室,其时杨振宁教授正在那里访问.我们最先一个作出了K系统中CP不守恒的唯象分析.因为那时我已经获得了终身职位,杨教授才终于同意在论文上署名.正如前面已提到过的,这是我们联合发表的第一篇论文.就是现在,这篇论文还在被频频引用.

这就完成了杨教授为我设定的8年理论物理学家教育.打从那以后,杨教授同我合写的论文在10篇以上.例如,1964年我们考虑了高能大动量传输情况下强子的弹性散射.观点是把强子当做一个广延的客体.这种观点后来发展成杨教授的液滴模型,开始时是跟邹祖德一起做出的.几年以后,出于更好地掌握这一想法的愿望,麻省理工学院的郑洪同我开始研究用量子场论的观点来理解弹性散射高能行为的可能性.这导致我们进行了我有生以来最长的一次计算.1970年,计算结果迫使我们得到一个令人吃惊的结论,强子的全截面必须随能量的增长而无限增大.那时,没有一个实验证据表明全截面会是这个样子的.令人高兴的是,这一纯粹理论预言后来被实验完全证实.尤其是,我们作出此预言后将近10年,积分弹性截面与全截面比值的增加终于在CERN的质子-反质子对撞机被实验证实.

1956年在布鲁克海文国家实验室,杨教授告诉我,他独自一人完成的最冗长计算是二维易兴模型自发磁化强度的计算.我在几年时间里断断续续研读了这篇论文.我虽然能跟随杨教授得到这一著名结果的步子,却不明白为什么要这样做.10年之后,我决定试试看是否能用不同的方法求得同样的表达式.这样做的一个动机是,杨教授同李政道教授研究处于纯粹假想磁场中的二维易

兴模型问题时得出了一个有关结果,但它是对级数展开的某种猜测而得到的,不同于自发磁化的情形是通过推导而求出.幸而,我完全熟悉 Wiener-Hopf 的技巧,那是我当研究生的第一年从 Harold Levine 教授那里学来的.刚好, Wiener-Hopf 技巧适用于二维易兴模型.同我的研究生 Barry McCoy 一起,我可以得到二维易兴模型的一些新结果,包括推导出上面提到的杨教授和李政道关于虚拟磁场的各种公式.由于杨教授的耳提面命和不断鼓励,我才可能完成这项为时 8 年的研究工作.在同杨教授合写的论文中,《论不可积相因子的概念及规范场的全局表述》一文,载于 *Physical Review*, D12, 3845 (1975), 最使我感到骄傲.我想杨教授也一样感到骄傲.虽然他以前对我说过好几次,只是写这篇论文以后我才终于欣赏到了数学与物理之间谜一般深刻与美丽的关系.在时下的情形,那就是纤维丛与规范场的关系.我们从 Steenrod 的书中学到了纤维丛.无巧不成书,1955 年,杨教授和杨太太正是从 Steenrod 手中买下他在 Carter 路的那所房子.一旦我们弄明白规范场就是纤维丛的连络,杨教授就开车到加利福尼亚大学伯克利分校陈省身教授那里去,我也同车前往.这是陈教授从芝加哥搬到加利福尼亚以后我第一次拜访他.我们和他谈到正在做的一切,陈教授说,数学里的重要概念不是人工制造出来而是自然的,就像物理学的情形那样,这句话给我留下极为深刻的印象.

从较为个人的层次来说,1967 年我同 Sau Lan 结婚时,她的父母不能到美国来,杨教授慈爱地来到麻省剑桥,代表新娘的父母亲将新娘嫁给我.就是现在,我仍学不好杨太太所教的跳舞,但愿有那么一天能补足这个缺陷吧.

本文作者是哈佛大学戈登·麦凯实验室教授.

颜东茂

## 杨振宁教授对物理学的影响

---

开始进入正题之前,请允许我转达海外中国物理学家协会(Overseas Chinese Physicist Association)正、副主席 N. P. Chang 教授和 B. L. Yong 教授对杨振宁教授的生日祝贺。他们两人因预先有其他事务缠身,不能参加这个庆典,感到非常遗憾。

组织委员会邀请我就杨教授对物理学的影响这个问题做一报告,我感到极之荣幸。这一任务本来是无法完成的;杨振宁对物理学的贡献浩如烟海,要在 30 分钟内述说清楚,不可能做到客观公正。幸而,会议组织者邀请了一群杰出的报告人,我敢肯定,他们将会就杨教授对物理和数学各个领域的贡献告诉我们更多的情况。我们只有听完所有这些报告,才会对杨振宁教授为物理学做了多少工作有一个全面的了解。

在报告中,我首先给大家看一张单子,上面列举了杨振宁教授在他感兴趣的领域中某些具有代表性的工作。然后,我将把我的评论集中在杨教授的两个最著名的贡献,即弱作用中宇称不守恒及杨振宁-米尔斯非阿贝耳规范场论上。

1956 年我还是台湾大学大一新生时,听到了吴大猷院长在一次公开演讲中提到李政道和杨振宁关于宇称不守恒的理论工作和

吴健雄教授为此而做的实验,从那时以来,杨振宁教授便是我心目中的伟大英雄.

杨教授对理论物理有很广泛的兴趣.他主要在三个领域里进行研究:统计力学、理论物理和高能散射唯象理论.每一领域中某些代表性工作表列如下.

杨振宁教授对物理学的贡献——一些例子:

### 1. 统计力学

——二维易兴模型:这是自发磁化的第一次准确计算;

——单位圆定理(与李政道教授合作):格气配分函数奇点的一个系统研究;

——杨振宁-巴克斯特方程:它一直是统计力学中可积系统及场论的非常重要的工作;

——许多其他工作.

### 2. 理论粒子物理

——宇称不守恒(与李政道教授合作):吴健雄教授做出了第一个肯定性的实验,使得杨李的观点得以确立;

——杨振宁-米尔斯非阿贝耳规范理论(与米尔斯教授合作):它为标准模型提供了一个框架,即强相互作用及弱电的量子色动力学(QCD),它建立了引进相互作用的规范原则;

——不可积相因子和规范场论的全局表述(与吴大峻教授合作):在这个工作中,研究并澄清了规范场和纤维丛之间的内部联系;

——狄拉克磁单极的重新表述(与吴大峻教授及其他人合作):在这项表述中,消除了狄拉克的“弦”,代之而引进了拓扑学中“截面”的概念;

——杨振宁-巴克斯特方程;

——许多其他工作.

### 3. 高能散射的唯象理论

杨教授多年来一直对这个课题感兴趣,有许多合作者,诸如邹祖德、吴大峻、闫爱德和赵午等几位教授及其他一些人.在一系列论文中,杨教授在没有基本理论的情况下,以其对强子几何图象的洞察力和直觉推导出许多结论.

对任何一位理论物理学家来说,这些贡献中哪怕只有一个都会给他带来极大的满足.但是杨教授把它们全都做出来了.有时候我们听人们说,因为运气和时机好,某人做出了一件好工作.我却要问,为什么这些年来杨教授总是交了好运气和遇到好时机,其中有什么奥秘?

现在让我就宇称不守恒问题做几点评论.宇称不守恒的发现是一个引人入胜的故事,虽然人人都耳熟能详,但每当想起它来,我总是感慨不已.首先,宇称守恒的概念是如此之自然,它根深蒂固地一直根植于几代物理学家的脑海里,以致李政道教授和杨振宁教授怀疑它的正确性时不但要有洞察力,还要有勇气.

这是一场翻天覆地的革命.它再一次显示,任何物理定律都必须通过实验来加以验证.一个漂亮或优雅的概念不一定是正确的.归根结底,物理学是一门实验科学.为了充分认识这一发现所引起的冲击,让我们摘引泡利(W. Pauli, 1900-1958,奥地利物理学家,1945年诺贝尔物理学奖得主.译注)给 Weisskopf 的两封信,一封在吴健雄教授宣布她对宇称不守恒的实验验证之前,一封在后.泡利不但被认为是20世纪最伟大的物理学家之一,而且,正是他提出了中微子的想法.他关于宇称不守恒问题的观点在10天之内发生了戏剧性的变化.我还是让泡利自己来说为好.在1957年1月17日致 Weisskopf 的信中,泡利说:

“我不相信上帝是一个无能的左撇子,我敢出大赌注  
同人打赌,相信实验必将给出电子按角动量对称分布的

结果。”

这封信是泡利刚好在听到吴健雄教授宣布其实验结果之前写就的。得知吴教授所宣布的结果之后，他迅即于1957年1月27日给Weisskopf再写了一封信。他说：

“现在，最初的冲击已经过去，我开始镇静下来（在慕尼黑，人们如是说）。……”

此刻，我不知该从哪里说起？幸亏我没有打赌，否则，我可要输大钱了（我付不起这笔钱哟！）。可是，我毕竟闹了个笑话（我想，这个我还担当得起）……”

满怀失望的物理学家们试图用新的措施挽救左-右对称性，就祭出了CP对称的法宝（CP是电荷共轭和空间反演的联合操作），只要CP是对称的，左和右就没有绝对的区别。1964年人们发现，中性K介子衰变时CP对称遭受破坏。打那以后，物理学家极不情愿地接受了这样的事实：自然界中左和右真的是不对称的。这种对称不只是遭到了破坏，而且还是最大限度的破坏。所谓的V-A理论是标准模型的重要组成部分。

下面，我们转而谈到杨教授对粒子物理贡献的第二个例子：杨振宁-米尔斯非阿贝耳规范场理论。在粒子物理学中，这项工作的重要性到处都可以感觉到。杨振宁-米尔斯非阿贝耳规范理论为标准模型提供了框架；对强作用的QCD以及对弱电相互作用统一理论的温伯格-萨拉姆-格拉肖<sup>①</sup>模型。自然界的4种基本力中，只剩下重力不能用通常的杨振宁-米尔斯规范场论来描述。在物理学

<sup>①</sup> 温伯格(S. Weinberg, 1933—, 美国物理学家)、萨拉姆(A. L. Salam, 1926—, 巴基斯坦物理学家)、格拉肖(S. L. Glashow 1932—, 美国物理学家)3人因为建立弱电统一理论的贡献而荣膺1979年诺贝尔物理学奖。译注。

史上,杨振宁-米尔斯规范场论的重要性无疑地只有牛顿的重力理论、麦克斯韦的电磁理论和爱因斯坦的广义相对论可以与之相提并论.量子力学是同等重要的另一项发展,但它是完全不同的一个范畴.

杨振宁-米尔斯规范理论的重要性是如此之意义深远,让我们简要地看看它究竟是怎么一回事.它是把对称性同相对性结合起来所得到的一个强有力的结果.在原始的那篇论文中,论述是简单和优雅的,可以简述如下.核物理中,有一种近似的对称性,叫做同位旋对称.原子核的组成部分是质子和中子,它们有许多相同的性质.它们的质量差不多相等,两个核子(即质子及中子,译注)之间的核力看来也差不多相同,不管这两个核子是中子或质子,情况都一样.只要物理学在下述变换中保持不变,就可以使这种对称性变为连续的.

$$N' = UN \quad (1)$$

$$N = \begin{pmatrix} p \\ n \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$UU^+ = U^+U = 1 \quad (3)$$

上述这个变换把原来的质子变换成中子,同时,把原来的中子变换成质子,即所谓重新标记.杨振宁和米尔斯说,不可能对宇宙中所有的质子和中子一下子都同时重新标记.原因是,信号(即命令,译注)不可能走得比光速还快.因此,他们得出结论,这种重新标记只能局域地进行.通过对称性是局域的这个要求,杨振宁和米尔斯推断,存在重新标记下唯一地进行变换的矢量规范场.矢量场  $A_\mu(x)$  和核子场变换如下:

$$A'_\mu(x) = U(x)A_\mu(x)U^+(x) - \frac{i}{g}U(x)\partial_\mu U^+(x) \quad (4)$$

$$N'(x) = U(x)N(x) \quad (5)$$

方程(4)、(5)两者构成了鼎鼎大名的非阿贝耳规范变换.此



外,这种理论是唯一地确定的.这就是“对称性支配相互作用”原则,或者,有时也把它叫做规范原则.

随后的几乎 20 年,许多理论物理学家一直在研究杨振宁-米尔斯规范理论.要使这个理论能够应用于强相互作用,必须首先克服两个严重困难.其中一个和技术性的,即如何前后一致地对这个理论进行量子化;甚至这个理论的费因曼规则也还未搞清楚.另一个同物理有关.为了保持规范不变性,矢量规范粒子必须无质量.但是,实验上还未发现这样的粒子.技术性的问题在 60 年代末解决了.但是,与物理学有关的问题多拖了几几年才被理解.

60 年代末在斯坦福直线加速器中心(SLAC)和其他地方所做的一系列实验(深度非弹性轻子散射)表明,在短的距离内,强相互作用是弱的.寻找一种适用于强相互作用的理论在继续进行着,这种理论要具备奇特的性质,即在短距离内它是弱的.

最后,人们在 1973 年发现,只有杨振宁-米尔斯规范理论才具有这样一种性质.现在,这一特性称为渐近自由.于是,量子色动力学(QCD)诞生了.理论和实验都指出,对非阿贝耳规范群来说,需要一个新的量子数:颜色.规范对称必须是准确的,这样,渐近自由才可以保持.此外,还假设“颜色”这个量子数在自然界必须是隐蔽的.这叫做色幽禁.用术语来说,所有的物理态必须是颜色单态.结果是,不可能存在孤立的夸克和孤立的胶子(即矢量规范玻色子).从晶格规范理论得到的启示支持这一假设.但是,还未找到严格的证明.如果真的是这样,那么,这就是一个意义深远的发展,说明物质的基本组成部分不可能从它们构成的束缚态中解放出来.

通过所谓瞬子解,杨振宁-米尔斯规范理论同拓扑学之间有一种令人瞩目的联系.这类解给真空予丰富的结构,有趣的是,它们还导致强相互作用中 CP 破坏的问题.

让我们转到标准模型的另一半:温伯格-萨拉姆-格拉肖的弱电相互作用理论.除杨振宁-米尔斯规范理论之外,这个模型中还

有一个新的成分,那就是自发对称破缺.为了使规范玻色子( $W^\pm$ 和 $Z$ )、夸克以及轻子具有质量,这是必须的(Higgs 机制).温伯格在1967年推测,这种Higgs机制将会使杨振宁-米尔斯规范场理论的可重正化得以保存.这个理论的可重正化问题要更加错综复杂.直到1971年,t'Hooft才首先证明了温伯格的猜测是正确的.可重正化的要求在建立弱电理论中起着根本的作用,后果深远,两个最重要的后果是,(a)温伯格采用Higgs机制的最低方案意味着存在一种Higgs粒子,目前尚未被探测到.超导超高能对撞机(SSC)<sup>①</sup>上一个规模宏大计划的主要目的就是要找到这种粒子.(b)可重正化要求轻子和夸克之间有一种对称性.每一代必须有一个轻子量子对偶及一个夸克量子对偶.因此,底夸克和 $\tau$ 轻子的存在告诉我们,必然要有一种顶夸克.在标准模型中顶夸克是另一种等着被发现的粒子(1995年春,美国费密国家实验室正式向全世界宣布,顶夸克已被他们找到.译注).

物理学家一直被所谓“辈份”问题所困惑:为什么费密子有多于一代的辈份?一共有多少?有没有终了的时候?电子-正电子对撞机(LEP)的最新结果表明,一共只有三代.为什么是三代,现在仍然是个谜.

就“老师”这个词字面上最好的意义来说,杨教授是我们所有人的老师.我们从他的榜样学到了许多东西.他的每一件工作都表明了他对某一个物理现象深刻而清晰的了解.然后,他能够抽象出一个原理,它的应用范围比起他所出发的那个现象要宽广得多.从宇称不守恒、杨振宁-米尔斯规范理论、杨振宁-巴克斯特方程以及其他工作中,我们都可以看出这一点.而且,杨教授还愿意做那些脚踏实地的唯象理论性的工作.

在同邹祖德教授,还有其他人一起发表的一系列论文中,杨教

<sup>①</sup> SSC 是美国原拟在得克萨斯州建造的超大型加速器的名字.后因这个庞然大物所需的投资过巨,联邦政府决定终止该项目的执行.译注.

授做了高能散射的唯象理论研究. 通过对这些过程几何图象的洞察力和直觉, 他同他的合作者们推出了许多定性和定量的结果以便同实验数据两相对照. 对今天的年轻物理学家来说, 这应该是一种鼓舞. 他们当中许多人认为, 有两类理论家: 一类是唯象理论家, 另一类才是正式的理论家.

最后, 对杨教授给予我们这么多漂亮的物理成果, 我要表示深切的谢忱. 我们大家都期待他在未来许多年的岁月中, 作出更多更大的贡献.

鸣谢: 对于组织委员会的邀请和款待, 我要向丘成桐教授和 H. C. Ku 教授表示感谢. 本项研究工作得到美国国家科学基金的部分资助.

本文作者是美国康乃尔大学 Floyd R. Newman 原子核研究实验室教授.

赵 午

## 加速器物理中的非线性动力学

---

今天我在这里有双重的特殊荣幸。首先,我是清华大学的校友;其次,我还是杨教授的学生。1973年,我在石溪当杨教授的研究生时,学的是高能物理。他敦促我去学一门叫做加速器物理的课程。按照他的指示,我选了 Ernest Courant 教授的加速器理论课,学得很开心。

后来,1974年我毕业前,杨教授进一步建议我选择加速器物理作为自己的专业。这一次,事情要严肃得多了。开始时,我很踌躇。我再次同他谈话,甚至争论起来。最后,我遵从了他的意见。今天,回首当年,我知道这对我来说是一种正确的选择。非常幸运,在事业的关键时刻我得到了他的耳提面命。

加速器物理是物理学的一个分支,它同带电粒子束打交道,它涉及范围很广的内容。但是,今天我只讲一个方面,那就是非线性动力学。我知道,杨教授一直对这个问题感兴趣。

(以下为专业论文,兹从略)

---

赵午(Alexander W. Chao) 写作本文时是美国超导超高能对撞机(SSC)实验室的专家。

李炳安 邓超凡

## 杨振宁

---

杨振宁,非正式名字为 Franklin 或 Frank. 1922 年 10 月 1 日<sup>①</sup>生于安徽合肥. 理论粒子物理学、统计力学和凝聚态物理学.

杨家原籍安徽省凤阳府. 杨振宁的曾祖父杨家驹(字越千)曾任安徽省太湖县的都司. 1877 年任满回原籍,途经合肥,为朋友挽留定居于此. 杨振宁的父亲杨克纯(字武之)是他祖父杨邦盛(字慕唐)的长子. 杨武之是美国芝加哥大学的数学博士,回国后曾任清华大学与西南联合大学数学系主任多年.

杨振宁出生在合肥县(今合肥市)县城西大街四古巷. 1933—1937 年在北京崇德中学上学,1937 年秋进入合肥省立第六中学. 1938 年初他们一家到了昆明,杨振宁进入昆华中学高中二年级学习. 1938—1942 年就学于西南联合大学.

西南联合大学教授阵容十分强大. 教杨振宁大一国文的有朱自清、闻一多、罗常培和王力等. 杨振宁跟赵忠尧学习大一物理,跟

---

<sup>①</sup> 杨振宁的出生日期在 1945 年的出国护照上误写为 1922 年 9 月 22 日.

吴有训学习大二电磁学,跟周培源学习大二力学.他的学士论文导师是吴大猷.吴大猷先生给了他一篇 T. E. Rosenthal 和 G. M. Murphy 于 1936 年写的关于群论和分子光谱的总结性文章.杨振宁的父亲杨武之在芝加哥大学的博士论文导师是代数专家狄克逊 (L. E. Dickson),杨武之让杨振宁从狄克逊写的《现代代数理论》(Modern algebraic theories, 1926) 中学习群表示理论.杨振宁发现书中仅用二十几页就将群表示理论讲得清清楚楚,极合他的口味.实际上,当他还是一个高中学生的时候,就从父亲那里学到一些群论的基本原理,曾被放在父亲书架上的 Speiser《有限群论》(Die Theorie der Gruppen von endlicher Ordnung, 1923) 中的美丽图形强烈地吸引住.他的家庭使他很早就受群论的熏陶.他写学士论文的经历,又使他对群论与对称性在物理中的应用有了深刻的印象.

杨振宁于 1942 年毕业于西南联合大学后,进入清华大学研究院学习两年.他的硕士论文导师是王竹溪.在杨振宁进入清华大学研究院之前,曾听了王竹溪一系列关于相变的演讲,使他了解到相变是很重要的问题.在王竹溪指导下,他完成了题为《超晶格统计理论中准化学方法的推广》的统计力学文章,这篇文章与一些其他工作合起来成为他的硕士论文.在研究院这两年间,他也从马仕俊那里学习到很多场论知识.

吴大猷和王竹溪引导杨振宁走的两个方向是对称原理和统计力学.杨振宁始终强调这是他一生中主要的研究方向.

1944 年夏,杨振宁考取了留美公费生,按照考试委员会所选定的专业,他报考了高电压专业.按照考试委员会“凡录取各生应在原机关服务留待后信”的规定,杨振宁从 1944 年秋到 1945 年夏,在西南联合大学附属中学教了一年高中数学.他一面教书一面学习和研究场论,彻底地钻研了泡利所写的关于场论的总结文章.

杨振宁在昆明的 7 年,打下了坚实的基础,也基本上决定了他

今后研究的主体方向。爱因斯坦、狄拉克和费密是他最崇敬的3位物理学家。1945年11月下旬他到达美国，原希望师从费密，但费密已离开了哥伦比亚大学，去处不明，使他甚为失望。几经周折，最后才在张文裕教授那里打听到费密即将去芝加哥大学的消息。

1946年初，杨振宁到芝加哥大学注册成为研究生。开学不久，他向费密提出，希望在他的指导下写一篇实验论文。但费密的实验室当时在阿尔贡，杨振宁是外国人，不能进入阿尔贡实验室。后来，费密介绍杨振宁到S. K. Allison的实验室去工作。当时这个实验室正在造一台40万电子伏的加速器。杨振宁和另外五六个同学花了大约20个月的时间，帮助Allison造成了加速器。可是，他用此加速器所做的实验却不成功。杨振宁接受了E. 泰勒的建议，放弃实验，而把当时已差不多写好的一篇理论文章作为博士论文。

泰勒对群论在物理中的应用有很直观的见解，杨振宁从他那里学到不少东西。杨振宁的题为《核反应与关联测量中的角分布》的博士论文就是结合了物理见解与群论方法的一项工作。

在芝加哥期间，杨振宁一方面从事粒子物理的研究，一方面继续发展他对统计力学的兴趣。他花了很大力气去研读昂萨格在1944年所写的关于二维易兴模型的文章。为了解顺磁化的机制，他还研究了F. Block关于自旋波的文章及H. A. 贝特1931年和L. Hulthen 1938年的文章。这一段努力，虽然没有立刻出成果，却为他后来的工作打下基础。

费密和泰勒，特别是费密研究风格的特点，杨振宁认为是从物理现象出发，不是自原理出发。杨振宁称这种方法为归纳法，对他有很大的影响。他说他在中国学到了推演法，在芝加哥大学学习了归纳法，先后得到了中西教育精神的好处。

杨振宁在芝加哥大学活跃的学术气氛中，接触到最有发展前途的一些研究方向。那时正值粒子物理开始新的蓬勃发展，他与同辈的工作者和这门学科一同成长。在为他60岁生日的一篇演讲



《读书教学四十年》中,他说:“(我们)很幸运。”

1949年春,杨振宁申请到普林斯顿高等学术研究所去做博士后,因泡利和朝永振一郎要到那里,该所还有一批在重正化领域中很活跃的年轻理论工作者.当这个所的所长 J. R. 奥本海默接受了杨振宁的申请之后,费密劝告他在那里不要超过一年,因为那里的物理太抽象了.实际上,费密、Allison 和泰勒已得到芝加哥大学的同意,打算在 1950 年再将杨振宁返聘回来.

1950 年春,奥本海默给杨振宁在高等学术研究所继续工作 5 年的机会,当时杨振宁有几种选择,但最重要的是回不回芝加哥大学.他完全记得费密的告诫:不要在这个研究所呆太久.可是他的女朋友杜致礼那时正在纽约读书,离普林斯顿只有一小时的火车路程.所以,他最后决定留在普林斯顿.杜致礼是杜聿明将军的女公子、杨振宁在昆明西南联合大学附属中学教书时的学生.他们于 1950 年 8 月 26 日结婚,生有两个儿子和一个女儿.长子杨光诺生于 1951 年,次子杨光宇生于 1958 年,女儿杨又礼生于 1961 年.

1952 年 12 月中旬,杨振宁收到布鲁克海文国家实验室 Cosmotron 加速器的部主任 G. B. Collins 的信,邀请他访问布鲁克海文一年. Cosmotron 是当时世界上最大的(3 吉电子伏)质子加速器,可以产生  $\pi$  介子和奇异粒子,不少实验组在那里工作,做出了许多有趣的结果.为此杨振宁决定接受这一邀请,于 1953—1954 年在布鲁克海文实验室工作了一年,1954 年回到普林斯顿,1955 年晋升为教授.

杨振宁在普林斯顿,自 1949 到 1966 前后 17 年,他自己说这是他一生中研究工作做得最好的时期.1965 年春,奥本海默告诉杨振宁,他准备从普林斯顿高等学术研究所所长的职位上退休,他想向董事会推荐杨振宁做他的继任人.杨振宁告诉奥本海默,自己不想成为这个研究所的所长.奥本海默让杨振宁想一想再作决定.经过考虑,杨振宁在一封给奥本海默的信中说:“我不能肯定我会

成为一个好所长,但我肯定不欣赏一个所长的生活。”尽管如此,命运给杨振宁作了一个新的安排。在1964-1965年间,纽约州政府在纽约州内的大学中设置了5个爱因斯坦讲座教授的职位。纽约州立大学石溪分校校长J. S. 托尔(Toll)和物理系主任T. A. Pond与杨振宁接触,希望他接受该校爱因斯坦讲座教授的职位。托尔和Pond并希望能在石溪分校建立一个理论物理研究所,由杨振宁当所长。这是一个很小的研究所,管理起来很容易,考虑以后,杨振宁接受了石溪的邀请,于1966年到职。

1991年,本文作者写信给托尔,托尔在1991年2月22日的回信中说:“杨振宁到石溪分校是该校发展史上最大的一件事。”“自杨振宁到校后,该校一跃而成为美国注重研究的大学之前茅。他对全校的研究空气,对物理系数学系的教师阵容,对理论物理研究所的研究方向,对学校与社会的关系,都发生了巨大的影响。”石溪分校现任校长J. H. Marburger在1991年4月1日给本文作者的回信中说:“杨教授来到石溪,是石溪在发展成为一个优秀的研究、学术机构过程中的突破,使石溪成为美国一个优秀的科学中心。”

1971年夏天杨振宁访问了新中国,是知名华人学者访问新中国之第一人,为中美文化交流,为中美人民之相互了解,起了极大作用,深得毛泽东主席和周恩来总理的赞誉。

杨振宁于1983年回忆1971年的感受与感想时说:“(那时)我想我对于中国和美国都有一些认识,而且都有浓厚的感情,在这两个大国初步接近的形势下,我认识到我有一个做桥梁的责任,我应该帮助建立两国之间的了解和友谊。”

确实,杨振宁从1971年以来在这些方面做了大量工作,他于1977年出任全美华人协会首任会长,为促进中美建交(1979)做了许多工作。1981年他在石溪分校设立了CEEC奖金,自美国和香港捐资支持中国各大学和研究所人员到石溪做访问学者,迄今已

有 80 余人得到此项支持,其中绝大部分已回国到原单位服务。

1983 年杨振宁在香港创立中山大学高等学术研究中心基金会,自任基金会主席。8 年以来基金会捐助中山大学一千多万港币,支持了中山大学近百项研究项目,并为中山大学建成一座研究大楼。

自 1986 年起,杨振宁接受陈省身教授邀请,在南开大学数学研究所内组织了理论物理研究室。数年来该室在国际数学物理学界已颇有声誉。

杨振宁于 1957 年获得诺贝尔奖,1980 年获得拉姆福德(Rumford)奖,1986 年获得美国国家科学奖章。他有多项荣誉学位,也是中国许多大学的名誉教授。

## 三个最重要的研究工作

杨振宁对理论物理学的贡献范围很广,包括粒子物理学、统计力学和凝聚态物理学等领域。在理论结构和唯象分析等方面他都取得了重大成就。其中杨振宁-米尔斯场论、弱作用中宇称不守恒的发现及杨振宁-巴克斯特方程是他对物理学和数学的不朽贡献。

### 1. 杨振宁-米尔斯场论

1953 年杨振宁在访问布鲁克海文期间,和 R. L. 米尔斯一起提出了非阿贝耳规范场的理论,即著名的杨振宁-米尔斯场论。这种场与称为阿贝耳规范场的电磁场不同,是一种有非线性相互作用的场,场强为

$$F_{\mu\nu}^a = \frac{\partial B_\nu^a}{\partial x_\mu} - \frac{\partial B_\mu^a}{\partial x_\nu} + g C_{abc} B_\mu^b B_\nu^c \quad (1)$$

拉格朗日为

$$\mathcal{L} = -\frac{1}{4} F_{\mu\nu}^a F_{\mu\nu}^a \quad (2)$$

这种场与其他粒子的相互作用,也由规范不变性原理确定了. 当杨振宁还在芝加哥读研究生时,就已经对电荷守恒理论与在相因子变换下拉氏量不变性的关系感兴趣. 当时,实验上已发现许多粒子,这些粒子之间的相互作用十分复杂,他认为需要有一个原理将它们之间的相互作用确立下来. 那时,他就想把相因子变换下的不变性推广到同位旋守恒的情形中去. 他尝试过许多次,都在建立方程(1)时遇到困难. 1953—1954年杨振宁访问布鲁克海文时,他又一次回到这个问题上. 当时米尔斯与杨振宁共用一个办公室. 那时米尔斯是哥伦比亚大学 N. 克罗尔 (Kroll) 教授的博士研究生,即将完成他的博士论文. 杨振宁邀他一同研究这个问题. 他们于 1954 年 2 月初步完成对此问题的研究. 文章于 6 月底写好,10 月初在《物理评论》(Physical Review)上发表.

这篇文章引进了非阿贝耳规范不变性及其相关的规范场论,是划时代的工作,为整个粒子物理学奠定了以后发展的最基本的原理与方程. 自然界中存在四种基本相互作用:强作用、电磁作用、弱作用和引力. 现在知道,传递这些作用的都是杨振宁-米尔斯场.

纵观 300 年来物理学的整体发展,我们才可以了解杨振宁-米尔斯场论在历史上的地位. 自伽利略与牛顿以来,物理学发展的精神是将物理世界的万千现象归纳为一些定律,最后浓缩这些定律为准确的基本方程. 所以这些方程是物理学中精华的精华. 本文作者之一曾指出,300 年来共有 9 组这种基本方程:(1)牛顿的运动与引力方程;(2)热力学第一与第二定律;(3)麦克斯韦方程组;(4)统计力学的基本方程;(5)狭义相对论方程;(6)广义相对论方程;(7)量子力学方程;(8)狄拉克方程;(9)杨振宁-米尔斯方程.

杨振宁-米尔斯场论在数学上也造成很大冲击. 数学家用杨振宁-米尔斯场作为工具去揭示微分流形的性质. 对四维微分流形, 杨振宁-米尔斯场方程有一类特解, 称为瞬子解, 瞬子解形成了一个参数空间. 近年来 S. Donaldson 在 M. F. Atiyah, C. H. Taubes 和 K. 乌伦贝克(K. Uhlenbeck) 工作的基础上, 通过这个参数空间去研究四维微分流形的拓扑结构, 得到了 Donaldson 定理. 这个定理与原有的费雷德曼定理相结合导致了四维欧氏空间上存在奇异微分结构的重大发现. 为此 Donaldson 获得了 1986 年的菲尔兹奖.

## 2. 弱作用中宇称不守恒的发现

在 50 年代中期, 粒子物理研究十分活跃. 主要研究方向是了解许多新发现的粒子的性质: 它们的电荷、自旋、质量、衰变等. 在这些研究中出现了所谓  $\theta$ - $\tau$  之谜.  $\theta \rightarrow \pi\pi$  与  $\tau \rightarrow \pi\pi\pi$  最初以为是两种粒子. 因为最简单的想法是给予它们不同的宇称. 后来发现这种简单想法确实与许多实验数据相符合, 所以  $\theta$  与  $\tau$  应该是不同的粒子. 可是同时, 另外又有许多实验数据指出二者应当是同一种粒子, 这就产生了  $\theta$ - $\tau$  之谜. 1953—1956 年间, 这个问题渐渐地被认为是粒子理论中的关键问题.

杨振宁和李政道当时对这个问题十分注意, 1955 年底到 1956 年初, 他们探索了许多解  $\theta$ - $\tau$  之谜的道路, 都没有成功. 其中一条道路是提议宇称不守恒. 1956 年 4 月 3 日到 6 日的罗切斯特会议上, 杨振宁在回答 R. P. 费因曼的问题时说, 他和李政道曾研究过此道路, 但未得具体结果.

未得具体结果的原因现在看来是当时他们以及所有的物理学家都没想到关键: 宇称不守恒只在弱相互作用中发生. 不但没有想到这一点, 而且还有误解, 以为过去的  $\beta$  衰变实验中的宇称选择定则已证明了宇称守恒, 所以  $\theta$ - $\tau$  之谜没有解答.

1956 年 4 月底 5 月初的一天, 杨振宁和李政道在纽约一家中国餐馆吃午饭时忽然想到了这一关键. 以后两三个星期里他们通

过许多计算证明过去的  $\beta$  衰变实验中的宇称选择定则原来都不够复杂,都不能证明在  $\beta$  衰变中宇称守恒. 为检验这种想法,他们提出了几类新实验.

他们的分析于 1956 年 6 月写成预印本,后发表于《物理评论》. 这篇文章未被当时的物理学界所赞同. 泡利在写给 V. Weisskopf 的一封著名的信中说:“我不相信上帝是一个无能的左撇子……”对于实验物理学家来说,由于他们所建议的实验都不简单,而大家又不相信他们解决  $\theta$ - $\tau$  之谜的方向是对的,所以很少人动手去做他们提出的那些实验.

哥伦比亚大学的吴健雄是  $\beta$  衰变实验研究的名家,她独具慧眼,决定与国家标准局的一位低温物理学家合作,去做杨振宁、李政道建议的实验之一. 半年之后于 1957 年初,吴健雄公布了他们的实验结果:在  $\beta$  衰变中宇称确实不守恒. 这项结果引起了全物理学界的震惊. 因为它关系到一个普遍的结论:弱相互作用有许多种, $\beta$  衰变只是其中一种,既然在  $\beta$  衰变中宇称不守恒,那么宇称在其他弱作用过程中也不守恒. 各个实验室都竞相做其他的弱相互作用实验. 两三年以后证实,基本上在所有的弱相互作用中宇称都不守恒.

这一项成就为杨振宁、李政道二人赢得了 1957 年诺贝尔物理奖,也直接或间接促进了以后 10 年间基本粒子物理学界对对称性的多方注意.

### 3. 杨振宁-巴克斯特方程

1967 年 11 月与 12 月,杨振宁写了两篇文章,讨论下面一个极简单的一维空间量子多体问题.

$$H = \sum_i p_i^2 + 2c \sum_{i>j} \delta(x_i - x_j). \quad (3)$$

他发现,这个问题可以完全解决,其中一个极重要的方程是

$$A(u)B(u+v)A(v) = B(v)A(u+v)B(u). \quad (4)$$

在这个方程中,  $A(u)$  与  $B(v)$  是两个矩阵,  $u$  与  $v$  是两个变数. 自方程(3), 他很自然地得到了  $A(u)$  与  $B(v)$ , 证明它们符合方程(4). 反过来, 用方程(4)证明原来的多体问题可以完全解决. 1972年 R. J. 巴克斯特(Baxter)在一个二维空间经典统计力学问题中也发现了方程(4)的重要性. 1981年此方程被命名为杨振宁-巴克斯特方程. 近五六年来, 人们发现杨振宁-巴克斯特方程在物理和数学中有极广泛的意义, 它是置换群结构的一类推广.

就目前所知, 杨振宁-巴克斯特方程与下列物理数学领域有密切关系.

- 物理: 一维量子力学问题;
  - 二维经典统计力学问题;
  - 共形场论.
- 数学: 结理论和辫子理论;
  - 算子理论;
  - 霍普夫(Hopf)代数;
  - 量子群;
  - 三维流形的拓扑.

1990年8月在日本京都的国际数学大会上, 4位菲尔兹奖获得者中, 有3位的工作都与杨振宁-巴克斯特方程有关. 一般相信, 此方程是一个基本数学结构, 将会在物理与数学方面有更广泛的应用.

## 其他研究工作

杨振宁几十年来的研究工作深而广, 发表了200多篇论文. 除上述三个极重要的工作以外, 他还做了多项重要工作. 下面简单介绍其中几项. 选择这些项目基于如下的考虑: (a) 长久的重要性, (b) 当时的重要性, (c) 美妙的观念或方法与杨振宁自己对它们的

偏爱,(d)特别能显示出他的风格的。

### 1. 粒子物理学

#### (1) 弱作用的强度

1949年杨振宁、李政道和 M. Rosenbluth 写了一篇关于各种弱相互作用强度的文章,此文和其他人一些差不多同时发表的文章奠定了四种相互作用的分类,沿用至今。

#### (2) 费密-杨振宁模型

1947年, $\pi$ 介子、 $\mu$ 介子相继发现,当时大家普遍相信它们都是基本粒子,费密和杨振宁写了《介子是基本粒子吗?》的文章,文中,他们提出 $\pi$ 介子可能是核子和反核子的束缚态,这个工作后来被称为费密-杨振宁模型,这篇文章是研究强子结构的先驱。

#### (3) G 宇称

1955年秋,伯克利实验室发现了反质子,根据这一发现,杨振宁和李政道将电荷共轭对称和同位旋对称合起来,提出了G宇称的概念,并确立 $\pi$ 介子的G宇称是-1,从而简明地证明了强作用中的一些选择定则,G宇称是粒子物理基本量子数之一。

#### (4) 电荷共轭与时间反演不守恒

1956年8月杨振宁收到了芝加哥大学 R. Oehme 的信,此信是 Oehme 看了杨振宁和李政道关于宇称不守恒的预印本后写的,此信导致了他们3人于1956年底所写的一篇文章,文中将宇称不守恒的考虑推广到电荷共轭不守恒与时间反演不守恒,这篇文章奠定了以后讨论 $\beta$ 衰变中三种不守恒现象的基础,这与后来1964年CP不守恒的分析有密切关系[见下面(8)]。

#### (5) 二分量中微子理论

宇称不守恒的发现导致杨振宁和李政道建议用 H. 魏耳(Weyl)的二分量理论描述中微子,差不多同时,A. 萨拉姆和兰道也分别写了文章,提出类似的建议,在后面还将比较这三篇文章,以显示出杨振宁、李政道工作与萨拉姆、兰道工作的不同风格。



### (6) 高能中微子实验分析

1959 年秋,李政道和杨振宁对如何能得到更多的关于弱作用的数据发生兴趣.受了李政道的影响,哥伦比亚大学的 M. 施瓦兹 (M. Schwartz, 美国物理学家,1988 年诺贝尔物理学奖得主.译注)提出了做中微子束流实验的想法.这是一个重要的提议,引导出后来的许多中微子实验.关于中微子实验的第一篇理论分析文章就是李政道与杨振宁 1960 年写出来的.

### (7) 中间玻色子的研究

早在 30 年代,汤川秀树就曾经讨论过中间玻色子传递  $\beta$  衰变的可能性,上面所提到的 1949 年杨振宁与李政道和 Rosenbluth 的文章也讨论了这一可能性(今天我们知道,传递弱相互作用的确实是中间玻色子,即  $W^\pm$  与  $Z$ ,而它们都是规范场).1957 年夏天,继宇称不守恒的发现, $\beta$  衰变成了热门题目.1957 年 4 月 15 日到 19 日的罗切斯特会议上,在 J. Tiomno 演讲后,杨振宁说:“如果  $\beta$  衰变是矢量相互作用而不是标量相互作用,人们应问一个问题,这是否与一些矢量场有关.而这些矢量场产生于定域守恒定律的概念.”他在这里所说的定域守恒定律概念就是 1954 年他和米尔斯所引进的概念.在粒子物理领域中,这是第一次把规范场和弱作用玻色子联系在一起.

上面(6)所提到的关于高能中微子实验的理论文章里,杨振宁、李政道也讨论了中间玻色子,他们把它取名为  $W$ . 之后的两年里,他们对中间玻色子的性质做了许多唯象的与结构性的工作.

### (8) CP 不守恒的唯象分析

1964 年 CP 不守恒现象在实验中发现以后,从理论角度探讨这一现象的文章多得不得了,众说纷纭,见仁见智,说得神乎其神.杨振宁和吴大峻不理睬那些玄而又玄的幻想,做了脚踏实地的唯象分析.他们自上面(4)中所说的文章开始,利用 CP 不守恒是极弱的现象,把  $K-\bar{K}$  衰变中不同数量级的、可以测量的参数和它们

之间的关系整理清楚. 这篇文章引进的概念与参数(如  $K_L, K_S, \eta_{\pm}, \eta_{00}, A_2/A_0$  等)都是后来关于这一问题的实验与理论研究的基础.

### (9) 规范场的积分形式与纤维丛

1974 年杨振宁写的一篇文章与 1975 年杨振宁和吴大峻写的另一篇文章, 澄清了量子力学中电磁场的基本意义, 澄清了 Aharonov-Bohm 实验的拓扑意义, 从而澄清了规范场与微分几何中纤维丛的关系. 1975 年的文章中有一个“字典”, 列出规范场语言和纤维丛语言的关系. 这个“字典”引导出数学家对规范场的兴趣. 上面所提到的瞬子解及后来 Donaldson 的工作都与此发展有直接关系.

纤维丛的概念与拓扑学有密切关系, 所以近年来场论的发展中拓扑概念占了很重要的位置.

### (10) 几何模型

自 1967 年以来, 杨振宁和邹祖德、闫爱德发展了高能碰撞中的几何模型. 这是一个唯象的理论, 与角动量守恒有密切关系. 20 多年来这是一个很成功的模型, 引导出许多现在普遍采用的概念, 如裂片, 极限裂片, 对 KNO Scalling 的解释, 对弹性散射的分析等.

## 2. 统计力学

### (1) 自发磁化强度和临界指数

1949 年 11 月初, 在一次讨论中, 杨振宁得知 B. Kaufman 已将昂萨格的二维易兴模型的严格解简化了. 杨振宁对 Kaufman 使用的数学很熟悉, 所以终于彻底理解了昂萨格的解法. 1951 年 1 月, 杨振宁认识到 Kaufman 的方法可以用来计算自发磁化强度, 但计算步骤很复杂. 他做了一生中最长的计算, 经过 6 个月的努力, 最后得到很简单的自发磁化的表达式. 发表了一篇很有名的文章. 1952 年杨振宁在访问西雅图时建议张承修推广此文, 计算一

个长方模型中的自发磁化. 张承修完成了此工作, 发现长方模型与正方模型的临界指数都是  $1/8$ , 所以张承修猜测临界指数有普遍性, 可谓开了此重要想法的先河.

那时二维易兴模型的理论结果不能由实验证实. 80 年代以来, 由于技术的进步, 情况有了改变. 1984 年陈鸿谓做了很漂亮的实验, 证明临界指数确是  $1/8$ , 与理论结果符合.

### (2) 液态相变的研究与单位圆定理

易兴模型工作之后, 杨振宁利用他得到的结果讨论了“晶格气体”的相变. 1951—1952 年间, 他和李政道写了两篇关于相变的文章. 这两篇文章澄清了液-气相变的基本原因, 迫使先前认为这种相变是维里级数的性质的物理学家放弃他们原先的想法.

这两篇文章引进了复逸度概念, 证明了一个很漂亮的“单位圆定理”. 此贡献后来在统计力学和场论里都有很大影响.

### (3) 贝特假设的发展

为了研究非对角长程序与“晶格气体”中的量子影响, 杨振宁于 60 年代初回到他曾经研究过的 1931 年贝特的工作, 这一次他和杨振平重新研究贝特的方法. 贝特的和后来别人的文章里面的方程十分复杂, 不容易看出这些方程解的性质. 杨氏兄弟发现, 如果把贝特的  $\operatorname{arctg}\alpha$  函数用  $\operatorname{arctg}\alpha = \frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg}\alpha$  换成  $\operatorname{arctg}\alpha$ , 则可以用连续性的性质控制方程的解. 这个很简单的办法导致了贝特方法的重要突破.

1966 年到 70 年代初, 杨振宁、杨振平和前者的博士生 B. 萨瑟兰用贝特方法研究了许多统计力学模型, 写了十几篇文章. 其中最有名的一篇是上面所提到的杨振宁-巴克斯特方程的那一篇. 其他的好几篇文章也都很有新意, 影响甚大, 是这一门学科研究方向中的经典著作.

### 3. 凝聚态物理学

#### (1) 磁通量子化的解释

1961 年春, 杨振宁在斯坦福大学访问了几个月, 那时 W. M. Fairbank 和 B. S. Deaver 正在做超导体的磁通量子化的实验. 这是 F. London 和昂萨格分别于 1948 年和 1953 年讨论过的问题. 可是杨振宁和 N. Byers 研究此问题后发现, London 与昂萨格的直觉想法虽妙, 可是物理论据不正确. 杨振宁和 Byers 指出, 正确的解释要用波函数的单值性和 BCS 的超导理论. 关于杨振宁和 Byers 文章的重要性, 请参看布洛赫的有关论述.

#### (2) 非对角长程序 (ODLRO) 的概念

50 年代对量子力学中多体问题和超流氦的兴趣使杨振宁领会到玻色-爱因斯坦凝聚的重要性, 1961 年对超导磁通量子化的研究也使他认识到超导中 BCS 理论的重要性. 可是杨振宁觉得费密子的玻色-爱因斯坦凝聚这一概念过去没有清楚的分析. 1961—1962 年他对此作了深入的研究, 写了一篇关于非对角长程序概念的文章. 这是一篇既有数学深度又有物理深度的文章, 也是杨振宁自觉得意的文章.

#### (3) 关于 Aharonov-Bohm 实验的建议

杨振宁对 Aharonov-Bohm 实验的兴趣和他对磁通量在超导圈中量子化现象的研究, 使他在 1983 年的国际量子力学研讨会 (ISQM) 上建议外林用超导圈做 Aharonov-Bohm 实验. 此建议导致了外林 1986 年极漂亮的实验. 到 1991 年为止, 这是最准确的 Aharonov-Bohm 实验.

### 4. 物理学史

杨振宁写了不少关于近代物理学的发展与关于爱因斯坦、薛定谔、魏耳等人工作的科学史文章. 他认为对于中国近代物理学先驱们的工作, 以往的介绍不够准确, 既失之笼统, 又显得幼稚. 为此, 近年来杨振宁有意识地在这方面做了一些努力, 与本文作者之

一合作写了一篇关于赵忠尧先生的文章和一篇关于王淦昌先生的文章.他认为这一类工作还应该多做.

## 杨振宁的特性、个性、为人

杨振宁的工作最引人注目的特征是眼光深远,善于做一二十年以后才为别人注意的题目.1954年关于规范场的工作,20多年以后大家才认识到它的奠基性的价值.1967年的杨振宁-巴克斯特方程,也几乎在20年以后才被大家认识.并且,这两项工作都会在今后几十年内继续发生重大影响.选择做这种工作的秘诀在那里?本文作者曾以此就教于杨振宁.他说,第一,不要整天跟着时髦的题目转,要有自己的想法.第二,要小题目大题目都做.专做大题目的人不容易成功,钻入牛角尖还会有得精神病的危险.规范场虽然是大题目,可是1967年做的杨振宁-巴克斯特方程却是小题目.那么小题目怎么变大了呢?这就是第三,要找与现象有直接简单关系的题目,或与物理基本结构有直接简单关系的题目.杨振宁-巴克斯特方程之发现,起源于公式(3)的问题,那是最简单、最基本的量子多体问题.研究这种问题,容易出有基本价值的成果,研究这种方法,容易变成有基本价值的方法.

本文作者问杨振宁,在他的研究经历中有没有失败的地方?他说当然有,最重要的是他在60年代没有掌握对称性之自发破缺的重要性.“我那时不喜欢自发破缺,有一套原因,现在看起来是错的,在我《选集》一书第67页上有关于此点的讨论.”

杨振宁喜欢做开创性的工作,喜欢走进新领域.这种取舍是否有缺点?杨振宁说:“当然有,不过天性如此,不能勉强.”

1986年6月4日杨振宁在北京和许多研究生谈话,讲到他认为做物理研究之三要素是三个P: Perception, Persistence, Power, 即眼光、坚持与力量.他解释,三者缺一不可,但以眼光与力量为重

要,有了此二者,坚持是自然的事.依据这个看法我们衡量杨振宁的工作,发现确实是三者具备;他的眼光深远是惊人的,他的坚持能力可以从规范场的工作和1952年自发磁化强度的计算看出,他的力量则在许多工作中显示出来.1956年的宇称不守恒工作充分显示出他分析物理问题的力量;1962年关于非对角长程序的文章,则同时显示了他研究物理、研究数学的力量.

杨振宁常常向他的学生们讲直觉的重要,而且强调直觉是可以经过训练而加深的.他说一个人,无论是大学生、研究生还是教授,都应当培养自己的直觉,相信自己的直觉.如果发现直觉与现象、原理或新知识冲突,那是最好的深化自己直觉的时候,这时如果能把冲突原因弄清楚,会有更上一层楼的效果.这是不容苟且的事情,马马虎虎、随随便便就相信书上的或别人的话,是要不得的.

古人说“文如其人”,用在杨振宁身上很恰当;认识杨振宁的人都知道他待人以诚,从不投机取巧、仗势欺人或哗众取宠.看他的文章也有同样的感受.他的文章里没有花言巧语,没有故弄玄虚,没有无的放矢,处处都是真枪实弹地在打硬仗.他的文章有的写得很容易读,例如关于宇称不守恒的那一篇.可是在数学用得多的文章中他通常写得太浓缩,使读者望而生畏,例如非对角长程序一文则很不容易了解.显然他在写后一类文章时把数学推理放在第一位,而把读者的感受放到末位.

杨振宁喜欢陈师道《后山诗话》中讲的“宁拙毋巧,宁朴毋华”,他说这也是他做学问的态度.

杨振宁的科学论文虽然有时嫌过于浓缩,但从不给读者仓促成稿的印象.关于这一点,最好的例子是前面提到过的二分量中微子理论.那时先后发表了三篇文章:萨拉姆的、兰道的、杨振宁与李政道的,三者的主体结果一样.可是杨振宁、李政道的文章旁及其他问题,考虑周详,尤其重要的是他们讨论了细致平衡,从而指出当时的中微子截面实验结果是错误的.而其他两篇文章则没有考

虑到这一点. 杨振宁写论文是很谨慎的, 这也许是在 1983 年出版的《选集》序言中引用杜甫诗句“文章千古事, 得失寸心知”的原因吧.

杨振宁喜欢帮助别人, 在芝加哥大学做研究生时(1946—1948), 就已经是有名的学生-老师. 1985 年, 他的同班同学斯坦伯格(J. Steinberger, 美国物理学家, 1988 年诺贝尔物理学奖得主. 译注)回忆那时的情形时这样说: “在我们中间最令人印象深的学生-老师是杨振宁, 他来自战时的中国, 虽然只有 24 岁, 可是已经熟悉了全部的近代物理.” 米尔斯在一篇关于他和杨振宁 1954 年怎样合作的文章中写道: “(我) 与杨振宁在同一办公室工作. 杨振宁当时已在许多场合中表现出了他对刚开始物理学家生活的年轻人的慷慨, 他告诉我关于推广规范不变性的思想……”

杨振宁的研究生数目不多. 他在普林斯顿高等学术研究所时没有研究生. 后来到了石溪, 许多人以为他会收很多研究生, 可是他没有这样做. 他说他不是“帝国的建造者”(Empire Builder), 而且他“没有很多好题目给研究生做”. 迄今跟他做博士论文的不到 10 人, 其中最有名的是赵午. 杨振宁说他很得意的一件事是 1974 年赵午得到博士学位前后, 他硬迫, 或几乎硬迫赵午改行去研究加速器理论. 杨振宁回忆道: “赵午能力很强, 可是我说粒子理论一行里粥少僧多, 每年每人做出有意义的结果很少. 相反地, 加速器原理里面有很多问题, 可是年轻人都不晓得这一行, 不知道其中粥多僧少.” 赵午改行后极为成功, 很快即闻名于世界.

本文作者李炳安和邓超凡为美国纽约州立大学石溪分校应用数学系教授.

# 附 录

## 基本物理学的精髓——九组方程式<sup>①</sup>

李炳安

物理学是自然科学的重要部分,内容极其广泛,小至基本粒子,大到宇宙都受物理学基本规律的支配。今日物理学的基本规律由九组方程式表示,它们是物理学的精髓,是物理学家传世的衣钵,是宇宙结构的诗篇。本文简略介绍此九组方程式。

### 1. 力学和引力

牛顿力学的运动方程是

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = F$$

牛顿万有引力方程是

$$F = -G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

这两个方程式奠定了力学、引力学和天文学的基础,是牛顿(Issac Newton, 1642—1727, 生于英国)于1687年发表的。

① 摘自张曼美编《杨振宁谈科学发展》,美国八方文化企业公司出版,1992。



## 2. 电磁场

电磁场方程包括下面四个方程，

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = 4\pi\rho$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \frac{4\pi}{c} \mathbf{j}$$

这四个方程式是电磁学的基础，是麦克斯韦 (James Clerk Maxwell, 1831—1879, 生于英国) 于 1864 年发表的。

## 3. 热力学

热力学的第一定律为

$$\Delta U = Q - W$$

是焦耳 (James Prescott Joule, 1818—1889, 生于英国) 于 1850 年确立的。

热力学的第二定律为

$$Q \leq T \Delta S$$

是克劳修斯 (Rudolf Clausius, 1822—1888, 生于德国) 和开耳芬 (Lord Kelvin, 1824—1907, 生于英国) 分别于 1850 年和 1851 年提出的。

## 4. 统计力学

统计力学的基本方程

$$S = k \ln W$$

是玻耳兹曼 (Ludwig Boltzman, 1844—1906, 生于奥地利) 于 1872 年提出的。

## 5. 狭义相对论

狭义相对论原理是关于空间和时间的理论，它的基本方程

$$ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2 - c^2 dt^2$$

$$=ds'^2=dx'^2+dy'^2+dz'^2-c^2dt'^2$$

是爱因斯坦 (Albert Einstein, 1879—1955, 生于德国) 于 1905 年提出的, 这组方程奠定了了解电磁场方程(见上文)的基本观念.

## 6. 广义理论

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = -8\pi G T_{\mu\nu}$$

是爱因斯坦于 1916 年提出的, 这组方程修改了牛顿的时空观念, 也修改了牛顿的引力方程(见上文).

## 7. 量子力学

$$pq - qp = -i\hbar$$

$$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = H\psi$$

量子力学是海森堡 (Werner Heisenberg, 1901—1976, 生于德国) 和薛定谔 (Erwin Schrödinger, 1887—1961, 生于奥地利) 于 1926 年创立的. 量子力学描述微观世界物质运动的规律.

## 8. 电子方程

$$\{C\boldsymbol{p} \cdot \boldsymbol{\alpha} + mc^2\beta\}\psi = E\psi$$

是狄拉克 (Paul Adrien Maurice Dirac, 1902—1984, 生于英国) 于 1928 年提出的相对论电子的量子力学理论, 奠定了今日对电子了解的基础.

## 9. 规范场论

### 规范场方程

$$F_{\mu\nu} = \frac{\partial B_\nu}{\partial X_\mu} - \frac{\partial B_\mu}{\partial X_\nu} + g[B_\mu, B_\nu]$$

$$L = -\frac{1}{4} \text{Trace } F_{\mu\nu} F^{\mu\nu}$$

是杨振宁 (1922—, 生于中国) 和米尔斯 (Robert Laurence Mills, 1927—, 生于美国) 于 1954 年提出的, 这组方程奠定了今日对宇宙一切力的结构的了解.

要认识以上九组方程式在物理学中的重要性,我们可以从横的角度、也可以从纵的角度来讨论.从横的角度来看,它们是今日物理学极广泛的各领域的基础.从纵的角度来看,它们是物理学发展史中的里程碑.

马克斯·德累斯顿

## 试论物理学中的风格和品味

### 阿姆斯特丹的开场白

50年前,阿姆斯特丹大学一位数学教授无意间做的一番评论,至少在一个学生的心中留下了永久的印象.这是一堂关于复变函数论的普通课程.临近下课时,那位教授谈论复变函数方法的巨大威力,说轮廓积分非常重要.为了说明如何应用这一技巧,他举了 $\sum \frac{1}{n^2}$ 这个级数求和为例子.经过一阵演算,他得到了 $\frac{\pi^2}{6}$ 的结果.停顿了一会儿,最后他问大家,是否对这个结果有深刻的印象?

像当时欧洲所有的大学生那样,大家不情愿回答任何问题.没有人吱声.教授又问:这个结果是谁人求得的?同样无人回答.又过了好一会儿,教授解释说,伯努利家三兄弟<sup>①</sup>,尼古拉斯、丹尼耳和约翰花了大约10年时间钻研这个问题,没有成功.

哥哥尼古拉斯死于1740年.欧拉在几年之后成功地求得了这

<sup>①</sup> 伯努利家族是指17—18世纪间瑞士的一家三代先后产生了8位数学家的家庭.其中最著名的为雅各、约翰和丹尼耳.原文似有误,丹尼耳是约翰的次子,不是兄弟.译注.

个结果. 弟弟丹尼耳是欧拉的好朋友. 当他知道他们兄弟花了这么多时间去钻研的问题实际上是可解的, 而且得到的竟然是这样一个简单又出人意料的结果, 不禁感叹道: “要是尼古拉斯能活着看到这一切该多好啊!” 又停了一会, 教授补充说道: “请大家把这作为数学里巴洛克风格的一个极端例子记在脑子里. 数学的发展早已越过这种装门面的时期了. 在现代, 再没有一位数学家会花这么多精力去求解一个使用一些技巧就能解决的问题.” (这位教授是个拓扑学家) 他的这番议论是出人意料的, 随后公认数学和科学中存在风格和时尚, 这也是出人意料的. 许多科学家有十分明显的好恶感, 他们的好恶反过来对他们的科学判断和科学研究方式会产生显著的影响, 这又是一个出人意料的事实.

事情终于开始明白, 个人对什么是科学或科学应该是什么的观点, 和他的实际科研成果之间, 存在相当错综复杂的关系. 为了深入分析这些关系的性质, 已发表(以及未发表)许多详细调查的材料.

我们对各个物理学家的风格、品味和他实际从事的研究类型之间的准确关系做了相当广泛的研究, 本文是这项研究的初步报告. 这种准确关系并不容易分析, 因为它涉及科学家之间的关系以及科学家为自己所设定的目标等等, 资料常常不够完整, 又不得不作主观的价值判断, 所有这些都导致一幅游离不定的图象.

这项研究的一个明显困难, 就是物理学家们只有在极少数场合才会表露他们潜在的哲学或意识形态的笼统观念. 这往往是诸如葬礼、就职演说和各类纪念活动等礼节性场合. 不难理解, 这样所得到的只是一些零散的评论而不是系统而有组织的论述. 再者, 这种评论只提供科学家思维过程有意义的一瞥, 从这一点上说是有价值的, 但不能构成分析的全部基础.

然而, 有数量相当惊人的科学家不仅仅研究这类偶然的评论, 他们对物理学家进行了精心的分类. 在这样做的时候, 他们不仅阐

述不同物理学家鲜明的最终目标,而且对他们的方法、途径和动机进行归类和评估。

应该看到,存在着有许多明显差别并且互不相容的分类方法,各自使用不同的分类标准。结果,就某一特定的分类方法而言,并没有物理学家独一无二的特性。这种特性也并非特别令人向往。这一暗示的主要目的是为了强调,未直接表达出来的内心想法往往对看起来很有意义的问题有着多么强有力的影响,它们往往决定个别科学家潜意识的办事日程,因此并没有令人偏爱的分类办法可以包含什么结果是重要的,什么结果是相关的这样高度个人化的态度,这是毫不奇怪的。关于什么结果构成重大进展,或是无足轻重的偏离,还是装模作样的胡说八道,也没有一致意见。

第一节包括许多零碎的讲话和互不关联的评论,全都企图说明,研究个别物理学家的风格是可能的,并且往往可以由此得出有意义的结论。尽管不可能期望这类研究会产生出新的物理学,它们却常常出人意料地让我们可以窥见物理学家发展成长的内部情形,给人以启迪。

第二节列举了一些不同的风格。显然存在无数个别的差异,例如,对一般原理,从完全冷漠,到奉为教条。当然还存在许许多多别的差异,但几乎所有的物理学家都有着某种未加分析的偏见,引导和决定着他们研究计划的性质。

第三节是这篇论文内容最广泛的部分,提出并讨论了几种严肃和近乎严肃的分类办法。物理学家在界定不同类型研究人员的时候,他们之间的各种差别变得十分简单明了。

第四节对费密和海森堡,杨振宁和乌伦贝克(Uhlenbeck)这两对重要的物理学家进行了实际比较。尽管讨论非常仓促,但是,即使处理同样的问题,他们各自的风格引导他们采取不同的物理方法和截然不同的数学手段,这一点已经十分清楚。

应该强调说明,这篇论文是对正在进行的研究初步的、几乎是

临时性的报告,但是它所包罗的信息应足以显示,在物理学界对人的品味、风格与所完成研究类型之间公认的模糊关系进行认真的研究是重要和值得的,而且对于物理学的完整评价是极端必要的。

## 一 为什么风格是一个正当的论题

风格、品味、个性等问题似乎是不可能与物理学有任何关系的。物理学毕竟是试图以已经确定的、可证实的原理为基础,对宇宙进行实验性客观描述的科学,个性成分不认为会与之有牵连,而且完全可以肯定,不会起着有意义的作用。

目前各种研究期刊为公众所接受的风格似乎证实了这一点。大多数论文写作极为规范,纯粹是描述性的。章节的划分符合传统:引言,被研究的问题,建议采用的新方法,所使用的仪器,推算过程,最后是结果、分析和结论。每句话都经删节、浓缩,合乎惯例,一丝不苟。任何轻浮、幽默、笑话、个人反应等统统被高度警觉、铁面无私的编辑无情地删掉,因此不可能有人怀疑一份严肃刊物的庄重地位。

所有这一切束缚都使论文没有轻松的个人情调,往往枯燥无味。因此,还有什么口味、个人风格可言呢?在这种受到严厉僵硬限制的制度中,研究人员的个性怎么能够有所表现呢?

任何科学研究总是肇始于对许多问题的思考,认识这一点是重要的。研究人员一开始便被迫作出一连串选择。什么问题重要?哪一些似乎是细节?物理学中还有其他附加考虑。对现存理论来说,讨论什么问题可能会有收益?用现存实验工具可以研究什么问题?因此,问题的选取,预想的框架类型,可接受的解答的必要条件,等等,全都带着明白无误的个人烙印。越是普遍和深刻的问题,这些个人预测越明显。杨振宁(1982)对有关个人品味作了非常透

彻而简洁的论述：

“物质世界具有结构，而一个人对这些结构的洞察力，对这些结构某些特性的偏爱，对另一些特性的憎厌，正是他形成个人风格的要素。因此，好恶和风格之于科学研究就像它们对文学、艺术和音乐一样至关重要，这其实并不是稀奇的事情。”

19世纪伟大而且敏锐的物理学家玻耳兹曼对科学家在研究中的个性表现说得甚至更加明白：

“一位音乐家听了头几个音符即可以认出他心目中的莫扎特、贝多芬、舒伯特，同样，一位数学家或物理学家读过文章的头几页即可认出他的 Cauchy、高斯、雅可俾、Helmholtz、Kirchhoff。法国的文章作者们通过极其正板的优雅笔触泄露自己，而英国人，尤其是麦克斯韦，则以戏剧感揭示自身。”

研究人员选取这一途径而屏除另一途径，继续研究一个问题或是转移到另一个问题，在作这种选择的时候，个人喜爱便进入到研究中来了。

有的时候，这些相当具体的选择在大型设计上是被接合在一起的，但是总通过明智的选择加进了个人口味。玻耳兹曼关于科学风格与音乐风格一样明显的话也许说得太重了一点。可以想象，只要所说的物理学家和音乐上的贝多芬、莫扎特、舒伯特，或者和美术上的伦勃朗、凡高、毕加索一样有名气，那么，这个说法也许是真实的。

但是研究的范围越确切具体和平凡，个人的影响便倾向于愈



小、愈隐蔽,这似乎是明白、合理的.从某位作曲家如何处理诸如转调、林间风声的运用等次要的技术细节,人们往往即可认出一种音乐风格.画家常常通过颜色组合的使用、透视,甚至(而且经常!)通过画手指的方法展示他们的个性.科学上何尝不是如此.

尽管科学对科学研究有严格的要求,科学传播规则有严厉的限制,但是仍然可以找到个人风格的蛛丝马迹.和在艺术中一样,这类几乎是个人癖性的个人特性是会在对次要细节的技术处理上显露出来的.例如, LaPorte、泡利和 Kramers 都特别偏爱复变函数技术,只要可能,都不会错过使用机会.泡利经常自诩是物理学家中最优秀的复变函数分析专家(虽然他很吝啬地承认 Kramers 也同样优秀).海森堡对复变函数技术没有那么大的兴趣,不常使用,泡利便屡屡取笑他.

费密则几乎从不使用这些技术.当然,毫无疑问,海森堡或费密如果希望运用复变函数方法,他们也不是不能这样做.但是复变函数技术并没有给予他们两人和给予泡利、Kramers、LaPorte 等人一样的欢乐.他们宁愿使用他们发现更加合意的别的方法.他们基于自己的口味作出了选择,这是个人口味怎样决定所选择程序的一个小例子.

从论文的标题通常便可以看到作者的个性(编辑们的巨掌虽然同样也倾向于要让标题里的个性言辞销声匿迹).Ehrenfest 的论文用了一条近乎哀伤的标题《对量子力学的一些质询》.在这篇文章中他提了几个一直在烦扰他的有关量子力学的问题.泡利对之作了解答.

爱因斯坦、Podolsky 和 Rosen 论述量子力学含义的著名论文的标题是带有煽动性的,“量子力学对现实世界的描述能够是完备的吗?”一般说来,爱因斯坦喜欢简洁明快的标题,他想让这篇论文成为对量子理论有意的挑战.其他论文的标题,如《场论中某些人的引理》或《量子场论中几个令人迷惑不解的结果》,都表达了对某

一结果或某一问题的个人反应,这种反应远远超出了技术评价。

对问题、效应或佯谬的命名是反映物理学家个人卷入的另一个途径。Ehrenfest 根据维恩(W. Wien, 1864—1928, 德国物理学家, 1911 年诺贝尔奖得主。译注)定律对黑体辐射中的能量发散造了一个“紫外线灾难”这样的名字。这个名字传递一种惊恐的急迫感,它十分典型地反映了 Ehrenfest 对当时物理学的感情。他的论文《以太理论的危机》表达同样的关切感。其他例子有“ $\theta$ - $\tau$  之谜”、“吉卜斯佯谬”、“红外奴役”、“黑洞”、“奇异吸引子”等。这些名称超出了对科学情景的适度评价。相反,它们表达了惊奇、混乱、不信任等个人感情的残余。诚然,这是个人态度开始渗入科学活动的又一个例子。

## 二 风格多样性之刍议

### 1. 不同风格的基础

第一节已经议论过,物理学家的个性在对各种备选可能性作选择的时候便表露出来了。这一节将要分析,它们实际上是些什么选择,存在什么备选方案。有了这些资料作基础,便有可能得到区分不同风格的初步意向。

第一类物理学家(A类)尽可能直接地与数据和现象打交道,而且实际上他们只处理数据和现象。他们引入概念和程序,以便对数据进行组织,理清它们的关系并使之系统化。在做这些工作的时候,他们能够观察到以实验为依据的规律性,可以用这些规律性作出预言。但是这些规律性不具备任何基础意义。

方案的实用性和重要性由方案带给数据的条理和组织所决定。除此别无其他功能。与之相比较,第二类物理学家(B类)在充分认识实验结果支配地位的同时,倾向于在经过充分定义的形式框架和概念框架之内运作。对现象的描述和解释都在界定范围内

进行。经典力学、量子力学、热力学、广义相对论这些结构都是预先假定列入讨论的例子。它们提供进行分析的专门术语、物理意念和所运用的法则。

新的实验资料有时要求对结构作改善或修改。在少数情况下，新的结果还要求作重大修改或深刻的改变。大多数 B 类物理学家都极不愿意作这样的大改动。他们常常彻底抛弃一个领域而不情愿去面对一个新的、不熟悉的，让人感到不舒适的局面，这种情形并不鲜见。对于这些物理学家，概念结构是他们所“理解的宇宙”，他们的活动和认知均被他们自己的宇宙框死了。

第三类物理学家(C 类)并不太热衷于诠释数据或预言新现象，而是分析物理的逻辑和概念结构。他们试图将自己的思考建立在总体的、先验的原理之上。正是由于从先验的原理出发，所以可以预期，这种总体的想法包含着浓重的个人成分。因此，在这类物理学家的研究方向中，存在许许多多不同的方法，这是不奇怪的。

很显然，实际上并没有哪一位物理学家在整个学术生涯中仅将自己局限于单独某一类。这一粗略的分类提供的是一个连贯的级别——从把科学视为仅仅是有意义的数据集合体这样一类科学家到另一类不同的科学家，他们相信纯粹靠思想，靠抽象思考而不必求助于实践，便可从质和量上把握物理（也许还包括这个世界）。就个性而言，包括从 Mach 到 Eddington 之间连续过渡的各种不同类型。大多数物理学家都处于这两种极端之间。而且，他们通常不会因为改变他们所属的类型而有半点懊悔。

很有必要回顾这样的事实，物理学（科学）总是不完备的，总有许多悬而未决的问题，有许多被误解的特点。科学研究必须处理这些未解决的问题并且不可避免地会涉及大量模糊不清的东西。在这一方面，物理学与数学很不一样。在任何数学论述中，那怕存在一个矛盾也是致命的。在物理学中，矛盾、悖论和尚未得到解释的现象则十分普遍。它们屡屡激发新的方法，改变研究的方向。

研究人员不得不作的一个重要决定是,这些矛盾和未得到解释的效应实际上究竟有多重要.它们可能是结构的致命弱点的迹象,或者也许是只需作轻微调整即可解释.既然无人真正知晓,遵循某一方向而非另一方向的决定便带有强烈的个性.这个例子再一次说明,所作的选择显示了风格.

有的物理学家坚持追求具有非凡数学形式美的理论,尽管这些理论也许没有多少预言力量;而别的物理学家会争辩说,虽然人工创造的模型有时与已确立的原理相悖,只要具备组织和预言力量,它们便是希望大得多的追求方向.更有另一些物理学家采取这样的立场,他们认为,只有对具体问题进行仔细、详尽和周密的检验,才可以取得进展;而他们的同事也许相信,唯有对基础作激烈深刻的修改,才可以改善局面.

比较下面这两类物理学家还可以得到另一组对分,一类人把他们的研究努力视为甚至是由麦克斯韦、爱因斯坦和狄拉克等人开创的研究方向已经达到的顶峰的延续;另一类则认为,这些理念已经走完它们的历程,应该抛弃并由全新的概念替代了.

一位活跃的研究人员在所有这些事情上所作的决定的集合构成了其独有的科学风格.既然所有这些决定实际上都带个性,因此可能存在非常大量的不同的科学风格.下一节将用例子说明,这些个人差异对所开展的科学活动有着直接和显著的影响.

## 2. 一些个人的观点及期望

物理学家极少花时间或有兴趣去系统表达它们对物理学的希望和期待.除了前面所说的正式礼节性场合,个人态度还表现在对问题的回答(有时候是轻率的)、即兴的评论,以及对别人研究活动的反应,比如经常会听到类似“哥本哈根的愚蠢”、“被图表淹没”等说法.文章和讲演中不时会听到或看到“文体格言”或“科学规劝”等话语.

尽管这类评论看似信口开河,或者趣闻轶事,其实他们往往表

述着深藏的信念。另一方面,我们应该回顾爱因斯坦说过的话,他说,对于一位科学家(物理学家),重要的不是他对自己的工作说了些什么,也不是他怎样看待生活,而是他作为科学家完成了些什么,做出了些什么,因此,必须将这些评论和规劝放在所做出的全部科学成果中加以衡量,也许可以从中得到启发,但它们毕竟只是入门材料,往里作更深入更技术性的探查,才可看清个人偏爱与实际进行的科研之间的关系。

有许多这样的例子,所获得的科学成果似乎与科学家深信不疑的先验信念相共鸣。这些先验的、往往是未加分析的信念和被用以确立与预想十分和谐的成果的论点是交织在一起的,要理清两者的关系并不很容易,但毫无疑问,一旦理清了,影响是巨大的。无可争辩的科学成果导致对内在理念和原则的不可动摇的信任,这些科研成果与先验信念是相互加强的。

这种信任则往往发展成为对这些原理僵硬、甚至是教条式的依附,造成个人预想控制后来的科学判断的局面。整个物理学史上的许多例子说明了这种发展。下面是一些有代表性的例子:

(1)开普勒发现行星轨道是椭圆的,这大大加强了他对“上帝秩序”(Divine Order)的美丽那种几乎是神秘的信仰。开普勒原来实际上认为,完美的上帝会创造出完美的轨道,因此这些轨道应该是圆的。他后来观察到轨道是椭圆形的,于是便将现在应称作不完整对称的东西解释为不完美的人类的表现;人类不配住在一个“完美的处所”。开普勒的科学成果和他的先验宗教信仰和谐地统合在一起了。

(2)有相当的证据显示,Maupertuis 不仅是一位极度俭省的人,而且他深信自然的“真正法则”几乎由上帝的诏书规定,应该表达成为某些最小原理。这一态度是否导致“最小作用量原理”的提出尚不清楚,但是, Maupertuis 的科学发现正是他的信仰所要求的法则的完美例证,他对此必定非常兴奋,这是不会有什么疑问

的。

(3)薛定谔肯定毕生都乐意并且可能十分焦虑地思考着,物理学中的许多法则,特别是守恒法则,都是统计而非精确的.这种见解的形成也许是由于他早年在维也纳受到了 Franz Exner 熏陶的结果.但是,他对导致统计守恒法则的理论历来深感兴趣,迷恋不舍.因此,薛定谔是欣赏玻耳、Kramers 和 Slater 1952 年发表的能量统计守恒理论的少数几位物理学家中的一人.当该理论被证明不正确的时候,薛定谔放弃了作进一步的研究.但是,他最后写的一篇文章叫《能量有可能仅仅是一个统计概念吗?》鉴于薛定谔始终激烈反对对他的波函数作几率的解释,却自始至终对统计守恒法则坚守不渝,这是十分令人惊奇的.我们不能说,这一定与他步入神秘主义,或者与他躁动不安的智力复杂性有什么关系,可是他那根深蒂固的原则的持久影响却非常明显.

(4)泡利在对美国物理学会所作的讲演中对理论研究,特别是场论研究状况作了批评性的评价.他引入“大”物理学家和“小”物理学家的区别.小物理学家接受任何不受形式主义排斥的东西,而大物理学家只接受形式主义所要求的,或证明了的那些结果.

泡利责备“年轻一代”是小物理学家.他们把种种猜测作为理论来接受.对所有新见解泡利总是坚持作详尽的、深思熟虑的批评分析.他的高标准是不妥协的.谁也逃脱不了他入木三分的批评或尖锐的嘲笑.他运用他的渊博知识和强大的批评力量说服他的物理学家同行不去作那些不相干的努力.

尽管泡利对所有新见解都作区别性分析,他对物理学应该探究的有希望的方向,却有非常浓烈的个人见地.任何不能明确地计算精细结构常数的量子电动力学,他都不加思考地予以拒绝.这是利用个人对未来理论绝对先验要求的一个有趣例子.

(5)虽然爱因斯坦告诫人们,对物理学家关于他们的科学的言论不要过于认真,他却经常以不容争辩的有力方式表达自己的意

见。例如，他断言，“有意义的理论不可能包含其值只由经验确定的无量纲常数。当然，我无法证明自然定律中不应该存在无量纲常数，从纯粹逻辑的观点来说，这些常数既可以取这种值，同样也可以取另一种值。对于我，在我对上帝的信仰中，这似乎是很明显的，但也可能有几个人并不持这同样的观点。”这是爱因斯坦强烈的科学信念的例子。他内心坚信自己理解和掌握物理学。

早年，爱因斯坦曾推导出一个电子质量随速度变化的表达式。洛伦兹(H. A. Lorentz, 1853—1928, 荷兰物理学家, 1902 年诺贝尔物理学奖得主。译注)用一种完全不同的方法获得了相同的结果。当实验初步结果似乎与理论推导不一致的时候，洛伦兹十分关切，问爱因斯坦理论是否可能有误。爱因斯坦回答：“别担心，我的推导是自然、必然和正确的。实验会改变的，耐心等吧。”爱因斯坦是对的，虽然等的时间不短。爱因斯坦从无半点怀疑。爱因斯坦后来对数学的作用和重要性的印象越来越深。他在 1933 年宣称：

“物理学的创造性原理存在于数学之中。因此，在某种意义上，正如古时候人们所梦想的那样，纯粹的思维可以把握现实，我以为这是真理……理论物理的公理基础一定不能通过实验去获取，而必须由人类心灵自由创造。”

最后这句话在爱因斯坦晚年的 20 年中指导着他的行动。其他物理学家也取同样的行动原则，但是很少有人像爱因斯坦那样成功。

(6)和爱因斯坦一样，狄拉克也强调数学在物理学中的重要作用。但狄拉克有他自己的风格特征，他认为数学不仅重要，而且是带根本性的。狄拉克深信“美丽的数学”这一见解。在他看来，和“美丽的音乐”“美丽的雕塑”一样，这是一个先验概念。狄拉克的方法

可以用两个原则加以归纳：

a. “必须只运用美丽的数学，才可以建立有效和相关的物理理论。”至于第二个原则应该是什么，狄拉克在他的著作中说得相当明白。

b. 任何美丽的数学结构必须有一个描述物理的一部分对应结构，因此，数学的美丽是区分有希望的理论 and 混乱的死胡同最重要的单一标准。与实验不一致也许是一个障碍，应该加以研究，但对狄拉克来说，一个丑陋的结构比不一致更令人讨厌。

(7)关于什么东西构成物理学有希望的方法，狄拉克的评估与玻耳的完全彻底地不一样。用玻耳最喜欢的一句格言最能总结他的态度。“如果一个理论和实验不一致，却说这个理论是美丽的，我不知道这种说法是什么意思。”

在玻耳看来，数学是不重要的。物理学对于他来说，就是跟概念、语言和哲学的不断斗争。对现象的阐释，现象之间的相互关系才是玻耳心目中物理学的精髓。他常说，“思想是跟语言的不断斗争”，（在另一场合）他还补充说，“你永远不会表达得比思想更清晰”。

玻耳通过将他的思想讲出来而对概念和意念进行研究，对物理学的研究就是对这种概念和意念连续不断的探查。恰当地运用语言学术语是他的研究过程的有机组成部分。

物理学家对他们的研究的描述方式也表现出不同的态度。爱因斯坦的论文表现他沉着的大师风采和他极度的自信。他的文章一般很简短，具有出人意外，急转直下，深刻敏锐的洞察力。

狄拉克的作品几乎有一种苦行僧的质量，逻辑无可挑剔，不加装饰，充满冗长的解释和滔滔不绝的议论。玻耳的文章读起来更像沉思漫谈，从具体的论题漫游到哲学原则，一般只有最少量的数学，措辞体现了异乎寻常的匠心。

这些例子都表现了物理学家关于物理学的本质和目标所持的



非常鲜明强烈的见解. 它们不仅仅在决定什么是基本的, 值得花费不懈的努力时影响物理学家, 它们还决定物理学家所取的框架和认为可接受的解决办法的类型. 个人成分如此大量地涉及研究的所有各个方面, 因此实际上物理学家所有的创造性努力都展现了个人风格和品味的蛛丝马迹, 这就不足为奇了.

### 三 对风格进行分类的赏试

前面的讨论强调了个人态度和风格在科学研究中的重要性. 当然, 在把物理学家作为一个阶层来研究的时候, 还有一个更大的问题. 这个基本问题是, 能否按物理学家的贡献, 或按他们的个人风格, 对物理学家作有意义的分类.

迄今为止, 已经产生了许多这种分类方案. 其中最早的一个是由著名的物理化学家威廉·奥斯瓦尔德(Wilhelm Oswald, 1853—1932, 德国化学家, 1909年诺贝尔化学奖得主. 译注)于1905年提出来的(在下面将作比较详细的讨论).

这里将提出讨论的还有兰道、Kramers 和戴逊等人设计的分类方案. 可以肯定, 其中有些分类方案是包含了个人成分的. 有些方案甚至可能, 实际上很可能是为自己服务的, 因为它们试图解释个人成败, 或者证明个人对研究方向取舍的正确性.

即使如此, 这些分类也有意义, 并非过眼云烟. 它们是基于提出方案的人所选取的成套标准之上的. 这里奉献给大家的方案都是由积极显赫的物理学家所编制. 因此, 他们的分类起码展示了这些物理学家如何看待物理学界的结构. 这本身就是有意义的. 它们还提供一整套标准, 使我们在判断互相竞争的各思想流派的重要性时能得到启发, 甚至能窥见其内部情形.

尽管各类方案有实质性区别, 但它们都明白地显示个人成分在某类研究发展中有多大的相关关系.

### 1. 奥斯瓦尔德的旧门类

威廉·奥斯瓦尔德在19世纪末对化学作过重大贡献。当时他对改变化学特性,强调化学反应和反应机制,而不是重在列举反应产物这个问题上起了作用。到了20世纪初期,他对科学史和科学哲理发生了兴趣。他是《伟人》(Grosse Männer)一书的作者,在书中他提出了大科学家的性格特征。

奥斯瓦尔德划分了两个主要门类:浪漫派和古典派。浪漫派科学家的研究以意境恢弘,闪烁着深刻的洞察力,重直觉为特征。浪漫派科学家一般不很占板。他完全愿意忍受合乎逻辑的差距、模糊不清,甚至冲突。有时矛盾是受欢迎的,因为矛盾可能产生“具有创造性”的紧张感。证据和表现对浪漫派科学家并不特别具有根本意义。浪漫派风格的关键是热切期望真相的突然揭露,从而可以得到包罗一切的见地。这种为获得了解和证据的浪漫派研究是浪漫派文献的常见成分。

奥斯瓦尔德分类中的古典派科学家寻求合乎逻辑推理的论据去发展他的研究。在一步步基础上获得的证据和表现是不可或缺的。古典派科学家对模糊不清觉得不舒服。冲突和悖论是失望,甚至是不安的源泉。严密界定的过程、秩序和受到系统控制的发展是古典派方法论的根本成分。

作为大多数古典派科学家研究的概念基础之经典结构受到严密刻板的界定。这使他们的研究活动系统化、组织良好并高度集中,但同时也受到框架的僵硬结构的限制。很清楚,奥斯瓦尔德的分类具有提示性,但也并非那么绝对。

大多数物理学家既非纯粹的浪漫派,也非完全的古典式。然而,大多数科学家不是浪漫成分,就是古典成分占主导地位,因此,有可能做有意义的——如果不是绝对的区别。事实上,浪漫和古典风格大多数时候共存于某一个科学家身上。因此,要找出终生属于

一个单一门类的科学家例子是有几分困难的.即使这样,我们仍经常可注意到某种倾向.普朗克(Max V. Planck, 1858—1947, 德国物理学家, 1918 年诺贝尔物理学奖得主.译注)比爱因斯坦更具古典风格.海森堡比泡利更具浪漫风格.而吉卜斯则几乎是一位完全全的古典派科学家.

有些物理学家两种风格混为一体,不可能套用奥斯瓦尔德的分类.麦克斯韦即为一例.在有的物理学家身上,两种共存倾向的关系非常紧张,破坏性很大,达到阻碍进一步进展的地步,结果他们变得没有效率.早年和晚年的薛定谔很可算作一例.

奥斯瓦尔德的分类提示了一个有趣的问题,但这里暂不讨论,在别的地方再作研究.在物理学的发展过程中,有相当数量的高效研究是由一对一对物理学家合作完成的,他们作出了最有意义的研究.这类合作的每一方无疑都有他自己的风格和工作日程.对于双方风格上的差异如何增进或缩减合作效率作一番研究将会是有意义的.此问题亦会发生于其他分类方案中,但在奥斯瓦尔德分类中相当显著.

## 2. 兰道图

打破旧传统的杰出俄罗斯物理学家兰道构造了一个很不相同的分类方法,分类依据主要不是物理学家的科学方向,而是他们的研究能力.兰道是否非常认真,这不完全清楚.也许只是一个玩笑,或者是想让他同事生气(玩笑时常会包含真言).它非常清楚地显示了一位杰出、富于创造性,又有几分磨损力的专家如何看待和判断他的科学家同事.

兰道分类用图表示.这些图由两条平行水平线构成.下面的线条用来度量研究人员的原动力、毅力和智力保证.这一线段的长短还表明研究人员是否愿意和有耐心去处理那些往往是单调乏味的技术细节,而这些细节对于取得有意义的研究成果来说则是必不可少的.上面的水平线度量直觉能力、卓越才华、创造性、独立性和

勇气,但约定线条越短,说明该物理学家在这些方面越突出.因此,一位超凡、创新、直觉力强的天才用一条非常短——实际上用一个点来表示.

兰道将上线条所表示的各种特性的集合总结为该科学家“有多尖锐”.这就是他用一点代表光芒四射的才华,超凡创造力和直觉能力的理由.将上下两条线的端点连接起来即完成整个图形(有时候这些端点合并成一个点).

才华横溢、独具创造性的科学家的图形有尖锐的顶点.这就是兰道用这种方式构成图形的理由.“锐利”的科学家用“尖锐”的图形表示.例如,图1的上线条相当长,说明该科学家不太聪明,或者创造性不太强;下线条很短,说明他不很专心,精力也不很充沛.用此图表示的科学家不可能很有成果,最多是一位边缘物理学家.

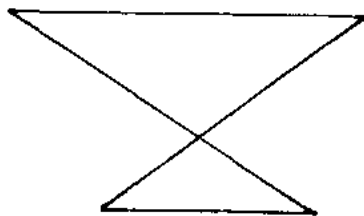


图 1

兰道用这些图形区分出四大类科学家.

第一类(图2)由极富创造性、独立性,极有才华的科学家组成.此外他们的精力非常充沛,具有坚强毅力,能将研究进行到可以看到成功的终结.明显的例子有爱因斯坦、费密、狄拉克和海森堡.这一类代表着最富有成果,最具影响力的物理学家.

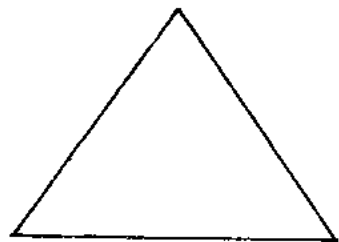


图 2

第二类(图3)按照规则包括精力相当充沛,工作勤奋并认真对付细节的物理学家.他们不太有创造性,在智力上没有冒险精神,他们的科学处于低层面.他们对物理学的献身精神大于他们的能力.兰道有几分恶意地宣称,所有俄罗斯物理学家都属于这一类.

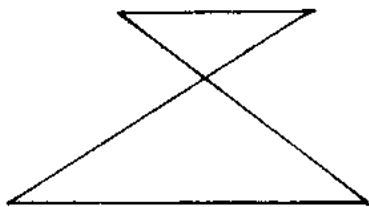


图3

第三类(图4)在某种意义上说是很奇特的一类.它包括极聪明、极有才气的物理学家,他们能非常迅速地理解复杂问题中的根本点.但他们的原动力和耐心有限,不喜欢研究微小的细节,几乎没有耐力,因此,他们的研究建议许多都是半途而



图4

废.据传兰道之所以将这一门类引入他的方案,是为了适合他自己套用.奥本海默也可用类似图形代表,他是另一位具有几乎是瞬即理解能力的耀眼的物理学家,但是他的创造力只得到他的原动力、技巧和持久力的微弱支持.

第四类(图5)包括最大多数的物理学家.他们没有创造性,不敏锐,实际上很迟钝(如长长的上线条所示),也不那么诚心地献身于物理学.他们对科学的兴趣极微.有时候他们也可能有所作为,但如果此图表示的特性一直维持到最近,那么他们将永远不会再有任何作为.

这些图当然精确地表达了兰道看待物理学界的态度.创造性,

才华和技术的实施这两者之间的对分具有最广的意义。许多物理学家的意念远远超越实施这些意念所需的能力。这一区分是兰道方案的组成部分,但其余内容则是关于物理学界的非常独特的观点。

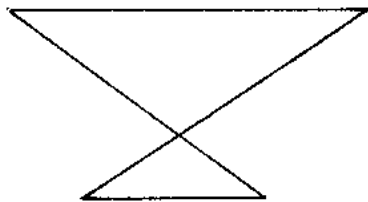


图 5

### 3. 戴逊门类

在许多讲演和书籍中,戴逊介绍了一种最有意思的物理学家分类方案。他不像兰道那样强调物理学家的智力,也不像奥斯瓦尔德那样强调美学和艺术成分。戴逊的分类集中于物理学家实际上做些什么,他们认为应该做什么,以及他们喜欢做什么。他对物理学家只分做两类,一类叫统一派,一类叫多样派。这样一句话的描述就应该很清楚了,个人好恶界定了戴逊分类中两个门类物理学家之间的区别。收录入这一节的观察是对戴逊理念的评论和轻微伸延(其实不该归咎到戴逊身上)。

前面已经提到过,物理学总存在两种相对比的风格,一种主要关心总的、大的结构,另一种则集中在具体现象、特别的效应。戴逊分类即为这两种风格的区别。对结构感兴趣的那类物理学家是戴逊统一派的先驱。多样派则采取了许多只研究具体问题的人的态度。

两类的差异如此之大,不仅研究目的有很大区别,采用的方法完全不相同,而且对许多研究成果的重要性和适用性也有尖锐的对立意见。对于某项成果,统一派认为是深刻的概念进展,多样派却看做是相当乏味、微不足道的玩弄形式符号的游戏。多样派为之惊奇的新效应,统一派却常常视为只不过是法则相当琐碎的表现。

多样派和统一派的区别弥漫到物理学的各方面,为了对此有充分的认识,对它们作逐项对比是很有裨益的.实际上对物理学所有重要的价值判断,两派都有不同意见.对于什么叫重要,什么叫带根本性,什么叫成功,他们都有分歧(见下表).

统 一 派	多 样 派
1. 为获得总的原理而研究	1. 为获得细节特征而研究
2. 统一的概念;一般方法	2. 可能不存在;过细的具体方法
3. 演绎逻辑	3. 现象之间的关系
4. 抽象理念;数学的中心地位	4. 具体物理理念;数学是技术工具
5. 实验者被普遍性的诱惑所驱使. 他们寻求结构和逻辑的简单性	5. 实验者被发现新现象的好奇心所驱使. 他们喜欢使世界变得更复杂更有趣的多样性
6. 物理学、科学都是有限的;物理学有终点	6. 有趣的现象当然是无穷的
7. 存在基本原理和方程式,他们应该能够使所有现象都可以用数学、逻辑和计算得到量和质的解释	7. 是否存在这样的原理和方程式值得怀疑. 但这无关紧要. 反正这类方程式和原理是无法解释也无法预言现象的. (记住混沌现象)这类解释是科学的主要任务

此对照表显示,这两个门类的差异实际上有多大. 但是应该强调指出,许多物理学家在他们的研究生涯中,在多样派和统一派这两个极端间反反复复转换位置. 但仍相当容易确定个别物理学家的合适门类.

我们已经注意到,许多统一派物理学家曾经常常(尤其在他们年轻的时候)与非常具体的问题打交道. 然而,很少(虽然也有)多

样派曾经从事过大统一的努力。

相当明显,爱因斯坦、牛顿、Eddington 和狄拉克等都是统一派人物,虽然他们全都对具体问题作出过光辉贡献。另一方面,费密、卢瑟福(Ernest Rutherford, 1871—1937, 出生于新西兰的英国物理学家,因对元素衰变的研究而获 1908 年诺贝尔化学奖; 1911 年通过  $\alpha$  粒子散射实验提出了正确的原子有核模型。译注)、伦琴(W. C. Röntgen, 1845—1923, 德国物理学家, 1901 年第一届诺贝尔物理学奖得主。译注)、汤姆逊(J. J. Thomson, 1856—1940, 英国物理学家, 1906 年诺贝尔物理学奖得主。译注)和索末菲显然属于多样派。

两个思想流派最著名的主角分别强有力地表达了两派富有特征的区别。爱因斯坦是这样说的:

“物理学的创造性原理存在于数学之中。因此,在某种意义上,正如古时候人们所梦想的那样,纯思想可以把握现实,我以为这是真理……理论物理的合理基础一定不能通过实验去获取,而必须由人类心灵自由创造。”

应将这段话与卢瑟福下面的这段话两相对照:

“理论物理学家与他们的符号做游戏,但是我们却在找出事实的真正本质。他们满足于用某种假设解释每种事物,而根本不劳心一件事物的真正原因。我必须说,英国人的观点更具物理性,更让人喜爱……在我看来,电子就和手中的汤匙一样真实。”

两者之间的差别大得不能再大了。有趣的是,卢瑟福对于“英国物理学”风格的评价和我们早先引用的玻耳兹曼的评价不一样。



当然,在玻耳兹曼看来,“英国物理学”便是麦克斯韦,很难说得上他是一位具有中等才华的物理学家。

很明显,知识界敬佩和尊重戴逊分类中的统一派,而科学界则奖赏多样派。草草看一眼诺贝尔奖金和菲尔兹奖章得主名单便知道了,他们中的大多数人都是由于作出了极其具体的贡献而获得奖励的。爱因斯坦得奖是由于他的光电效应,而不是由于他的广义相对论;洛伦兹是由于他的塞曼(P. Zeeman, 1865--1943, 荷兰物理学家, 1902 年诺贝尔物理奖得主, 译注)效应,而不是他的电子理论;海森堡是由于正氦和仲氦问题的研究,其次是由于矩阵力学,而不是由于他的测不准关系。Pfefferman 获得菲尔兹奖章,是因为他的傅利叶级数的定理,Paul Cohen 是因为他获得了连续统假设的解,Milton 则是因为在拓扑学作出了杰出的贡献。

戴逊分类不可能,也并不假装要穷其所能,列出所有的科学风格,但是他的确提出了中肯的不同风格的特征。在解释为什么新的、具有创造性的、打破传统的研究会受到各种各样奇异,有时甚至互相冲突的接纳这一问题的时候,戴逊对分特别有用。

#### 4. Kramers 分类

1943 年 3 月 3 日,时值第二次世界大战中期,Kramers 在一次精彩的讲演中介绍了对物理学家作分类的一个不一般的方案。他从未讨论过这一论题,此后也再没有重提过。他始终对物理学家的风格感兴趣,首次讲课即论述这个题目。他提到了奥斯瓦尔德的方案,但明显感到需要有一个十分不同的分类。他给讲演定了一个题目,叫做“物理学的心理方面”。讲演匠心独具,他必定花费了大量时间作准备。但是他显然对此论题有点惴惴不安,在进入正题之前,他用嘲讽的口气说:“要是有人觉得不愉快,只管说我是嚼舌头罢了。”

所有必要的分类方案都包括个人成分,并反映个人经历。有意思的是,Kramers 分类所依据的标准与别人所采用的有令人惊奇

的差别。为此，他以各种鲜明的，几乎不兼容的方法让人从额外的角度窥视物理学。

Kramers 分类方案包括四种对偶分类。第一对包括形式主义者 and 现实主义者。现实主义者与实验和现象更合拍。形式主义者更倾向于数学结构和逻辑推理。在 Kramers 看来，这种区分是务实和可行的，尤其不是哲学的或务虚的。Kramers 坚持强调，任何优秀物理学家都必须既是现实主义者，又是形式主义者。只择其一，排除其二，必定导致琐碎或不相关的研究。直到现在，这仍然是一个著名的传统特征。

第二对便已经是不一般了。他介绍了绝对思想家和语言思想家的区别。绝对思想家理念的展开、科学计划的执行、分析和计算工作似乎在很大程度上不依赖于任何语言表达。经过紧张的和深刻的集中以后，他们的论文一气呵成，几乎无需修改，文笔洗练，一针见血。狄拉克、费密和杨振宁是明显的例子。

语言思想家——介绍这一类无疑是为了套用于玻耳，把语言表达过程作为界定和修饰理念和思想的手段。他们的论文体裁浮夸，迂回曲折。文章写好后又反反复复修改，重写，重新细查，重新组织，没完没了。玻耳当然是最明显的例子，但 Kramers 相当认真地看待这类研究风格。

从玻耳兹曼、洛伦兹和 Eddington 等人的研究也可以看到运用语言方法去澄清或显示物理理念的成分。语言思想家的论文时常显示出漫长的智力奋斗的痕迹。这种情形很少见于绝对思想家的文章。音乐界亦如此。“莫扎特的乐曲是绝对的，它来自天国，没有明显的奋斗迹象，而这类奋斗迹象在贝多芬的乐曲中往往十分明显。”

诚然，Kramers 介绍的最突出的对分是独立者和附属者。Kramers 强调说，这类附属型物理学家一般不包括有义务完成别人分配的任务的人，不包括对老师和同事提出的建议作深思熟虑

的人。恰恰相反,在 Kramers 看来,附属型物理学家可以和独立型物理学家一样具有创造性和革新性,而且还可能有过之而无不及。他之所以成为附属型,是由于他无力完全信服自己工作的正确性和重要性。他们对自己研究的极端重要性缺乏绝对信心。他们对自己的工作是否有任何重要性有着严重怀疑,几乎总生活在恐惧之中,担心有人会发现严重或荒谬的错误,使他们的成果变得毫无价值,毁于一旦。他们总担心自己的研究没有意义和微不足道。

Kramers 显然相信,此类附属关系相当普遍,值得另分一类。但是“附属型物理学家”的这种现象究竟普遍到什么程度是难以知晓的,因为它依存于一般不为人们所知的频繁的人际关系。这个问题应该另行研究。

Kramers 分类中的最后一对和前面那对一样,带有很重的个人印记。他区分出严肃型物理学家和游乐型物理学家。游乐型物理学家把物理学视为和运动、游戏一样好玩、有趣、迷人,带娱乐性,但并非真的很重要。严肃型物理学家往往很冷静,勤于思考。他们把研究活动看做严肃的责任。

玻耳和海森堡肯定是严肃型物理学家。费因曼、Kramers 和格拉肖是游乐型物理学家。当 Gamov 写作论 Tompkins 先生的系列科普丛书的时候,他描述一个各种性质的常数有不同值(例如,  $c=10$  米/秒,  $h=1$  尔格·秒)的世界,玻耳对此并不觉得有趣。他感到(很正确地),如果常数的数值改变了,这个世界会是另外一个样子。他认为这些值是神圣不可侵犯的,不应该因为变幻莫测的理由而被改变。对于大多数物理学家来说,这很可能会被认为是非常强烈的反应,但玻耳并不这样看。“没有人有权拿基本常数开玩笑”,大概没有人会比这更严肃了。

1924、1925 年,海森堡、玻耳、Kramers 对辐射理论进行极其热烈的讨论, Kramers 常常发出一些不太正经的言论,偶而还开玩笑,甚至变换话题。这让海森堡极其讨厌、不悦和不安,抱怨

Kramers 在物理学正处于麻烦的时候开玩笑,没有丁点儿意思。一位物理学家居然不是非常严肃地对待物理学,海森堡不能忍受这样的想法。

Kramers 分类尽管有其明显的个人起因,它的确引入了新颖的分类成分,将物理学的新风格特征引导到更深入的分析。

### 5. 其他评论

关于科学的态度并不总是用非常齐全的分类方案表达的。对于可能是时髦的新发展或正在进行的研究之类的允诺,其反应通常只用几个短语来描述,它们表达个人的观点,因而是他的科学期望或科学计划的一部分。这类判断往往十分小心谨慎,意思不完整,有时模棱两可,但绝大多数物理学家对新奇和变化的反响是以高度个人的方式作出来的。

有意思的是,这类反响常常用政治或社会术语表达。1945 年量子电动力学的形成从重整技术来说无疑是伟大的进展,它导致巨大的进步和无数的行动。但是对于泡利、玻耳、Kramers 和狄拉克等量子力学创始人来说,量子电动力学显然太保守了,它并没有引进新的革命思想。

一个这样保守的程序仅仅从它的技术光辉来说是如此的成功,但是对于 1925 年和 1926 年参与量子革命的所有物理学家来说,它实际上不啻是个巨大的失望。在这一例子中,年轻一代是保守的。老一代几乎都讨厌年轻物理学家的技术复杂性,他们感到新一代使第二次概念革命更不可能和更不必要了。

科学新发展的政治或社会特征相当普遍。它们一般不是系统分类的一部分,但的确告诉我们,所谈论的研究如何与更广泛的科学方案相适应。政治语言往往更宜表达这样的相关关系。在物理学家当中清楚地存在着保守派和无政府主义者。保守派不同程度地固守一套思想,他们常常用最迂回曲折的论点维持他们的立场,如果证明不能这样做,便转入其他领域或者彻底离开物理学。

无政府主义者不满于约束他的现存框架,对各种限制因素感到深恶痛绝,成功的理论结构阻碍了他的选择和猜想,遇到一个新成果的时候第一个倾向是怀疑整个框架,它们憧憬着整体结构崩溃掉,因此,总是强调困难和矛盾,经常强调到不合理的地步。

此外还经常存在其他不完整、意思未充分表达的风格成分,它们尽管模糊不清,对研究的方式却有着巨大影响。比如,存在一种“对简单的迷信”。这些物理学家坚信——几乎达到迷信的程度,自然基本上是简单的。他们会拒绝先验的、非直觉的、微妙的或是数学的论点。他们的基本信念是,“自然不可能那样复杂”。非常明显,由于这些物理学家强烈厌恶抽象和复杂,他们排除了一大类研究的可能性。

个人口味和判断在物理学随处可见。有的理论家只相信物理学家 A 获得的成果。有的实验家只信赖在实验室 B 获得的成果。当然,个人相信什么,这是他们的特权,是他们自己的事情。但是,正如我们的讨论显示,个人信仰,个人习性往往会被带入他们的创造活动之中。这一切仅仅说明,物理学是高强度的人类活动,它体现了智慧和愚昧,认知和失望。

所有的研究人员都会同意,研究的终极合理性是它将带给这个世界的眼界和知识。单个研究人员的终极欢乐无疑是认识一些过去未被认识的东西,发现一些过去未被发现的东西,并向那些原来不懂得的人解释这些杰出的新成果。

#### 四 风格的差异:某些实际的效果

到目前为止,我们的讨论只初步列举了各种不同的风格,并对物理学家们在选择不同领域时所持态度进行分类。虽然这样做并非没有意思,但却相当乏味和令人打不起精神,对论述这些差异并没有多大激励作用。在这最后一节中我们要开始展示,这些不同的

风格不仅仅是给各种态度起一个名字而已，它们对物理学家们研究课题的总的特点及技术细节具有实质的、看得见摸得着的影响。

为此，最有说服力的办法是把一对对物理学家实际完成的研究进行对比。这种对比必须不仅仅涉及研究的哲学、计划和目标，而且应该考虑为实现这些物理观念所使用方法的细节。要使这种比较有意义，就不能只限于一般的和定性的方面，必须同时分析许多技术细节。诚然，这是一件繁重的工作，本文不可能完成（我们这篇文章已经写得太长，应该打住了）。

下面各项评论只是想勾画出应该进行的研究计划的大致轮廓。前面说过的定性和描述性的方法可以作为更技术性和更深入的研究的一般基础。

作为这种研究的一个起步，下一节将把海森堡和费密作为一对，乌伦贝克和杨振宁作为另一对来比较他们的科学风格。虽然，这些比较主要涉及物理学，很少涉及目标和哲学，即使这样，它们仍然只是初步和定性的。应该用被比较对象所发表论文中采用的物理论点讨论进行补充。只有这样做过以后，推断个性如何影响到并反映到具体的研究工作中，才有坚实的基础。本节的这种比较应视为电影里的预告片。但愿所预告的影片在某个时候将得以摄制完成。

### 1. 费密和海森堡

要选择本世纪上半叶一对较有影响的物理学家来进行比较，费密和海森堡是最合适不过了。他们是同龄人（都生于1901年）。费密在1918年进入比萨高等师范学校就读。海森堡于1920年考入慕尼黑大学。他们都在1921年呈交第一篇论文。费密1922年取得博士学位，而海森堡则在1923年。两人都对物理学特别是量子理论有过里程碑式的贡献，都是诺贝尔奖得主。

虽然有这许多相似之处，但是他们研究物理学的方法和所建立的物理学都是明显不同的。他们的物理学背景也非常不同。海森

堡循着一条高贵的路径在物理学中达到辉煌。他在索末菲的著名学府中接受教育和训练，于1922年见到了玻耳，并同玻恩(Max Born, 1882—1970, 英籍德国物理学家，因提出量子力学波函数的统计解释而荣膺1954年诺贝尔物理学奖。译注)在哥丁根大学一道工作。取得博士学位以后，他到哥本哈根，进入了玻耳的内层圈子。他精通原子光谱、玻耳的量子理论和玻恩的“原子力学”。

费密则完全靠自学成材。1920年，他研读并理解了索末菲关于“原子结构和光谱线”的书。那时意大利除费密外没有一个人了解量子理论，遑论这方面的行家了。15岁时，费密就立定主意为理论物理学贡献毕生精力。

由于与一位数学家(Lindeman)有不愉快的冲突，并且确信物理学比数学更有可能取得戏剧性的进展，海森堡选择了物理学而不是数学。

费密无疑是一位多样派的学者，而海森堡则是统一派。费密从来不用哲学。相反，随着时间的推移，海森堡越来越为他的物理学研究方向寻找哲学上的合理性。费密对自己迅速处理任何物理学问题(无论这些问题是如何特别、实用或不重要)的杰出能力感到自满自足。海森堡看来从未对这类问题特别感兴趣。他宁可把注意力集中到更为基本、深刻的问题上。

早在1923年费密和海森堡两人都同样充分地意识到“老玻耳的量子理论”所面临的严重困难。费密在哥丁根大学玻恩的研究所度过了1923年冬季，在那里，量子理论问题被深入地讨论着。费密在哥丁根没有做什么事情，那次访问完全是浪费时间。

很明显，玻恩、Jordan和海森堡并不认识费密的才华，也没有试图要认识。费密未被邀请参加正在进行的研究工作。他完全被忽略了。他完全孤立地自己做研究。他花了好长时间才同哥丁根和哥本哈根物理学派达成和解，他的怨恨从未完全消除。

至于这一冲突是否导致费密强烈地憎厌矩阵力学，则不得而

知。费密认为,海森堡的方法并不太抽象,也不太数学化(费密在这些方面可能有少许麻烦,但没有困难),但却太形而上学,太伪哲学了。对他来说,矩阵力学与自然现象的联系太缺乏证据、太做作。

费密对薛定谔的思想抱有极大的热情,反过来海森堡对薛定谔却颇不以为然。于是,费密和海森堡在对待量子力学的态度上显示出非常不同的风格。费密很快就掌握了薛定谔的技巧。他立即就散射问题写出了一篇重要的论文。这篇论文受到玻耳的批评,但是经过讨论,大家承认费密的论述和结果是正确的。费密终生偏爱量子力学的薛定谔表述,这意味着费密和海森堡在面对量子问题时总是从不同的观点出发,用不同的方式去寻求解决问题的办法。

费密和海森堡对待量子电动力学的态度也完全不同。很难相信,费密 1932 年在《现代物理评论》杂志上发表的那篇文章同海森堡与泡利的早期文章处理的是同一个问题。它们的风格、语言、概念和处理都完全不同。海森堡和泡利的论文强调场的拉格朗日和哈密顿表述,用到了相对论不变性,引进并分析了对易法则。费密的论文则使用了比较简单的方法,几乎没有用到场论的形式体系,但却对许多应用进行了如此详尽的讨论,许多物理学家这才第一次弄明白,对解释一大批物理现象来说,量子电动力学的论述确实是根本的。

什么问题重要,在给定的科学舞台上那一个问题能更好地得到解决,也属于个人判断的范畴。这常常是科学风格的一种表现形式。当然,费密也像泡利、狄拉克和海森堡那样充分认识到量子电动力学的发散问题。费密曾几次试图解决这个问题,但没有成功。然而,当他认为必要的时候,会使用量子电动力学。只要用有限可行性方法求得的结果看来是可靠的,他就会非常乐意使用这种方法;而结果是否可靠这一点则可以检验。他不会去寻求,也不会去考虑那种雄伟壮观和完备的方案。反之,不少物理学家过于顾虑发散问题,被它困扰以致怀疑量子电动力学求得的所有结果。



虽然费密总是使用最少的必要技术手段去达到恰当地描述新情况的目的,但是他对革命性的变革和非常规的数学从来也不会羞答答地回避.例如,费密最先在他的 $\beta$ 衰变理论中采用了二次量子化形式体系的全展开,在其理论中,某给定种类的粒子数并不守恒,这种可能性很容易用二次量子化语言来表述.在同一篇论文中,费密把泡利关于 $\beta$ 衰变过程会发射一个附加的中性粒子的想法从一种饶有兴味的揣测提升为一个可用实验加以检测的理论的基本组成部分.

海森堡则在其核物理基础论文中把中微子引进来作为原子核的基本成分.同时,他引入了同位旋的标记,最初只当做簿记的一种手段.后来他发现通过同位旋算符可以构造出质子和中子间的相互作用.用这种形式体系可以处理核问题,例如通过普通的量子力学表述就能求得结合能.海森堡原始论文的处理办法十分类似于分子问题的处理办法.二者的这种相似十分引人注目,因为,在早先的论文中海森堡考虑过核内的质子、中子和电子.

有趣的是,费密的 $\beta$ 衰变理论是一种名副其实的场论,中微子是在衰变过程中被产生出来的.为了在形式上把这一点表述出来,费密也需要用到把质子转变成中子的算符.但在海森堡的原子核中,中微子却是一种真正的成分,是相互作用使得中子变成质子,反之亦然.但是,他的处理方法却不是场论的,他用了非相对性量子力学来进行计算.

海森堡除了他那篇原始论文之外,还就这个题目写过许多其他论文.他的研究工作经历了许多更新和重大修改.海森堡从一开始就认识到了费密场论方法的重要性.他试图利用这些观念构建各种相互作用的一种统一理论.相反,费密只有一次返回到 $\beta$ 衰变理论.与利用他的理论作为基础去构造各种相互作用的统一理论比较起来,费密对解释与 $\beta$ 衰变有关的各种现象更感兴趣.除了对相互作用的形状试图作过一次稍为匆忙的修改之外(费密原先为

了同电磁相互作用作直接类比而选择了矢量相互作用),直到1957年因宇称不守恒而要求作某些修正为止,他的理论一直都保持不变.在这个理论被检验的过程中,费密对他最初的选择完全有信心.

费密和海森堡之间最大的不同在于他们处理高能现象的方式,或者说是他们对粒子物理所持的看法.二次世界大战后,费密花了大量时间研究低能共振.虽然对理论和诠释方面也作出了巨大的贡献,但他主要做实验上的研究.共振的大部分唯象理论可以追溯到费密的工作.看来,粒子物理要能够取得进展,唯一的办法就是从经过仔细分析的实验事实获得新的信息.按照费密的意见,现在不是坐等雄伟壮观或大统一的时候,首先是要知道所研究对象的性质.

海森堡的观点则完全相反.他使用任何已有的实验信息,作为建立基本结构的输入项,以便寻求隐蔽得更深从而也是更普适的那些原理.他把形式框架从场论推广到 $S$ 矩阵理论.海森堡认为,实验粒子物理的作用是要帮助创建一种基本理论.而对费密来说,实验粒子物理的角色是要弄清研究对象,这样才可能着手建立一种最终的理论.费密从未写过一篇与 $S$ 矩阵有关的论文.就本文作者所知,海森堡则从未分析过任何一个散射实验中的相移问题,也从未计算过一个费因曼图.海森堡认为费因曼图不重要;费密则不需要它.

海森堡比大多数物理学家都清楚,计算机的出现将会给物理学带来大的冲击.他同Pasta和Ulam合写的一篇论文预告了一个新世纪的来临,其中,计算机产生出的信息就同实验和理论的信息一样重要.

海森堡在其生命的最后15到20年,完全沉浸在他的非线性旋子理论中.他的风格变得更为抽象和哲学化.他很少(甚至根本不)注意计算机所带来的新的出乎意外的可能性.就像他早先强调

自发对称破缺的重要性时那样,他保持了自己那非凡的创造力和杰出的直观洞察力。

随着时间的推移,费密和海森堡的风格相差得越来越远。费密变得更为多样化,对抽象的推测越来越没有耐心。海森堡则变成更明显的统一派,很少关心新现象,把全部精力集中于创建最终统一理论的努力上去。

如果忽略了他们两人各自的文化氛围,那么,即使对他们进行表面和粗浅的比较亦将会是不完整的。海森堡沉浸在德意志文化之中。他是一位出色的钢琴家。他对文学懂得很多。对这些事儿,费密很少关心。他既不懂音乐,对之也不感兴趣。乌仑贝克还得给他介绍米盖朗琪罗的雕塑<sup>①</sup>。海森堡认为自己是一个德意志知识分子,碰巧成为一个物理学家而已。费密则一直要成为物理学家。此外,他坚持要做一个普通的人。他甚至买了一架电视机。

他们俩对各自国家的文化和政府的义务感,是他们之间的最大分歧,或许也是冲突的一个方面。海森堡沉浸在德意志文化之中,这是他个性的一个有机组成部分。当政府变成侵略性、压迫性而完全不合法时,海森堡倾向于让步和承认。他宁可妥协而不愿决裂。在希特勒运动初期,情况更是这样。对这个运动如果不是极力赞扬的话,至少,他认为它有积极因素。

费密对意大利文化并没有深深的依附感。他从来就对墨索里尼和法西斯主义没有好感。他对政府的态度是实用主义而不是意识形态的,肯定没有沉浸在民族骄傲的感情之中。他在美国研制原子弹,因为在那时,这是重要和必须的。他明确反对研制氢弹,因为看来并不必要,也没有理由。正如他和 Rabi 在一封感人的信件中所说的:“这是不必要的消极力量的一种肆无忌惮的扩张。”这就是他给 AEC(美国原子能委员会)的信中所写的。他不为研制氢弹而

<sup>①</sup> 米盖朗琪罗是意大利文艺复兴时期伟大的雕塑家。费密是移民美国的意大利人,本应对米盖朗琪罗的雕塑十分了解。译注。

工作,这当中既没有什么哲学,也没有政治,更不是宣传。

对海森堡来说,事情从来也不是这么简单,这么直截了当。为了在对德国的忠诚、对物理学的献身和作为人类一员的职责之间取得平衡,他苦苦挣扎了许多年。他从来没有得到过满意的解决办法,不过,他保持了对德意志文化的依附。

第二次世界大战的结束和结局使海森堡和费密之间的分歧尖锐化了。无论如何,美国的核计划是成功的,德国的核计划失败了。作为这两个核计划的公认领导人,他们成了直接的竞争者,结果费密获胜。

还有更深一层的冲突。海森堡(还有泡利和许多欧洲物理学家)不能相信,在物理学方面美国不但同欧洲并驾齐驱,甚至可能超过后者。在欧洲,美国的物理学家常常被斥之为没有哲学的和实用主义的。欧洲人认为,美国的物理学忽略了一切真正深邃的问题,只把注意力集中到实用的工程技术方面去。

一位知名但有时却出语伤人的物理学家抱怨道,美国的所有物理学家只能计算计算填字游戏。另一位物理学家对费因曼图感到不悦,说:“这只能把量子场论带给并不真正理解它的那些芸芸众生。”当有人问及美国在二次世界大战期间的科学成就时,泡利说,唯一的重要进展是昂萨格对二维易兴模型配分函数的准确计算。他还补充道:“要记住,昂萨格是挪威人。”在那个圈子里,费密被贬为“聪明的量子工程师”。这绝对不是恭维话。

欧洲和美国物理学家之间还存在许许多多大大小小的紧张关系,体现在两个占领导地位的主要人物费密和海森堡身上。这些潜在冲突被转嫁到已经存在的那些分歧上面去,从根深蒂固的政治意见相左到年代久远的感情伤害。对一个文化中心可能会衰落的恐惧,和对另一个中心可能会崛起的骄傲,肯定会转化为科学上的竞争。

1958年,伴随着海森堡和泡利试图建立一种大统一理论而出

现的狂热,很可能至少部分地是由企图重建欧洲霸权的愿望所引起。很明显,这是一个包含着许多有趣可能性的课题,值得进行深入研究。也许,本文这些议论可以作为进一步严肃研究的基础。

## 2. 乌仑贝克(G. Uhlenbeck) 和杨振宁

把乌仑贝克和杨振宁的科学风格进行比较和对比,也许不太合适。他们不是同代人,在不同的时候进入物理学,当时物理学的状况也相应地有所不同。

乌仑贝克早期研究的是原子物理。他当时试图通过原子模型去理解光谱的实验信息。他和 Goudsmit 合写关于自旋的那篇意义重大的论文在 1925 年发表时,杨振宁才 13 岁。事实上,更早时乌仑贝克曾发表过一篇关于推广洛仑兹定理的论文。在许多方面,这篇论文比那篇关于自旋的论文更能显示出他的风格特点。

那时,物理学的所有中心问题全都集中在如何描述原子这件事情上。这种发展导致了量子力学的诞生。乌仑贝克参与了这一发展过程,但在后来,逐渐把自己的研究兴趣转移到他的第一爱好,即统计力学上面来。

杨振宁 1946 年作为一个成熟并很有见识的非凡研究生就读于芝加哥大学时,乌仑贝克已经是统计力学领域中的一位处于领导地位的人物。那时,物理学的中心议题已转到了核物理特别是粒子物理(大家都把它称之为“新的前沿”)方面。要对他们各自的风格进行任何严肃的比较,都必须考虑到这种辈份上和科学发展状况上的差别。按照戴逊分类,杨振宁和乌仑贝克两人都是多样派和统一派的混合型物理学家,但是两人的混合程度非常不一样。虽然杨振宁和乌仑贝克两人都研究具体课题,但是,杨振宁常常关注他所研究问题的广泛含义,所以他具有统一派的特点。乌仑贝克可以称之为一个“局部统一派”学者。对物理学的特定课题,诸如布朗运动或玻耳兹曼方程的解等等,他花了很大力气对其中的基本观念和假设进行组织并使之系统化。但是,他从未试图对这些问题做任

何推广。

杨振宁用  $\frac{1}{3}(D+F+E)$  这个公式来描述自己的风格；D、F、E 是他心目中的三个偶像，即狄拉克(Dirac)、费密(Fermi)和爱因斯坦(Einstein)，上述公式表示这三个人风格的组合。不过，这实际上会引起些少的误解。这三个人的风格并不是可以兼容的(也就是说，D、F 和 E 相互之间不能对易)。其实，杨振宁只是从这三个人撷取了风格要素并对之做了修改，从而演变出他自己的风格。

在做某些课题的研究时，杨振宁以一种直接、平淡的方式去处理问题，分析和解释实验结果。这时，他常常以一种革新和出其不意的态度尽最大的努力在现有的理论中发掘，很少显示出要进行根本性变革的愿望，使人想到费密的风格。其他研究则具有更正规的特点，物理观念被嵌置于精确界定的数学结构之中，用一种严密推导的方式加以分析，常常导致始料不及的结果，宛若在狄拉克的文章中见到的那样。

杨振宁论点中貌似简单的曲折有时候能够完全改变已经得到的结论，这使人想到爱因斯坦式的物理，其中一个例子就是杨振宁把魏耳的标度(规范)不变修改为相位不变。所有这些要素全都组合在一起，形成了非常独立、富有洞察力的独创性和逻辑上无可挑剔的这样一种风格。

杨振宁同乌仑贝克的对比在所有方面都是引人注目的。乌仑贝克有个著名的说法，那就是：“在物理学领域内，你必须追随一位大师。”他相信，他自己和绝大多数物理学家所扮演的角色只不过是去理解、澄清、组织、解释和教授物理学。如果走运的话，一个人在某种极为罕有的机会中可能获得重大发现。但他深信，这种人仍然需要追随一位大师。物理学大困难了，只有极少数人才能做经得住考验、高质量和开创性的工作。肯定，乌仑贝克遵循了他自己的忠告。洛仑兹和 Ehrenfest 指引着他的科学生涯，给他确定了科

学研究的目标,包括教给他如何去判断一项科学成果究竟是否有价值。

晚年,乌仑贝克遵循的是费密和奥本海默所提出的研究方向。为了一切实际的目的,他接受了泡利对新结果的评价。按照 Kramers 的分类,乌仑贝克是一位从属性的物理学家,杨振宁则是极端有主见的物理学家。

不受别人左右和独创性是杨振宁研究风格中至关重要的因素,而乌仑贝克不仅具有比较大的依附性,而且,他根本不认为独创性有什么重要。他曾经指责费因曼式的量子电动力学“太过独特,令人讨厌”。Kramers 在其所著教科书的第二卷用了一种非常规的方式去处理辐射理论,乌仑贝克在一篇书评中对这本教科书也做过同样的指责。

乌仑贝克对模棱两可、没有结构的科学状况感到难受。他告诫他的某些合作者不要试图“太独创”,精确、明晰和流畅易懂比标新立异和虚构更为重要。我们可以毫无疑问地把乌仑贝克称之为统计力学大师,即使在这个领域,他也避免激进的创新。他自己的工作本身并不像 Mayer、Kirwood、昂萨格、Bogoliubov 和 Kramers 的那样能开启新的发展。但他的深刻诠释分析使这些人的先驱研究显得精确、洗练和中肯,反过来又强调了这些研究工作的根本重要性。

如果没有乌仑贝克批评性的检验和澄清性的系统化,这些新发展的可能性是否会这么快就被公众承认,那是无法肯定的。

这正是乌仑贝克希望在物理学中扮演的角色。他以上乘的演技演好了这个角色。杨振宁承认乌仑贝克的重要贡献,但自己却不喜欢这样做。事实上,按照本文所列举的几乎所有风格分类,杨振宁和乌仑贝克都完全不同。

杨振宁是统一派,虽然同时也是一个著名的多样派。乌仑贝克主要是一个多样派。杨振宁有强烈的独立感,而乌仑贝克常常要追

随一位大师。在杨振宁的研究工作中，新观念、深刻的洞察力和独创性是最主要的；而阐明、理解和对现存结构的关系在乌仑贝克来说则是根本的。杨振宁肯定是一位绝对思想家。他小心准确地使用着语言，他那些自己感到满意的论文都是以最少的语言去传递大量的信息。

乌仑贝克很像是一位语言学思想家。他咬文嚼字以便确实做到用最易懂的方式来叙述物理学。他喜欢给程序、定理、定律、方法和佯谬命名，既为了互相辨别，也为了强调它们在物理学传统中的作用。

政治上，他们两人都有保守的倾向。但是，当杨振宁看到，现存的构架无法保持时，他就愿意（或许，甚至于渴望）寻求一种非常激进的解决办法。他是一位不主动、但却无畏的革命者。

可是，对任何激烈的改变，乌仑贝克都极为消极被动。他对物理理论（不管是经典力学、电动力学，还是量子力学）之历久不衰的力量具有很大的信心。他常常断言，如果一个实验同已经完整地建立起来的理论发生矛盾，那么，这个实验很可能是错的，最好将它弃置。他不在乎对理论进行微小的修正，他愿意对理论进行调整。但对大的、结构上或者概念上的改变，他存有戒心。

当 Kusch 和 Foley 测量到电子的反常  $g$  因子时，乌仑贝克不相信他们的结果。当实验结果变得更为确定时，他倾向于把它归结为原子物理学的传统位形相互作用。过了好长时间，他才接受了反常  $g$  因子，并承认这是表明量子电动力学正确的一个证据。杨振宁是在大的有限刺激下会变成革命者的那种保守派。而要乌仑贝克发生激烈的改变，则需要无限长的时间，或者无限大的刺激。这些风格差异甚至见诸他们的推理过程，他们每个人都认为自己的风格带来了最光彩夺目的发现。

在最后导致提出自旋概念的观念上的苦斗中，乌仑贝克受到泡利的强烈影响。泡利用四个量子数来描述原子中的电子。对乌仑



贝克来说,一个量子数必须直接同一个自由度相关联.量子规则同经典力学的结合使得这种关联不可避免.乌仑贝克不能够,也不情愿考虑,两者之中有一个可能是不正确或不完整的.这就迫使乌仑贝克得出必须有另一个自由度的结论.他那不同凡响的洞察力使他看出,一个自己旋转(它的“日旋转”)着的电子加上其绕核轨道运动(它的“年旋转”),提供了这种自由度.这是整个物理学中最硕果累累的见解之一.

在 $\theta$ - $\tau$ 之谜中,杨振宁和李政道遇到了一个不同的问题.从多数人那时所持的观点来说, $\theta$ 和 $\tau$ 是同一客体.但是,按照量子场论和众所周知的守恒定律,这个客体不可能显示出所观察到的两种衰变模式.乌仑贝克和 Goudsmit 面对一个谜团(这个附加量子数的意义是什么),杨振宁与李政道面对的是一种矛盾.他们分析中最初的说法是比较温和的:这个被假设为普适的守恒定律,在弱作用中并没有被检验过.这好像是指出了物理学界的一个疏忽,应该予以修正.但是他们的推论却是响亮、清晰和不可避免的:如果原来被认为是普适的那个宇称守恒定律在弱作用中不再适用,矛盾便不复存在.杨振宁和李政道愿意把一个普适定律的破坏作为解决矛盾的一种办法.乌仑贝克和 Goudsmit 则不会对一个普适定律的破坏感到高兴.

作为物理学的一种怪念头,设想把上面的情况反转过来,会是很有趣的:如果让杨振宁遇到原子中的电子有4个量子数的问题而乌仑贝克必须解决 $\theta$ - $\tau$ 之谜(假定他们每人都有自己的“定见”,但只拥有当时所能得到的物理知识).

杨振宁很可能争辩说,量子数同个别自由度相联系在一起并不是一个普遍的规则.对具有许多自由度的系统来说,它是否正确还未被检验过,尤其对不可积系统更是如此.他很可能对建立经典守恒量及量子数之间更为一般的关系感兴趣.他很可能不会接受现存的那种把任意的量子规则和经典力学像在大理石上雕刻那样

结合在一起的形式体系。

至于乌仑贝克如何处理  $\theta$ - $\tau$  之谜也是纯猜测性的。但是，他不太可能对一个基本守恒定律的破坏感到高兴。很可能，他会认为  $\theta$  和  $\tau$  根本不是同一实体。他会认为很可能存在一种目前尚未发现的原因。他的这种推测和假定存在一种新的自由度没有太大区别。对于与已建立的理论原理相悖的实验，乌仑贝克往往持怀疑态度，因此，他可能不会对这些实验结果信以为真。当然，所有这些议论纯粹只是推测而已，但是，偶而考虑一下某种确定的智慧类型对他们从未碰到过的情况会作出什么反应也是饶有兴味的。

在如何看待和如何应用数学方面，杨振宁和乌仑贝克也不相同。杨振宁对数学的威力和它的美丽一直感叹不已。他在整个物理学生涯中不断提高了自己的数学品味。随着时间的推移，他的风格变得越来越抽象和炉火纯青了。

还是一个年轻学生时，杨振宁就对群论的巨大威力有深刻的印象。他一生都持续地对群论感兴趣，这种兴趣不断在扩大。这显然使他终生都对对称性感兴趣。他确实未曾想尽办法去掌握新的更当代的数学，诸如纤维丛、微分型或陈氏级等，但是，事实上他也不拒绝在研究工作当中应用这些新的数学。一旦对之感兴趣，他能以不可思议的速度学到他所需要的那些复杂的知识。他对经典数学、复变函数和矩阵方法都同样驾轻就熟。他喜欢数学。他处理数学问题有顶呱呱的熟练技巧。

乌仑贝克对待数学的态度则与此大不相同，他当然承认数学是一种重要的计算工具，给了他很大的力量。他也喜欢用数学去表述物理观念。但是，他对数学的优雅，或者对一种论述的美学上的美显得无动于衷。他喜欢群论，却从未使用过。他对对称性的论述感到兴趣，但对直接的计算更感到心安理得。杨振宁确信数学有广泛的用途，与此相反，乌仑贝克则确信，数学中只有非常有限的一部分能在物理学派上用场。他对古典分析、微分方程积分方程和特

殊函数了解得非常透彻。很可能,他的数学品味反映了他早年受到的 Ehrenfest 和洛仑兹的影响。Ehrenfest 和洛仑兹两人都被认为对物理中的数学起了很小、很有限的作用。事实上,在运用数学进行论述方面,乌仑贝克的兴趣已经远远超出了他的这两位导师。曾几何时,他对求解积分方程的 Wiener-Hopf 方法着了迷。并且,他很早就认识到,图论是统计物理的一个重要工具。

大多数情况下,他回复到其导师们的观点——“数学用得越少越好,让数学呆在它应该呆的地方好了。”1948年,在一次典型的谈话中,他声称:“要说拓扑学在物理中有任何重要性,那是不可能的,甚至是不可思议的。”可以理解,他对把自己的数学知识拓展到新的领域丝毫不感兴趣。他甚至对布朗运动、随机过程和无规行走等问题的数学讨论不屑一顾。须知,这些讨论对他感兴趣的物理课题是非常重要的。

乌仑贝克倾向于完全无视基本上属于数学领域的科研成果。他感到它们同物理学没有关系。杨振宁对抽象的数学结构在物理学中的日益重要性有深刻的理解。乌仑贝克认为数学的功能并没有多大变化。数学过去是,而且仍旧只是用以获取具体结果的一种强有力的技术手段而已。

杨振宁和乌仑贝克都对相变尤其是气体的凝结问题有兴趣。这就使我们能够对杨振宁和乌仑贝克处理同一问题的方式进行直接比较。1938年,乌仑贝克发表了一篇关于 J. Mayer 气体凝结理论的漂亮而且清晰的论文,从那时起,他就全神贯注凝结问题。他同 Kahn 一起,通过集团积分,用正则系综求得了配分函数的级数展开。Mayer 的级数展开是维里密度展开的定型,卡默林·昂奈斯 (Kamerlingh Onnes 1853--1926, 荷兰物理学家,1913年诺贝尔物理学奖得主。译注)最早一个提出了维里展开,目的是把有关状态方程的实验数据组织起来。

乌仑贝克从 Kramers 的一项评论中知道,只有在体积为无限

的极限下才能发生相变(例如凝结).但是,在Kahn-乌仑贝克集团积分展开中,无限体积极限变得同体积有关,故很难进行下去.这实际上涉及了一种比较隐蔽的还从未获得准确解决的双重极限问题.

乌仑贝克从另一个不同的方向来研究凝结问题.他使用复杂的计数方法和图论的程序对集团展开的各个项进行系统的分析.这就可能对集团进行详细的分类.他希望用这种较强有力的方法对凝结问题有更深入的了解.

1952年,杨振宁和李政道使用了全新的、更为抽象的方法去研究相变和凝结问题.他们不用正则系综而用巨正则系综.他们证明了,在体积和粒子数都为有限的条件下,所有热力学函数都是解析的.对有限系统,不存在相变.他们进一步证明了,相变的发生(当然,是在热力学极限的情况下)由复逸度平面上巨配分函数零点的位置所决定.很清楚,杨振宁的方法同乌仑贝克的完全不同.

乌仑贝克一点也不喜欢杨振宁和李政道的论文.他不喜欢他们使用巨正则系综.他认为他们的论述太一般化、太抽象.最糟糕的是杨振宁和李政道的结果意味着乌仑贝克想通过维里展开而得到凝结这一多年的希望可能要落空.这当然是大大令人失望的.

这也显示了杨振宁和李政道的方法比乌仑贝克正则系综法要强有力得多.但是,这并没有说服乌仑贝克改变其方向.他继续走自己的路,同Kac一起构造了某些模型并分析了一些系统,它们显示了某种范德瓦尔斯(J. D. Van der Waals, 1837—1923, 荷兰物理学家, 1910年诺贝尔物理学奖得主.译注)式的临界行为(下面要谈到,范德瓦尔斯类型的行为也不是普遍的).

杨振宁、李政道的方法同乌仑贝克的方法在精神上从来也不是接近的,它们一直有分歧.乌仑贝克不愿意使用更新的、更为抽象的方法.而他自己的方法则不够有力,不能取得新的进展.

1962年,杨振宁写了一篇关于相变问题的最为重要的论文

(或许,这也是他所写过的最重要论文之一)。在这篇论文中,他引进并阐明了密度矩阵的“非对角长程序”概念。通过这个非对角长程序概念,他使用二次量子化的方式求得了相变的严格而形式化的特点。它像数学论文那样,以一种非常形式化的风格写成,通篇都是定理、引理和证明,由于文中穿插了小段的科学议论和定性叙述,才冲淡了它的数学气息。杨振宁确信,透彻分析非对角长程序的概念必将给出对量子相变的更深刻(或许更完整)的了解。

乌仑贝克仍旧确信,过去不存在,现在也仍然不存在相变的真正量子统计描述。此外,他坚持说,诸如超流、超导这类宏观量子现象则需要这样的一种描述。尤其是,他相信量子力学干涉效应和宏观量子态的精确定义并未包括在密度矩阵的形式体系中。杨振宁认为,这种形式体系已包含了量子统计力学的完整物理基础,不需要再引进别的概念和定律了。要理解相变现象的多样性,需要对非对角长程序的含义进行透彻和深入的分析。这是一件困难而又必要的事情。

虽然杨振宁的论文为乌仑贝克正在研究的课题提供了一种新的、强有力的办法,可是乌仑贝克却对之不屑一顾。反之,他我行我素地按自己的办法同相变问题进行苦斗,在大多数情况下对量子相变的现存处理办法表现了他的疑虑。在1977年发表的一篇物理报告中,他详细总结了自己取得的成果和他所关心的问题。虽然杨振宁和乌仑贝克的文章讨论的都是相变,然而,它们在风格、方法论、目的和哲学上是如此之不同,甚至对它们进行比较也是困难的。

必须对这两篇文章进行一个公式一个公式、一行一行的比较以证明他们处理的是同一问题。这种比较将非常鲜明地显示两位杰出而智力过人的物理学家由于个人风格的冲突可以导致正好相反的物理结果。这些例子说明,严肃地研究一对对风格相反的物理学家是值得的,它会给我们以启迪,并且引人入胜,从中我们能够

得到关于物理学、关于物理学中观念的演变、关于物理学家、他们的角色争夺以及他们的相互作用的信息。

上述各点中，究竟哪一点重要、哪一点最有价值因而需要给予最紧迫的注意，让我把这个问题作为练习留给读者诸君去判断吧。

## 五 结论、鸣谢和祝词

本文是献给杨振宁教授的。习惯上，在鸣谢中人们都是感谢给作者予信息和支持的那些个人。我把本文作为祝词和鸣谢，献给杨教授分量都是很不充足的。在过去的 25 年里，作者一直密切地同杨教授一起工作，这真是一种令人难以置信的好运气。本文所接触到的这么多观点都在我们之间多次谈话中提到过，这恐怕是我物理学生涯中真正精彩的部分。因此，这篇文章充其量不过是把我们之间谈话的录音放大了而已。在把本文献给杨教授的同时，我也是在把他对物理学和物理学家透彻的分析呈献给他本人。他使我得到了他的洞察力，除非我大大曲解了他的观点，否则本文也同样使物理学界获得了他的洞察力。为此，我要感谢杨教授。

本文作者马克斯·德累斯顿是美国斯坦福大学直线加速器中心及科学史项目教授。

张奠宙

## 杨振宁和当代数学<sup>①</sup>

杨振宁是 20 世纪最伟大的理论物理学家之一,因宇称不守恒问题的贡献同李政道分享 1957 年诺贝尔物理学奖.由于杨振宁-米尔斯理论和杨振宁-巴克斯特方程的关系,数学家们对杨振宁十分了解.杨振宁是继爱因斯坦和狄拉克之后,对数学发展有极大影响的一位 20 世纪物理学家.我在 1991 年采访了杨振宁博士.本文是以我的采访记录为基础,参考了他发表的论文和著作以后写成的.

### 杨振宁和陈省身早年的关系

杨振宁 1922 年生于中国中部的中等城市合肥.他的父亲杨克纯(字武之)是北京清华大学的数学教授,后任教于上海复旦大学.杨老先生在 L. E. Dickson 的指导下,专攻数论,于 1928 年取得芝加哥大学哲学博士学位.作为最早向中国引进现代数学的学者之

<sup>①</sup> 本文原载于 *Mathematical Intelligencer*, Vol. 15, 4(1993). Springer Verlag, New York. 转载已征得原出版者同意.



杨振宁和他双亲

一,杨克纯教过许多很有天分的学生.他们当中,有两位后来变得非常有名,那就是华罗庚和陈省身.

张奠宙:你什么时候认识陈教授的?

杨振宁:1930—1934年,陈省身在我父亲任教的北京清华大学当研究生时,我记不起是否认识了他.但我却记得在什么时候、如何同陈太太郑士宁认识.那是1929年10月初.她

的父亲郑桐苏已在清华大学任数学教授多年.那年秋天,我家刚搬到清华大学.我当时7岁,上小学.郑家请我们到他们那里吃饭,就这样,我第一次见到了“郑大姐”.郑、杨两家关系很密切,1939年陈省身和郑士宁在昆明结婚时,我的双亲很高兴地当了他们的“介绍人”.

张:1938—1942年在清华大学物理系读书时,陈省身有没有给您上过数学课?

杨:1937年陈省身回国任教时,因为日本人人侵,清华大学已经同北京大学和南开大学在昆明联合组成战时的国立西南联合大学.1937—1943年,陈省身在该校任教6年.他是一位才华出众、受大家爱戴的教授.我在该校念的本科,后来又念了研究院.我对自己在西南联大当学生的岁月有着美好的记忆,对我接受到的良



好教育怀着深深的感激之情。我大概听过陈教授的几门数学课,但据今天仍然保存下来的我那时的成绩单,我只正式地跟他学过一门微分几何课。那是1940年我读本科二年级的时候。

张:这门课使您受益匪浅,是吗?

杨:当然,不过我对这门课的情形已记得不太清楚。只有一件事牢牢地印在我的脑海里,那就是如何证明每个二维曲面都与平面有保角变换关系。当时我知道怎样把度量张量化成  $A^2 du^2 + B^2 dv^2$  的形式,但是,冥思苦想,却找不到怎么才能使得  $A=B$  的门道。陈省身告诉我,这要用到复变数,并给我写下  $Cdz = Adu + iBdv$  这个式子。他的点拨就好像是霹雳一闪,终生难忘。

张:您什么时候到美国来的?

杨:1945年11月。来到美国后,我想投奔费密或者维格纳(E. P. Wigner, 1902—1995, 美籍匈牙利物理学家, 1963年诺贝尔物理学奖得主。译注)。到1942年为止费密一直在哥伦比亚大学任教,但是,我在那里却没有找到他。我到普林斯顿大学去,遗憾地得知维格纳第二年要休假。幸而,我从其他人那里打听到费密将要到芝加哥大学新建的一个研究所任职。这就是我为什么到芝加哥大学攻读博士学位的原因。

张:陈省身在芝加哥大学当了许多年教授。

杨:是的,但只有在1949年离开芝加哥以后,我才有机会在普林斯顿、芝加哥和伯克利常常见到他。他是在1949年初重返美国的。

张:你们是否讨论了纤维丛?

杨:那是70年代以后的事。早先,我们只有一般的社交往来。我们讨论过数学家们,不过没有讨论过数学。

## 杨振宁-米尔斯 1954 年的论文

在昆明和芝加哥当学生时,杨振宁对规范不变性完全决定了所有的电磁相互作用这一事实印象深刻. 1918—1929 年间,通过 Weyl、Fock 和 London 等人的工作,以及后来泡利的有关评论文章,大家知道了这



罗伯特·米尔斯

一点. 然而,在 40 年代和 50 年代初,它在物理学中只起了很小的、技术性的作用. 在芝加哥时,杨振宁试图把规范不变性概念推广到非阿贝耳群中去[对电磁学来说,规范是阿贝耳群  $U(1)$ ]. 与麦克斯韦方程组相类似,他试图使用下式:

$$F_{\mu\nu} = \frac{\partial B_\nu}{\partial x_\mu} - \frac{\partial B_\mu}{\partial x_\nu} \quad (*)$$

他认为此式是麦克斯韦方程组的一种自然的推广. 他说:“得到的结果真是乱七八糟,我只好罢手.”

1954 年,作为纽约州长岛布鲁克海文国家实验室的访问学者,杨振宁再一次回到推广规范不变性的想法上来. 同他共用一间办公室的是罗伯特·L. 米尔斯,他正要完成其攻读哥伦比亚大学博士学位的学业. 杨振宁向米尔斯介绍了非阿贝耳规范场的想法,他们决定在(\*)式右边加上一个二次项. 如此一来,“乱七八糟”就

被一扫而光,漂亮的新场论就这样建立起来了. 1954 年夏,他们把论文投到《物理评论》杂志,同年 10 月,该文以《同位旋守恒和同位旋规范不变性》为题在杂志上发表. 米尔斯后来是这样写到这段岁月的:

“1953--1954 的那一学年,杨振宁到布鲁克海文国家实验室访问……我当时也在布鲁克海文……同杨振宁合用一个办公室. 杨振宁在许多场合中表现出他对刚刚开始物理学生涯的青年人的慷慨. 他告诉我关于推广规范不变性的思想,而且我们较为详细地作了讨论. ……讨论时我能有所贡献(特别是在量子化过程方面),而且在决定它的表述形式这个问题上也有小小的贡献,但是,一些关键性的思想却是属于杨振宁的.”

张:我听说米尔斯那时在英国. 我在一篇很有影响的报告里读到,1954 年杨振宁在美国,而米尔斯则在英国构造了一个附加非交换群的非线性变换的麦克斯韦方程组. 这是怎么回事?

杨:那篇报告的作者搞错了! 1954 年米尔斯在美国. 后来他确实多次访问了英国,但在 1954 年.

张:1977 年, M. E. Mayer 说:“读过杨振宁和米尔斯的论文,我觉得作者们已清晰地理解了规范势的几何意义. 他们使用规范不变的导数和连络的曲率形式. 事实上,这篇论文中的基本方程,和用几何方法导出的方程完全一样……”他说的对吗?

杨:完全不是这样. 米尔斯和我在 1954 年所做的,只是想推广麦克斯韦方程. 我们并不知道麦克斯韦方程的几何意义,也没朝那个方向去想. 对物理学家来说,规范势来源于我们用以描述电磁场的一个概念. 连络是 1970 年前后我才知道的一个几何概念. 麦克斯韦方程组有深刻的几何含义,物理学家对这一点的揭示感到非

常惊讶。

张：一个有趣的问题是，1954年，你们对自己关于非阿贝耳规范群原始论文的极端重要性是否有所认识？

杨：没有。在50年代，我们感到我们这项工作很妙。到了60年代，我才认识它的重要；及至70年代，我理解了，它对物理学非常重要。只是到了1974年，我才弄清楚它同深奥的数学之间的关系。

张：众所周知，魏耳(H. Weyl)最先提出了阿贝耳规范场论的观念。为什么你们文章中没有提到魏耳的工作？

杨：四五十年代，物理学家就已经知道魏耳引进了阿贝耳规范场论的观念，但物理学界在场论研究方面常常引用的是泡利的评论文章。事实上，那时我没有读过魏耳的任何一篇论文。

张：您在普林斯顿见过魏耳吗？

杨：当然见过。关于这一点，我要给你看看1985年我在苏黎世魏耳诞辰100周年庆祝会上所作的报告：

1949年，我到普林斯顿高等学术研究所做一位“年轻的成员”时，见过魏耳。随后，1949-1955年间，我不时见到过他。他非常平易近人，但我记不起是否同他在什么时候讨论过物理学和数学问题。物理学家不大知道他一直对规范场的观念感兴趣。不论是奥本海默还是泡利都没有提到过这一点。我怀疑，他们也没有向魏耳提到过我同米尔斯1954年合写的论文。否则，如果他们提了，或者魏耳从什么地方得知了我们的论文，我认为他会十分高兴和激动，因为我们把他最关心的两件事，即规范不变性和非阿贝耳李群，放在一起了。

张：我在你这篇论述魏耳的漂亮文章中读到，是他最早一个提出中微子的二分量理论。

杨:不错,他在1929年写下这个理论并指出,由于它没有保持左-右对称,故在自然界中不可能实现.大约30年之后,在1956-1957年,发现了左-右并不严格对称,魏耳的理论才得以复活.今天,它仍然是关于中微子的正确理论.

顺便一提的是,我们在魏耳死后两年买下了他在普林斯顿的房子,从1957到1966年在那里住了9年.

张:当魏耳得知他的中微子理论正确时,反应如何?

杨:不幸的是,魏耳在1957年物理学发生巨大轰动的前两年就死了.1957年初,宣布了左-右并不严格保持对称,即宇称并不严格守恒的结论.于是,魏耳的理论复活了.它同 $\beta$ 衰变的漂亮实验相吻合.随后6个月,在 $\beta$ 衰变中出现了大的混乱局面,这同中微子究竟是右旋还是左旋的问题有关.当年秋天,提出了 $\beta$ 衰变的V-A理论.12月,设计巧妙的一项实验把一切都澄清了,包括发现了魏耳的中微子是左旋的.

魏耳比杨振宁长37岁,在学术界属于不同的时代.他们来自不同的国度,具有东西方各异的文化背景.可不可以这样说:魏耳是通晓物理学的数学家而杨振宁则是深谙数学的物理学家?

## 杨振宁-米尔斯理论和几何学

杨振宁和米尔斯合写的论文发表后,探讨规范场论量子化和重整化,以及求解杨振宁-米尔斯方程的论文大量出现.只有少数人注意到规范场论的几何和拓扑性质.他们当中,S. Mandelstam、E. Lubkin、H. G. Loes 和 R. Hermann 为物理学家出版过一系列数学书,其中有一些涉及到这个课题.看来,它们都没有什么重大影响.就规范场论与几何的关系问题,我问杨振宁,他在这方面有什么体验.

张:1954年以后,您是否一直在研究规范场论?

杨:是的. 尽管五六十年代非阿贝尔规范场论在物理学中并没有什么实际应用, 但是, 随着时间的推移, 人们却越来越欣赏它的优雅. 例如, Л. ИВАНЕНКО 在 1964 年出版了一本书, 内中收集了杨振宁和米尔斯、李政道和杨振宁、Sakurai、盖尔曼等人 12 篇论文的俄文翻译. 我本人在 50 年代里一直在规范场的不同方面做着研究, 尽管没有取得什么结果.

60 年代末, 通过不可积相因子的办法, 我开始提出规范场的一种新的形式体系. 恰好有一个学期我在讲授广义相对论, 我发现, 规范场论中的公式

$$F_{\mu\nu} = \frac{\partial B_\nu}{\partial x_\mu} - \frac{\partial B_\mu}{\partial x_\nu} + i \in (B_\mu B_\nu - B_\nu B_\mu) \quad (1)$$

和黎曼几何中的公式

$$R^l_{ijk} = \frac{\partial}{\partial x^j} \left( \frac{\partial}{\partial x^k} \left( \frac{\partial}{\partial x^i} l \right) \right) - \frac{\partial}{\partial x^k} \left( \frac{\partial}{\partial x^i} \left( \frac{\partial}{\partial x^j} l \right) \right) + \frac{\partial}{\partial x^j} \left( \frac{\partial}{\partial x^i} \left( \frac{\partial}{\partial x^l} l \right) \right) - \frac{\partial}{\partial x^i} \left( \frac{\partial}{\partial x^j} \left( \frac{\partial}{\partial x^l} l \right) \right) \quad (2)$$

不仅相似, 事实上竟是完全一样, 只要你把记号搞对就行. 搞清楚这一点, 我激动得着实难以名状.

张: 您是否第一次理解了规范场论同微分几何之间的关系?

杨: 此前, 我注意到了 Levi-Civita 的平行移动同规范场的不可积相因子相类似. 然而, 只有了解(1)、(2)两式一样之后, 我才真正赏识了这种关系.

赏识了规范场论的几何意义, 我就向石溪的数学系主任、杰出的几何学家 Jim Simons 求教. 他说, 规范场论一定同纤维丛的联络有关, 于是我便研读有关数学书籍, 如 Steenrod 的《纤维丛的拓扑学》等等, 以求了解纤维丛理论. 但是我看不懂. 对一个物理学家来说, 现代数学的语言实在是太冷涩、太抽象了.

张: 我设想, 只有数学家们才赏识今天的数学语言.

杨: 我可以告诉你一个相关的故事. 10 年前, 我在汉城的一次讲话里说道: “方今, 世上有两类数学著作. 第一类我看了第一页便

不想再看；第二类是看了头一句就不想看了。”后来《数学信使》(Mathematical Intelligencer)杂志把我的这句玩笑登了出来。我相信，许多数学家对此不以为然。

张：您是什么时候掌握纤维丛数学理论的呢？

杨：1975年初，我邀请 Jim Simons 给我们作了一系列午餐讲座<sup>①</sup>，讲授微分型和纤维丛理论。他好意地接受了邀请。我们学到了 de Rham 定理、微分型和修补等内容。它们都非常有用，使我们得以理解 Aharonov-Bohm 实验，以及狄拉克关于电、磁单极的量子化规则。H. S. Tsao 和我后来也掌握了意义深远、十分普遍的陈省身-Weil 定理。回首往事，正是这些讲座使我非常模糊地懂得了“流形”这个概念。

## 杨振宁-Singer-Atiyah

Simons 的讲座帮助吴大峻和杨振宁写出了一篇题为《不可积相因子的概念和规范场的整体表述》的著名论文。文中，他们分析了电磁学的内禀意义，特别强调了整体拓扑联系。他们讨论了 Aharonov-Bohm 实验和狄拉克磁单极的数学意义。他们给出了一张对照表(见表 1)。

半年以后，麻省理工学院的 I. M. Singer 在 1976 年夏访问了石溪，同杨振宁详细讨论了这些问题。Singer 40 年代在大学本科读的是物理，当研究生时学数学。他在 1985 年写道：

30 年后，我发觉自己在牛津大学讲授规范场理论。这件事起因于吴大峻和杨振宁的一张对照表，结果得到了灵感，即杨振宁-米尔斯方程的自对偶解。做了 30 年的

① 国外大学往往在午餐时间上一些非正式课程或举行讲座等。译注。

数学,似乎我又回到物理学来了。

表1 术语的互译

规范场术语	纤维丛术语
规范或整体规范	主坐标丛
规范形式	主纤维丛
规范势	主纤维丛上的联络
$S$	转移函数
相因子	平行移动
场强 $f$	曲率
源 $J$	?
电磁作用	$U(1)$ 丛上的联络
同位旋规范场	$SU(2)$ 丛上的联络
狄拉克的磁单极量子化	按第一陈省身类将 $U(1)$ 丛分类
无磁单极的电磁作用	$U(1)$ 平凡丛上的联络
有磁单极的电磁作用	$U(1)$ 非平凡丛上的联络

为了解释前10年的发展, Singer 重现了吴大峻-杨振宁1975年的那张对照表。

1977年四五月间,大家传阅 M. E. Atiyah、N. J. Hinchin 和 I. M. Singer 合写的一篇论文(牛津大学、加州大学伯克利分校和麻省理工学院的预印本)。它把 Atiyah 和 Singer 的指标定理应用到自对偶规范场的问题,这触发了许多数学家对规范场的兴趣。

1979年, Atiyah 出版了他的巨著《杨振宁-米尔斯场的几何学》。他的选集第五卷的副标题是“规范场理论”。我在杨振宁石溪办公室的书架上发现了这本书。Atiyah 在序言中写道:

1977年以来,我的兴趣转到规范理论以及几何学和



物理学之间的关系上来. 多年来, 由于同 George Mackey 的长谈, 我对理论物理学有某些兴趣. 1977 年从两方面来的刺激增加了我的兴趣. 其一是, Singer 把有关杨振宁-米尔斯方程的情形告诉了我. 由于杨振宁的影响, 这个问题正开始渗透到数学圈子里来. 1977 年初他到牛津来时, Hinchin、Singer 和我认真地审视了杨振宁-米尔斯方程的自对偶性. 我们发现, 简单地应用一下指标定理, 就可以得到关于“瞬子”参数的公式……另一方面的刺激来自牛津大学 Roger Penrose 和他的小组.

张: 在表 1 中, 为什么你们留下一个问号?

杨: 这是因为数学家们还没有研究过“场源”这个概念, 对物理学家而言, 它是非常熟悉和重要的. 这是麦克斯韦表述库仑定律和安培定律时的一个关键概念, 用  $J$  标记. 用现代数学的记号, 就是

$$*D * f = J = \text{源}$$

对无源的情形而言, 如果  $f = \pm * f$ , 则

$$D * f = 0.$$

这促使物理学家和数学家都去研究自对偶规范场.

张: 这个故事十分有趣. 自对偶规范场的这种研究引导出了许许多多漂亮的数学结果, 包括 Simon Donaldson 荣膺菲尔兹奖的那项成果.

杨: 是的. 这个故事也可以作为数学家如何从物理学中推导出概念的一个例子. 在过去, 这种情况是普遍的, 可惜现在很少了.

张: 有没有数学观念变得对物理学重要的情形? 我们可以回想一下有人劝爱因斯坦注意张量分析这件事, 这同你从 Simons 得到帮助是否有点相似之处?

杨: 爱因斯坦博大精深, 后人难以企及. 至于数学之进入广义相对论和进入规范场理论, 两个过程是十分不同的. 对前者, 如果

没有黎曼几何,爱因斯坦就不能表述自己的观念;对后者来说,先写下了方程,随后数学才使我们对之有一个内在的全面理解。

张:在你们之前,就有许多学者指出规范场理论同纤维丛有关,他们的论文为什么没有像你们的论文那样,在数学界产生这么大的影响?

杨:这或许有诸多原因。他们的工作也许太形式化了,物理学家理解不了其中的内容。由于不清楚其中的物理内容,对数学家来说,这些文章又显得太平淡了。至于吴大峻和我在1975年所写的论文,我们对 Aharonov-Bohm 实验及狄拉克单极的讨论有助于吸引人们的注意。对照表也有所帮助。

张:你同 Singer 和 Atiyah 在学术上是否有联系?

杨:我们见过几次面,但没有合作研究过。

## 杨振宁-巴克斯特方程

杨振宁对数学的另一个重大贡献是建立了杨振宁-巴克斯特方程。它起源于杨振宁对统计物理的研究。

1967年,杨振宁试图找出具有 $\delta$ -函数相互作用一维费密子气体的本征函数。这是比较困难的一件事。他解决了这个问题并指出,其中关键的恒等式是一个矩阵方程:

$$A(u)B(u+v)A(v)=B(v)A(u+v)B(u) \quad (**)$$

几年后,巴克斯特(R. J. Baxter)在求解另一个物理问题即八顶角模型时,又用到了(\*\*)式。

许多研究中心后来继续探求这两方面的发展,尤其是,苏联的学者做了最大的努力。1980年 Фаддеев 把这式子称之为“杨振宁-巴克斯特关系”或“杨振宁-巴克斯特方程”,这就是方今普遍采用的名字。近六七年来,物理学和数学中一系列激动人心的发展导致人们得出结论:杨振宁-巴克斯特方程是同各种数学分支,诸如纽

结理论、辫结理论、算子理论、Hopf 代数理论、量子群、三维流形拓扑和微分方程的单值性等都有关系的一个基本数学结构,在这些领域形成了又一次“文献爆炸”。

YBE (Yang-Baxter Equation, 即杨振宁-巴克斯特方程)只不过是一个简单的矩阵方程,它为什么这样重要?

张:在最简单的情形中,YBE 具有下述形式:

$$ABA = BAB$$

这是 Artin 辫结群的基本方程。显然,辫结是对置换的历史的一种记录。不难了解,置换的历史同许多数学问题和物理问题有关系。

反观近六七年的发展,我感到 YBE 是继雅可俾恒等式之后的下一个无所不在的代数方程。雅可俾恒等式为

$$C_{ab}C'_{ac} + C_{ca}C'_{cb} + C_{bc}C'_{ca} = 0$$

当然,雅可俾恒等式的研究导出了整套李代数及这种代数与李群的关系。

张:YBE 对数学的影响看来比对物理学的影响要强。

杨:就目前来说,是这样。事实上,有些物理学家认为它是纯数



R. J. 巴克斯特

学,但我认为情况会改变.YBE 是一种基本结构,即使某一物理学家不喜欢它,但他最终还是不得不使用它.在 20 年代,许多物理学家把群论称之为“群害”.这种态度持续到 30 年代,后来消失了.

## 1986 年和 1990 年的菲尔兹奖

杨振宁-米尔斯理论和杨振宁-巴克斯特方程在今日的核心数学中起着突出的作用.从 1986 年的连续两届菲尔兹奖授奖情况可以窥见一斑.

Simon Donaldson 1986 年在伯克利举行的国际数学大会(ICM)上荣膺菲尔兹奖.M. F. Atiyah 谈到 Donaldson 的工作时说:

1982 年,Donaldson 证明了一项震动数学界的结果.如果同 Michael Freeman (另一位 1986 年菲尔兹奖获得者)的一项重要工作合在一起,Donaldson 的结论意味着,存在一个“怪异”的四维空间,它和标准的欧氏四维空间  $R^4$  拓扑等价,但不是微分拓扑等价.……Donaldson 的结果来自理论物理中杨振宁-米尔斯方程的研究,这是麦克斯韦方程的非线性推广.在欧氏空间的情形,给出绝对极小的杨振宁-米尔斯方程的解特别有意思,称之为瞬子.

1990 年有 4 位菲尔兹奖得主;B. ДРИНФЕЛД, V. F. Jones、森重文和 E. Witten. 他们当中,有 3 人的工作同杨振宁-米尔斯理论或及杨振宁-巴克斯特方程有关.下面引述的是 ICM 京都大会报告中的一段话:

我们应该提到 Дринфелд 和 Manin 在构造“瞬子”

时的先驱性工作,这是杨振宁-米尔斯方程的解,它们可以想象成有粒子似的性质,具有定域性和尺度……Дринфелд通过研究杨振宁-巴克斯特方程一直保持着对物理学的兴趣。

认识到在某些特定条件下,杨振宁-巴克斯特方程的解可被用来构造连接的一些不变量, Jones 因此打开了一个全新的方向. 他的理论涉及了量子群和不可对易 Hopf 代数等由神保道夫和 Дринфелд 从求解杨振宁-巴克斯特方程而产生出来的研究领域。

Witten 用这些话来描述 Donaldson 和 Floer (把 Atiyah 早先的观点加以推广)的不变量,并把 Jones 纽结多项式推广到任意环绕空间三维流形的情形。

我们附带说说一个很有意思的小花絮:1990年,京都国际数学家大会的大会报告充满了数学物理的内容,对这种严重的倾斜,有些人抱怨:“到处都是量子群,量子群,量子群!”

## 数学和物理

张:为什么您的物理学研究结果会对数学产生这么大的影响?

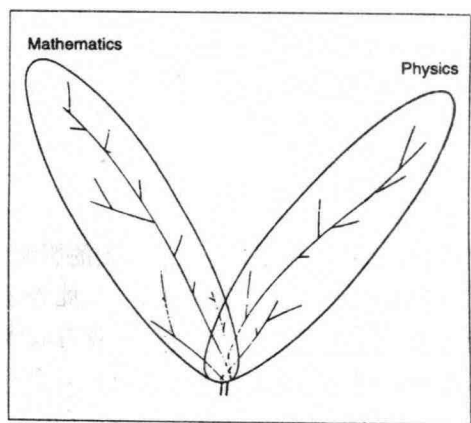
杨:这当然是一个很难回答的问题. 运气是原因之一. 此外还有两点与之有关. 首先,你如果选择的是一个简单问题,就有较大的机会接近数学中的基本结构. 其次,你必须对数学的价值观念有一定的鉴赏力。

张:请您更深入地谈谈上面的第一点好吗?

杨:绝大多数理论物理论文都是这样写出来的:A 发表一篇关于他的理论的论文;B 说可以将它改进;然后 C 又指出 B 错了,就这样来回倒腾. 其实大多数情况下,A 的原始观点是完全错误的,



陈省身和杨武之1964年于日内瓦



的,对吗?

杨:是的.我们提出的问题是:“能否把麦克斯韦方程推广出去以得到粒子间相互作用的普适指导规则?”

张:杨振宁-巴克斯特方程怎么样?您在1967年处理的并不是

最少也是毫无意义的.

张:在数学界,情形也一样.

杨:不,不.情形非常不一样.数学定理要证明,或者假定要加以证明.理论物理则不然,它要进行的是一种猜谜游戏,而猜测则非常可能出错.

张:但是,总需要研读最新的文献吧.

杨:当然,知道自己领域里其他研究人员在怎么想,是重要的.但是,要取得真正的进展,你必须面对原始的简单问题,而不是别人所做的猜测.

张:1954年您同米尔斯就是这样做的.

物理学的一个带根本性的重要问题。

杨：你说得对，但我所研究的是量子力学最简单的数学问题之一：具有最简单的可能相互作用的一维费密子系统。

张：你为什么要强调“最简单的”？

杨：因为问题越简单，你所作的分析就会越接近某些基本的数学结构。我可以用下面的事实加以说明。如果要给下象棋或下围棋（在美国，人们只知道日本人后来给围棋起的名字“go”）搞出一套用数学推理而取胜的战略，那么，一定是围棋的更容易搞出来，因为围棋的弈法较为简单而又更基本。

张：请说一说前面提到过的第二个成功原因好吗？

杨：许多理论物理学家对数学总是带有某种排斥心理，或者，至少有贬低数学价值的倾向。我不赞成这种态度。我曾经写过：

或许因为父亲的影响，我比较欣赏数学。我欣赏数学的价值观念，我欣赏数学的美和力量；在谋略上，它充满巧妙和纷杂；而在战略战役上则充满惊人的曲折。除此之外，最令人不可思议的是，数学的某些概念原来竟规定了统治物质世界的那些基本结构。

张：在数学上，您父亲对您有什么影响？

杨：举个例子来说，我还在高中念书时，由于父亲的缘故，就接触了群论初阶，常被父亲书架上 A. Speiser 写的一本有限群书中美丽的插图迷住。当我做学士论文时，父亲建议我去读 L. E. Dickson 写的《现代代数理论》这本小册子，从中学习群的表示理论。这本书只用短短的20页就把特征标理论的要点说得清清楚楚。这一章的优雅和威力使我认识了群论无与伦比的美丽和力量。

张：听说您当过数学老师，您太太是您所教班上的学生，是吗？

杨:是的. 1944—1945年,我在昆明的一所高中教数学.她是我班上的一个学生.但我们彼此不太熟悉.几年之后,我们在普林斯顿不期而遇.在高中教数学是一种有趣的经历,然而它却同我对数学的态度毫无关系.

张:那么对物理学家来说,是否数学掌握得越多越好?

杨:不,不是的.如果一个物理学家学的数学太多,他或她很可能被数学的价值观念引入歧途而失去了自己的物理直觉.我曾经把数学和物理比做枝梗上两片对生的树叶,只在基部有少许公共部分,而它们各自有不同的价值观念和学术传统,互相独立地在生长.在基本概念的层面上,它们奇妙地共同拥有某些概念,但即使在这里,两门学科仍按各自的脉络生长.

张:对物理学家来说,实验结果是不是更为重要?

杨:完全正确.

张:您同数学家是否有许多交往?

杨:有一些. 1951年李政道和我一起搞那个后来被称为“单位圆定理”的研究时, Von Neumann 和 Selberg 曾建议我们读一读 Hardy 的《不等式》一书; 1965年, Littlewood 和 Polya, 还有 H. Whitney 给我弟弟杨振平和我讲授拓扑学中指标的概念. 关于求解 Wiener-Hopf 方程, M. Kac 指点我们参考 M. G. Krein 对这个问题的长篇评论. 70年代,我同中国上海复旦大学谷超豪领导的一个数学家小组合作. 除上述各点及 Simons 的讲座之外,我由于同石溪的数学同事 R. Douglas、M. Gromov、I. Kra、B. Lawson、C. H. Sah 及其他人的许多交往而受益匪浅.

张:您同陈省身的交往多吗?

杨:前面说过,我在中国读大学二年级时选过他的微分几何,或许还听过他的其他一些课. 1949年及以后的岁月,我们常常交谈,但并没有涉及任何实际的数学问题. 50年代,我想我曾经听人说陈氏级非常非常重要,但陈氏级是什么,我则一无所知.





陈省身和杨振宁(右)摄于1985年.当时陈省身荣获纽约州立大学石溪分校荣誉科学博士学位

只是到了1975年, Simons 在石溪的理论物理研究所给我们作了一系列报告之后,我才理解纤维丛和纤维丛上的联络等基本概念. 经过苦苦钻研,我终于也理解了非常普遍的陈省身-Weil 定理. 理解这一意义深远而又无限美妙的定理后,实在难于形容我当时那种喜不自胜的心情. 应该说,这种心情甚至超过了60年代我学会

Weyl 关于计算古典群表示特征标的强有力的方法,或者学会漂亮的 Peter-Weil 定理时的那种愉悦. 为什么呢?也许是因为陈省身-Weil 定理更具有几何性.

然而,这不仅仅是一种欢愉,还有更多更深刻的感受. 自然界的基本结构本质上竟然同深邃的数学概念连结在一起,这些概念则是从根植于逻辑和形式美的考虑而发展出来的;还有什么能比发现这一点更令人感到不可思议,更令人惊叹的呢?我曾经写过下面的话来表达这种感受:

规范场与纤维丛理论有关系,这给我留下了深刻的印象. 1975年我驱车前往陈省身在伯克利附近 El Cerrito 的寓所……我说,规范场恰是纤维丛上的联络,而后者竟

是数学家在不涉及物质世界的情况下发展出来的。我还加了一句：“这既令人惊异，也令人迷惑不解，因为你们数学家凭空想象出了这些概念。”他马上提出异议：“不，不，这些概念不是凭空想象出来的。它们是自然的，也是实实在在的。”

张奠宙1933年5月21日出生于中国浙江。1954—1956年他在华东师范大学当研究生，那时中国还没有学位制度。后来他成为该校数学教授。他的研究领域是线性算子的谱理论。80年代以来，他对数学教育和数学史感兴趣。本文是他1990—1991年访问美国见到杨振宁后写成的。

## 外国人名及中译对照

Abel, N. H.	阿贝耳
Alvarez, Luis W.	阿尔瓦雷兹
Bardeen, J.	巴丁
Baxter, R. J.	巴克斯特
Beethoven, L. von	贝多芬
Bernouilli, Nicholas, Daniel and Johann	伯努利家族
Bethe, H. A.	贝特
Bloch, Felix	布洛赫
Bohr, Niels	玻耳
Boltzman, L.	玻耳兹曼
Born, M.	玻恩
Bose, S. N.	玻色
Brattain, W. H.	布拉顿
Brown, G. E.	布朗
Brown, R.	布朗(运动)
Cartan, E. J.	嘉当
Chan, M. H. W.	陈鸿渭
Chandrasekhar, S.	钱德拉谢卡
Chang, Sheldon	张守廉
Chao, Alexander W.	赵午
Chau, Ling-Lie	乔玲丽
Cheng, Hung	郑洪
Chan, Shing-Shen	陈省身

Chou, T. T.	邹祖德
Chu, C. W.	朱经武
Clausius, R.	克劳修斯
Compton, A. H.	康普顿
Cooper, L. N.	库柏
Cronin, J. W.	克罗宁
Deaver, B. S. Jr.	第佛
Dickson, L. E.	狄克逊
Dirac, P. A. M.	狄拉克
Dresden, M.	德累斯顿
Dyson, F. J.	戴逊
Einstein, A.	爱因斯坦
Euclid	欧几里德
Euler, L.	欧拉
Fermi, Enrico	费密
Feynman, R. P.	费因曼
Fields, J. C.	菲尔兹
Fitch, Val	菲奇
Фадеев, Л. Д.	法捷耶夫
Gauss, C. F.	高斯
Gell-Mann, M.	盖尔曼
Gibbs, J. W.	吉卜斯
Glashow, S. L.	格拉肖
Hamilton, W. R.	哈密顿
Heisenberg, W. K.	海森堡
Higgs	希格斯
Hitler, A.	希特勒
Ho, Ping-ti	何炳棣

Hsiung, Ping-Ming	熊秉明
Huang, Kerson	黄克孙
Ising, E.	易兴
Jacobi, W. G. J.	雅可俾
Jen, C. K.	任之恭
Jimbo, M.	神保道夫
Josephson, B. D.	约瑟夫森
Joule, J. P.	焦耳
Kao, Charles K.	高锟
Kamerlingh Onnes	卡默林·昂奈斯
Kelvin, Lord (即 William Thomson)	开尔芬
Kepler, J.	开普勒
Kissinger, H. A.	基辛格
Kroll, N.	克罗尔
Lagrange, C. J. L.	拉格朗日
Lamb, W. E.	兰姆
Lee, Benjamine	李昭辉
Lee, T. D.	李政道
Ling, Gilbert	凌宁
Livermore, L.	利弗莫尔
Lorentz, H. A.	洛伦兹
Ландау, Д. Д.	兰道
Ma, S. T.	马仕俊
Maxwell, J. C.	麦克斯韦
McCarthy, J. R.	麦卡锡
Michelangelo	米盖朗琪罗
Mills, R. L.	米尔斯
Mozart, W. A.	莫扎特

Mussolini, Benito	墨索里尼
Newton, I.	牛顿
Nieh, H. T.	聂华桐
Nobel, A. B.	诺贝尔
Onsager, L.	昂萨格
Oppenheimer, J. R.	奥本海默
Oswald, W.	奥斯瓦尔德
Pais, A.	派斯
Pauli, W.	泡利
Picasso, P.	毕加索
Planck, M. V.	普朗克
Pupin, M. I.	普平
Jonob	波波夫
Rembrandt	伦勃朗
Riemann, G. F. B.	黎曼
Rockefeller, N.	洛克菲勒
Rutherford, E.	卢瑟福
Salam, A. L.	萨拉姆
Sawada	泽田
Schrieffer, J. R.	施里费
Schrödinger, E.	薛定谔
Schubert, F. P.	舒伯特
Schwartz, M.	施瓦兹
Schweitzer, A.	施韦策
Schwinger, J. S.	兴格
Shockley, W.	肖克莱
Sloan, A. P.	斯隆
Sommerfield, A. J. W.	索末菲

Steinberger, J.	斯坦伯格
Sutherland, B.	萨瑟兰
Teller, E.	泰勒
Thomson, J. J.	汤姆逊
Ting, Samuel C. C.	丁肇中
Toll, J. S.	托尔
Tomonaga, S.	朝永振一郎
Tonomura, A.	外林
Tu Yang, Chih Li	杜致礼
Uhlenbeck, K.	K. 乌仑贝克
Uhlenbeck, G.	G. 乌仑贝克
Van der Graaff	范德格拉夫
Van der Waals, J. D.	范德瓦尔斯
Van Gogh	凡高
Weinberg, S.	温伯格
Weyl, H.	魏耳
Wien, W.	维恩
Wigner, E. P.	维格纳
Wolff, R.	沃尔夫
Wright, Orville and Wilbur	莱特兄弟
Wu, Chien-Shiung	吴健雄
Wu, T. T.	吴大峻
Yan, Edward	闫爱德
Yan, T. M.	颜东茂
Yau, Shing-Tung	丘成桐
Yang, Chen Ning	杨振宁
Yang, Chen Ping	杨振平
Yang, Franklin	杨光诺

---

Yang, Gilbert	杨光宇
Yang, Eulee	杨又礼
Yuan, Luke C. L.	袁家骝
Yukawa, H.	汤川秀树
Zeeman, P.	塞曼
Zheng Chern, S. N.	陈郑士宁
Zheng, T. S.	郑桐荪



[ G e n e r a l   I n f o r m a t i o n ]

书名= 杨振宁——20世纪一位伟大的物理学家

作者= 丘成桐      刘兆玄编      甘幼琰译

页数= 212

SS号= 10849860

出版日期= 1996年11月第1版

## 前言

## 目录

电子 - 正电子高能对撞的最新结果 丁肇中

附录：杨振宁小传 丁肇中

杨振宁和C P 不守恒 詹姆士·W. 克罗宁

杨振宁 - 米尔斯方程和杨振宁 - 巴克斯特方程 陈省身

附录：我与杨家两代的因缘 陈省身

杨振宁教授七秩大寿 吴健雄

杨振宁教授70寿辰献辞 弗里曼·J. 戴逊

杨振宁教授70寿辰贺词 爱德华·泰勒

附录：对杨振宁甫渡人生半世的贺辞 爱德华·泰勒

杨振宁教授在一座优秀大学的发展过程中所起的关键作用 约翰·S. 托尔

杨振宁对我的生活和研究工作的影响 G. E. 布朗

杨振宁的金字塔 乔玲丽

如何对杨振宁 - 米尔斯理论进行量子化 郑洪

杨振宁教授 邹祖德

发现具有更高临界温度的超导体的可能途径(序言部分) 朱经武

超导体的量子化磁通：我个人的一些看法 小巴斯科姆·S. 第佛

回忆普林斯顿的岁月 黄克孙

我所知道的杨振宁 高锟

美丽与真确 罗伯特·米尔斯

附录：杨振宁和米尔斯 罗伯特·米尔斯

26年 聂华桐

附录：我所知道的杨振宁 聂华桐

回忆我当杨教授研究生的岁月(1966—1969) 比尔·萨瑟兰

杨振宁教授和我 吴大峻

杨振宁教授对物理学的影响 颜东茂

加速器物理中的非线性动力学 赵午

杨振宁 李炳安邓超凡

附录：基本物理学的精髓——九组方程式 李炳安

试论物理学中的风格和品味 马克斯·德累斯顿

杨振宁和当代数学 张奠宙

外国人名及中译对照