六十八年心路

1945-2012

杨振宁 著

各篇后记主要是追寻我个人作为一个物理学家的发展过程，同时清理一下我从当研究生以来的兴趣和想法。本书并不是我对自己研究工作的评价。科学家不希望对自己所有的论文作面面俱到的评价，但最懂得自己每一篇文章故事的，莫过于作者本人。

——杨振宁

一方面，您对近代物理发展的历史，作了明晰有条理的简介；同时，您把最近的过去，心头不如意事也坦白地布开，使人读了非常感动。

——吴健雄

他巧妙地将八十页后记结集一起放在书的开始部分，而不是附在各篇文章的后面。这样，后记可以连续地读，成了他的科学自传，一部极好的自传。它以清楚而简练的词句描述了他的一生，朴实地描述了他工作背后的强烈感情和始终不渝的忠诚。换言之，它描述了杨振宁之所以成为杨振宁。

——弗里曼·戴森

ISBN 978-7-108-04784-7
9 787108 047847 >
定价：38.00元

六十八年心路

1945－2012

杨振宁 著

杨建邺
杨建军 译

三联书店

Copyrigh © 2014 by SDX Joint Publishing Company. All Rights Reserved.
本作品版权由生活·读书·新知三联书店所有。未经许可，不得翻印。

本书中文版由世界科技出版公司（World Scientific Publishing Company）授权出版，由其下属八方文化创作室协助出版。

World Scientific

八方文化 Global Publishing 创作室 世界科技出版公司

图书在版编目（CIP）数据

六十八年心路：1945～2012／杨振宁著．—北京：生活·读书·新知三联书店，2014.9
ISBN 978-7-108-04784-7

Ⅰ.①六… Ⅱ.①杨… Ⅲ.①杨振宁－自传
Ⅳ.①K837.126.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 273529 号

特约编辑 潘国驹
责任编辑 徐国强
装帧设计 康 健
责任印制 徐 方
出版发行 生活·讀書·新知 三联书店
（北京市东城区美术馆东街 22 号 100010）
网 址 www.sdxjpc.com
经 销 新华书店
印 刷 北京鹏润伟业印刷有限公司
版 次 2014 年 9 月北京第 1 版
2014 年 9 月北京第 1 次印刷
开 本 880 毫米×1092 毫米 1/32 印张 8.75
字 数 175 千字
印 数 0,001－5,000 册
定 价 38.00 元
（印装查询：01064002715；邮购查询：01084010542）

编者按

本书是从杨振宁先生的两本书中摘译出来的。这两本书是 *Selected Papers (1945—1980) with Commentary* 和 *Selected Papers II with Commentary*，依照封面熊秉明先生的题字，两本书可以称之为《杨振宁论文选集》和《杨振宁论文选集Ⅱ》。所摘译的部分则是两书从“45a”到“12d”的119篇文章的Commentary，本书将之称为“后记”而非“评论”，取的是“后来所记”之意。有关这些后记的价值，读者可以参考本书《译后记》中的论述，也正因此，本书被命名为“六十八年心路”。

本书分为上下编，分别对应于两本文集，上编的后记文字大体写于1982年，下编的后记文字大体写于2012年。此外，下编中有15篇曾经选入《曙光集》（杨振宁著，翁帆编译，三联书店2008年1月版），当时所写的后记与《选集Ⅱ》中的后记略有不同，读者可以参照阅读。

为便于指称，书中的论文依照写作年份编号，如“57d”表示杨振宁1957年的第四篇文章。如果论文编号冠以黑括号，表示收入两本选集，如“【57d】”；如果冠以白括

号，则表示未收入两本选集，如“〖57a〗”。本书的脚注如果结尾有“译注”字样，则表示由译者添加；如果没有，则为原文所带，即杨振宁本人撰写。

为了方便读者，书末还编制了人名对照表。两本选集中原有铜版纸插图若干，因大多与《杨振宁传（增订版）》（杨建邺著，三联书店2011年9月版）重复，恕不收录，但后记中插图则择要保留。

目 次

编者按.....1

上编

【45a】“超晶格统计理论中准化学方法的推广”后记.....3
【48a】“论核反应中的角分布和符合测量”后记.....8
【49a】“介子与核子和轻粒子的相互作用”后记.....12
【49b】“介子是基本粒子吗?”后记.....14
【50a】“一个粒子湮灭为两个光子的选择定则”后记.....15
【50c】“自旋 1/2 场的反演性质和一个普适费米型相互作用”后记.....18
【50d】“海森伯表象中的 S 矩阵”后记.....20
【52a】“二维伊辛模型中的自发磁化”后记.....22
【52b】“状态方程和相变的统计理论（Ⅰ）凝聚理论”后记.....28
【52c】“状态方程和相变的统计理论（Ⅱ）格气和伊辛模型”后记.....28
【52d】“1952 年 5 月 5 日给费米的信”后记.....34
【54a】“在与核弹性散射中的核子极化”后记.....37
【54b】“同位旋守恒和一种广义规范不变性”后记.....38
【54c】“同位旋守恒和同位旋规范不变性”后记.....38
【55b】“重粒子守恒和广义规范变换”后记.....43
【56d】“电荷共轭、一个新量子数 G，以及核子—反核子系统的选择定则”后记.....48

【56e】“1956 年罗彻斯特会议新粒子理论诠释
专题会介绍性发言”后记……50
【56h】“弱相互作用中宇称守恒的问题”后记……54
【57d】“新粒子的最新认识”后记……64
【57e】“在时间反演和电荷共轭变换下可能的非不变性的
短评”后记……65
【57f】“宇称不守恒和中微子二分量理论”后记……71
【57h】“量子力学和量子统计力学的多体问题”后记……77
【57i】“硬球玻色系统的本征值和本征函数及其低温性质”后记……81
【57o】“自旋 1/2 超子衰变的一般分波分析”后记……82
【57q】“量子力学多体问题和硬球玻色系统的低温性质”后记……83
【57s】“宇称守恒定律和物理学其他对称性定律”后记……84
【57t】“1957 年 12 月 10 日在诺贝尔宴会上的讲话”后记……86
【58a】“由 Λ^0 衰变具有大的角不对称性确定 Λ^0 自旋的
可能性”后记……87
【58d】“稀薄硬球玻色系统的低温行为
（Ⅰ）平衡的性质”后记……91
【59b】“量子统计力学中的多体问题
（Ⅰ）一般表述”后记……92
【59c】“现代物理学里的对称性原理”后记……93
【60d】“可能实现的高能中微子实验的理论探讨”后记……94
【60e】“弱相互作用里中间玻色子基元的推论：中间玻色子
四重态的存在及其对偶同位旋变换的性质”后记……96
【60g】“非理想的玻色系统”后记……98
【61a】“《介子是基本粒子吗?》一文引言”后记……99
【61b】“整体对称性的一些思考”后记……101
【61c】“超导圆柱体中磁通量量子化的一些理论思考”后记……103
【61f】“物理学的未来”后记……107
【62b】“单 π 介子交换模型的检验”后记……109

【62g】“悼念马世俊博士”后记……110
【62i】“与电磁场有相互作用的带电矢量介子理论”后记……111
【62j】“非对角长程序的概念以及液氦和超导的量子相位”后记……114
【63e】“SU_3的质量公式”后记……116
【64e】“液气相变中的临界点”后记……117
【64f】“K^0 和$\overline{K}^0$ 衰变中 CP 不变性破坏的唯象分析”后记……121
【65a】“有关高能大动量传输过程的一些思考”后记……124
【66b】“π p 电荷交换散射和高能交换过程的
‘相干液滴’模型”后记……127
【66c】“1966 年 3 月 14 日在爱因斯坦纪念邮票
发行仪式上的讲话”后记……129
【66e】“各向异性自旋—自旋相互作用的一维链
（Ⅰ）有限系统基态贝特假说的证明”后记……131
【66h】“光子自能函数中重叠发散的处理方法”后记……135
【67b】“关于高能散射的几点短评”后记……137
【67d】“经典同位旋规范场方程的一些解”后记……140
【67e】“有排斥 δ 函数相互作用的一维多体问题的一些精确
结果”后记……143
【69a】“有排斥 δ 函数相互作用的一维玻色系统热力学”后记……145
【69c】“高能碰撞中极限碎裂假说”后记……147
【70b】“统计力学中一些可精确求解的问题”后记……150
【70f】“高能强子—强子碰撞”后记……152
【71b】“关于相变和临界现象的绪论”后记……153
【72c】“目前基本粒子物理学的几个概念”后记……154
【73b】“30 ~ 1500GeV/c 之间的质子—质子碰撞的
不透明度”后记……155
【74c】“规范场的积分形式”后记……158
【75c】“不可积相因子的概念和规范场的整体表述”后记……162
【76a】“在极化核和极化强子里的强子物质流分布”后记……164

【76c】“无弦的狄拉克磁单极子：单极子谐和函数”后记……166
【76d】“无弦的狄拉克单极子：经典拉格朗日理论”后记……167
【76g】“访问中国对中国科学家的意义”后记……168
【77e】“磁单极子、纤维丛和规范场”后记……171
【77h】“规范场理论的若干问题（Ⅱ）”后记……172
【77j】“纪念李昭辉专题会议上的讲话”后记……173
【78e】“电子、磁单极子和光子之间的相互作用（Ⅰ）”后记……175
【78k】“BPST 赝粒子解的逐点 SO_4 对称”后记……176
【79b】“旋转中子或者光学干涉仪里的相移”后记……177
【80a】“强子碰撞的几何模型”后记……178
【80b】“爱因斯坦对理论物理的影响”后记……179

下编

【71d】“关于长城的演讲稿”后记……185
【A71d】“对中华人民共和国的物理的印象”后记……186
【72d】“一个戴高乐式的行程”后记……187
【77g】“在四维欧几里得空间中 SU（2）规范场的
自对偶条件”后记……189
【78a】“把狄拉克磁单极推广到 SU_2 规范场”后记……190
【79d】“爱因斯坦和物理学的未来”后记……191
【80d】“微观时间反演不变性的破坏有可能会导致出现
熵减少现象吗?”后记……193
【82c】“约瑟夫·梅耶与统计力学”后记……194
【82e】“磁通量量子化：个人的回忆”后记……195
【82g】“分立对称性 P，T 和 C”后记……196
【83g】“规范场、电磁理论和玻姆—阿哈罗诺夫效应”后记……199
【85g】“电子自旋、强子和原子核”后记……201
【85j】“赫尔曼·韦尔对物理的贡献”后记……202
【86c】“负 1 的平方根、复相位与埃尔文·薛定谔”后记……206

【87a】“施图尔姆－刘维理论推广到一类有狄拉克型能谱的常微分方程”后记……208
【87b】“赵忠尧与正负电子对之产生和湮灭”后记……210
【88b】“具有因子化S矩阵的一个一维N体费米子问题”后记……212
【88d】“在统计力学领域中的历程”后记……214
【89c】“现代物理学和热情的友谊”后记……216
【90b】“哈巴德模型中的SO_4对称性”后记……218
【90e】“对称性与物理学”后记……219
【91e】“陈省身先生与我”后记……221
【92c】“关于理论物理发展的若干反思”后记……223
【93b】“邓稼先”后记……225
【95b】“尤里安·施温格”后记……226
【95d】“与拉尔斯·昂萨格的过往”后记……228
【97d】“碳60分子振动问题的精确解”后记……229
【97f】“父亲和我”后记……230
【A99j】“惊闻米尔斯去世”后记……231
【01f】“恩里科·费米”后记……232
【01g】“沃纳·海森伯”后记……235
【02c】“八旬杏满清华园”后记……237
【02i】“量子化、对称、相位因子：二十世纪理论物理学的三个主旋律”后记……239
【04c】“规范不变性和相互作用”后记……242
【05b】“阿尔伯特·爱因斯坦：机遇与眼光”后记……243
【06b】“克莱因－仁科公式与量子电动力学”后记……245
【08d】“赝势方法和在2，4和5维稀薄硬‘圆球’玻色气体”后记……246
【09f】“在一维势阱中具有δ函数相互作用的费米子的基态”后记……248
【10a】“在新加坡庆祝默里·盖尔曼80岁生日大会上的

演讲”后记……252
【10e】“在一维谐振势阱中粒子间具有排斥δ函数
相互作用的自旋1/2费米子”后记……254
【10h】“有排斥δ函数相互作用的一维w分量费米子
和玻色子”后记……255
【11a】“量子数、陈氏级与菩萨”后记……257
【11b】“我的学习与研究经历”后记……259
【12a】“费米的β衰变理论”后记……260
【12d】“拓扑学和物理学中的规范理论”后记……261

译后记……262
人名索引……266

上 编

獻士

【45a】“超晶格统计理论中准化学方法的推广”后记

A Generation of the Quasi-Chemical Method in the Statistical Theory of Superlattices

The Journal of Chemical Physics **13**, 66 (1945)

C. N. Yang

1942 年我在昆明西南联合大学获得理学学士学位以后，又成为该校研究生。我的硕士论文研究题目是统计力学，导师是王竹溪教授。20 世纪 30 年代王竹溪在英国留学时的导师是福勒 (R. H. Fowler)。王先生把我引入物理学的这一领域，此后它一直是我感兴趣的领域之一。【45a】是我硕士论文的一部分。

西南联大是中国最好的大学之一，我在这所大学受到了很好的大学和研究生教育，1944 年我获得硕士学位。战争时期，中国各大学的物质条件非常差，但是西南联大的师生员工和学校当局都以良好的精神状态和严肃认真的作风对待教育和学习，弥补了物质条件的欠缺。图书馆里的藏书虽然不多，各种期刊常常在出版一两年之后才能收

到，但是我们还是在图书馆里学习到很多知识。我们的教室在冬天因为透风很冷，上实验课的时候我们只有很有限的仪器设备，但是总体来说我们的课程很有系统，准备充分，内容很有深度。直到今天我还保留着王先生讲量子力学的笔记，它仍然是很有用的参考文献。笔记本的纸张很粗糙，没有漂白，很容易脆裂。每一次看到它，就会使我想起那艰难的岁月。

1937—1945 年的中日战争对中国来说是一场漫长的浩劫，比历史上任何一场战争更加残酷。降落到中国千百万人民头上的灾难，真是难以言表。其中有 1937 年的南京大屠杀，有日本人的“三光政策”（杀光、烧光、抢光）。由于该政策，仅华北地区在 1941—1942 年间，人口就从 4400 万锐减到 2500 万。[①]还有 1944 年河南省的大饥荒[②]，我实在无法描述这一惨剧。1944 年年底，日本军队发动最后一次攻击，当他们占领桂林和柳州后，昆明每一个人都担心贵阳何时会陷落。还有数不清的狂轰滥炸。1940 年 9 月 30 日，我们家在昆明租赁的房子被炸毁，我们家少得可怜的一点家当化为灰烬。幸运的是我们全家躲在防空洞里，免于罹难。几天之后，我拿着一把铁锹回到已成为废墟的家，居然挖出几本还可以使用的书，这让我欣喜若狂。在那艰难的岁月里几本书的价值，现在的人是很难了解的。

---

① 参见 Chalmers A. Johnson, *Peasant Nationalism and Communist Power* (Stanford, Calif.: Stanford University Press, 1962), chapter 2。

② 参见 T. H. White, *In Search of History* (New York: Harper & Row, 1978)。

除此之外，通货膨胀无时无刻不在威胁着我们。[①]我的父亲是西南联大的教授，他的一点储蓄全部化为乌有。毫不夸张地说，在战争结束时我家的日子只是勉强糊口。我的母亲是一位意志坚强、勇于奉献的妇女，为了一家七口的穿衣吃饭，她年复一年地从早到晚劳累不停，从不抱怨。战争结束时，全家人可以说个个都很消瘦，但好在人人健康。

1944—1945 年，我在昆明一所高中教数学，业余时间研究场论 (field theory)。场论是 1942 至 1944 年间，我从马仕俊教授那儿学到的。这期间我对变形体(deformable body) 的热力学也有了兴趣。1945 年四五月间，我发现一个颇为优美的形式可以解决这一问题。后来我很失望地发现穆纳罕 (F. D. Murnaghan) 早在 1937 年就用同样的方式解决了这一问题，我当时真的很失望。

1945 年 8 月，我动身去美国留学。那时中美之间没有商务旅客服务，我在印度加尔各答等待了几个月之后，才在一艘运兵船上找到一个铺位，最终在 11 月底到达纽约，并于圣诞节前后到芝加哥。1946 年 1 月，我在芝加哥大学注册，成为芝加哥大学的一名研究生。这段经历以及芝加哥大学研究生的日子，我写过一篇文章，后来被收入《费米文集》里。该文可见本书【61a】。

每当我回想起在中国的学生时代，就会被西南联大优

① 战后通货膨胀仍然有增无减。1949 年 1 美元相当于 100 万中国元，相较于 1937 年，通货膨胀率达到 3 000 000%。

良的学风所感动，它为我提供了学习和成长的机会。我对物理学的品味（taste）[①]，大部分是在这所大学六年学习时间（1938—1944）里形成的。诚然，我在芝加哥大学开始接触到前沿研究课题，并受到费米[②]教授特殊风格的影响。但是我对物理学某些领域特有的偏好，在昆明时期大部分已经形成。

在每一个有创造性活动的领域里，一个人的品味，加上能力、秉性和机遇，决定了一个人的风格（style），而风格又决定了一个人的贡献。品味和风格居然与一个人在物理学里的贡献有如此密切的关联，初听起来似乎让人感到惊奇，因为物理学对自然界的研究被认为是**客观的**。但是自然界是有结构的，一个人对这个结构的理解，对它某些方面的偏好，以及对另些方面的冷漠，正是决定他的品味的

---

① 关于 taste 和 style 的翻译，读者可参看杨振宁先生与复旦大学倪光炯教授的一段话（见《科学人才的志趣和风格——在美国石溪与复旦大学倪光炯教授的谈话》，载《杨振宁文录》，海南出版社 2002 年版，第 304 页）：

倪：我在想您讲的 taste 这个词该怎么翻译，爱好、嗜好都不一定很恰当，不过这是一个很重要的词。您还讲到 style，是否可以这样理解：taste 形成要早一些，style 要更成熟些以后慢慢形成，而这里面又有一定的联系。所以，在这问题上又不同于另外一些词，比如与常常讨论的物理上的直觉（intuition）也不完全一样。taste 这个词恰好描绘了您刚才所讲的在科学上从一个还懂得不多到后来慢慢成熟起来的阶段上所形成的一种科学性格。

杨：不错，taste 跟 style 是有很密切关系的。style 在中国叫风格，taste 我倒不知道该怎么译法，有人把它译为品味，不过我想这不见得是最正确的翻译。我同意你刚才的讲法，taste 的形成比 style 要稍微早一点，往往在自己还没有做研究工作的时候就已经有 taste 了。比如说一个收集古画的人，他有 taste，可是他不大可能有 style，假如他后来自己也画画，那么他就可以有他自己的风格。当然，一个人的 taste 肯定要影响到他后来的风格，不过这两个是不一样的观念。——译注

② 费米（Enrico Fermi，1901—1954），意大利出生的美国科学家，1938 年获得诺贝尔物理学奖。——译注

因素。所以品味和风格在科学研究上的重要性不亚于在文学、艺术和音乐中，也就不那么令人惊奇了。

前面我说过，我对物理学的品味大部分是在昆明读书的六年形成的。正是在这一时期我学会了欣赏爱因斯坦(Albert Einstein)、狄拉克[①]和费米的工作。当然，他们各有很不同的风格。但是他们都具有一种能力：从一个物理概念、理论结构或者物理现象中发掘出基本要义，直接聚焦在其精髓上。当我后来认识了费米和狄拉克以后，发现他们关于物理学所说的和所想的，与我研究他们论文时获得的预想完全一样。

相反，我对海森伯[②]的风格却没有这种共鸣。这并不是说我不认为他是一位伟大的物理学家。我一直认为他是的。事实上在1942年末，当我初次了解测不准原理的时候，我感到一种顿悟和惊喜。但是我不欣赏他的研究方法。后来在20世纪50、60和70年代，在一些会议和演讲时与他有过短暂的相遇，更加深了我早期的印象。

我欣赏薛定谔[③]研究波动力学的方法，也许它与经典力学和光学的传统更加相近，也或许是因为薛定谔更清楚地界定了他的目标。总之，我觉得波动力学是几何化的、诱人的，它让我心动，因此在本质上就更容易让人接受。

---

① 狄拉克 (Paul A. M. Dirac，1902—1984)，英国物理学家，1933年获得诺贝尔物理学奖。——译注

② 海森伯 (Werner Heisenberg，1901—1976)，德国物理学家，1932年获得诺贝尔物理学奖。——译注

③ 薛定谔 (Erwin Schrödinger，1887—1961)，奥地利物理学家，1933年获得诺贝尔物理学奖。——译注

【48a】“论核反应中的角分布和符合测量”后记

On the Angular Distribution in Nuclear Reactions and Coincidence Measurements

The Physical Review **74**, 764 (1948)

C. N. Yang

1942 年在西南联大为了获得学士学位，我必须写一篇毕业论文。我请吴大猷教授做我的论文导师。他拿出 1936 年的《现代物理评论》(*Review of Modern Physics*)，让我看其中罗森塔尔 (J. E. Rosenthal) 和墨菲(G. M. Murphy) 合写的文章。那是一篇评论群论和分子光谱的文章，于是我开始接触到物理学中的群论。回首往事，我深深感谢吴教授把我引入这一领域，因为它对我此后成长为一个物理学家有着深远的影响。

事实上，我在读高中的时候，就已经从我父亲那儿接触到群论的初步知识，他的书架上有一本斯派瑟 (A. Speiser) 写的群论，其中一些有限群 (finite group) 的美丽图表使我十分着迷。当我把罗森塔尔和墨菲的文章给

他看的时候，他建议我先看迪克森（L. E. Dickson）写的一本薄薄的《现代代数理论》（*Modern Algebraic Theories*），学习这本书里介绍的群表示理论[①]。迪克森是20世纪20年代我父亲在芝加哥大学数学系写论文时的导师，在这本书短短20页的一章里，他展现了特征标理论（theory of characters）的本质。这一章的优美和它所具有的巨大潜能，使我领略了群论难以置信的美和力。

在芝加哥，通过自学和从特勒[②]教授那里我学到了更多的群论。在把群论用到原子和分子物理学里，特勒具有一种直觉的能力。我用所学到的群论知识来努力理解为什么在**各种**角关联（angular correlation）计算中，会时常出现各项相消的令人惊奇的现象。【48a】就是我努力的结果。特勒还建议我用群论来处理相对论性β衰变事例。

特勒有一大群助手和研究生跟随他做研究。大约有两年的时间，我断断续续地也是这群人中的一个，学了不少物理。我还记得特勒要我做的第一个题目："Be^7和Be^7O晶体中K俘获寿命的差别"。他建议我用维格纳—赛兹（Wigner-Seitz）方法做晶体分析，用托马斯—费米—狄拉克（Thomas-Fermi-Dirac）方法估计电子密度。我非常高兴学习这些方法，也很高兴做那些数值计算。但是最后的结果涉及大项间的相消，我对这个结果的正确性不太自信，

① 群表示是群论中最基本的概念之一。群论的一个重要研究课题就是研究各种群的不等价（inequivalent）和不可约（irreducible）表示的性质。——译注

② 特勒（Edward Teller，1908—2003），匈牙利出生的美国科学家，后被誉为"美国氢弹之父"。——译注

所以这个工作一直没有发表。

论文【48a】后来成了我的博士论文。当我初到芝加哥大学时，因为我知道自己缺乏实验物理学方面的知识，所以我想写一篇实验物理学的论文。1946 年秋，我在阿里森（Samuel Allison）教授的实验室里工作。那时实验室里有阿格纽（H. M. Agnew）、阿尔戈（H. V. Argo）、阿诺德（W. R. Arnold）、法维尔（G. W. Farwell）、辛顿（J. Hinton）[①]、罗萨里奥（L. del Rosario）、威尔柯克斯（H. A. Wilcox），还有我。1946—1948 年的大部分时间，我们帮助阿里森建造一个 400KeV 的考克饶夫特—瓦尔顿（Cockcroft-Walton）加速器，并且用它做核物理实验。我要做的实验是分辨 He^5 的 $P_{1/2}$ 和 $P_{3/2}$ 态，在我实验进行得不太顺利时，特勒建议我放弃写一篇实验论文的计划，而愿意支持我把【48a】作为博士论文，他还表示愿意做我的论文导师。他的建议开始使我颇为沮丧，但是几天后我想通了。在接受了他的建议之后我如释重负。

在阿里森实验室的 20 个月，我从实验中学会了很多东西。我亲身体验到一个物理学家所经历的挫折。我们那个加速器似乎老有地方漏水。它脾气古怪，总是在接近黄昏时才开始正常运行。此外我发现，我们实验室有几位伙伴具有惊人的神奇第六感，能直觉地找出哪里漏水，出毛病时在计数电路的什么地方踢上几脚就行了。我和实验室里的研究生们相处得很好，因为我有时可以在理论物理上

① 辛顿后来来到中国，改名韩春。——译注

帮助他们。但是他们经常会开我的玩笑。阿里森特别喜欢的一个玩笑是："哪里炸得响，哪里就有杨。"(Where there is a bang, there is Yang.)

在我写【48a】的时候，场论里最令人兴奋的事情是重正化 (renormalization)。费米、特勒和文策尔 (Wentzel) 在1948年3月底，都去参加著名的坡科诺会议(Pocono Conference)。他们回来后，对于施温格[①]关于量子电动力学的报告印象非常深刻。费米和文策尔做了不少记录，从4月14日开始，他们三个人和五个研究生——杰弗里·丘(Geoffrey F. Chew)、哥德伯格(M. L. Goldberger)、罗森布鲁斯(M. N. Rosenbluth)、斯坦伯格 (J. Steinberger) 和我——每周几个上午聚在费米的办公室，试图弄懂施温格的方法。这样继续了几个星期。哥德伯格做了记录，共有49页。但是我们并没有取得什么实质性的进展。

① 施温格 (Julian S. Schwinger, 1918—1994)，美国物理学家，1965年获得诺贝尔物理学奖。——译注

【49a】“介子与核子和轻粒子的相互作用”后记

Interaction of Mesons with Nucleons and Light Particles

The Physical Review **75**, 905 (1949)

T. D. Lee, M. Rosenbluth and C. N. Yang

1948 年 6 月，我获得哲学博士学位。夏天我在安纳堡 (Ann Arbor) 度过，施温格和戴森[①]在那儿做了演讲。秋天我回到芝加哥时，被芝加哥大学物理系聘为讲师。我讲一门课，同时继续研究核物理和场论。1948 年末，李政道、罗森布鲁斯和我一起研究 μ-e 衰变和 μ 俘获，发现这些相互作用和 β 衰变的强度非常相近。

李政道在 1946 年秋天进入芝加哥大学。虽然此前在中国我们或许见过面，但是在芝加哥大学我们才真正彼此熟悉。我发现他异常聪明，学习勤奋。我们相处得很好，很快成为好朋友。我比他年龄大一些，做研究生也比他早

① 戴森 (Freeman J. Dyson, 1923—)，英国出生的美国物理学家，是杨振宁的同事兼好友。——译注

几年，所以在各方面都尽量帮助他。后来，费米成为他的论文导师，但是他总是向我请教和寻求帮助，所以在芝加哥的那几年我实际上成了他的物理老师。

μ 衰变和 μ 俘获的研究在 12 月中旬假期开始时完成，罗森布鲁斯和我乘长途公共汽车去纽约市。我对这次旅行记忆很深，首先，因为下雪我们在匹兹堡耽搁了好几个小时；其次，我在车上看报纸，得知中国共产党的军队已经包围了北京和天津。1949 年 1 月回到芝加哥，费米建议我们把这个研究结果写一篇短的文章拿去发表，这就是【49a】。另外还有几个研究小组在独立地研究同样的问题。[①]我们逐渐形成了一个基本认识：自然界有四种基本类型的相互作用，而且在弱相互作用中存在某种普适性。

① G. Puppi, *Il Nuovo Cimento* **5**, 505 (1948); O. Klein, *Nature* **161**, 897 (1948); J. Tiomno and J. A. Wheeler, *Review of Modern Physics* **21**, 153 (1949).

【49b】“介子是基本粒子吗？”后记

Are Mesons Elementary Particles?

The Physical Review **76**, 1739 (1949)

E. Fermi and C. N. Yang

1947 年发现了好几种介子，于是有了一个普遍认可的假说：所有的介子都是基本粒子。费米建议我们两人换一种思想来研究这个问题：也许 π 介子（π-meson）是一种复合粒子。那时还没有把它称为 π 粒子（pion）。1949 年夏天，我们一直研究这个问题，于是有了【49b】。

这是我与费米唯一的一篇合写的文章。他写文章有一个有趣的习惯，当他发现错误时，他就把错误的文字剪掉，然后贴上改过后的文字。结果有些页就变成很长一段纸卷。一旦他决定如何表达，就不会轻易再改变。这和我的习惯完全不同，我喜欢在选词上改来改去，直到今天仍然如此。

【50a】“一个粒子湮灭为两个光子的选择定则”后记

Selection Rules for the Dematerialization of a Particle into Two Photons

The Physical Review **77**, 242 (1950)

C. N. Yang

我在芝加哥大学的几年里，每周都有一个讨论会，有物理系和化学系的教师共同参加。形式很随意，有时也没有预定的发言人。讨论的内容很广泛，一个星期是用碳测定年代，另一个星期是推测元素的起源，等等。有时费米、特勒和尤里[①]在场，那气氛就永远不会枯燥乏味。1949 年的一次讨论会上，谈到有人观测到 π^0 介子可以蜕变为两个光子。特勒立即说，这一观测意味着 π^0 介子的自旋为零。他的理由过于简单，很快被大家否定。但是这个问题却引起了我的兴趣，第二天我就得到正确的选择定

① 尤里 (Harold C. Urey, 1893—1981)，美国物理化学家，1934 年获得诺贝尔化学奖。——译注

则，由此写出了【50a】。

论文的第一部分（第二节），很简单和直觉地就给出了全部的结论。为了证实相因子乘积的性质，必须做场论的严格讨论。第五节就是这个讨论。完成这一节的讨论对我以后工作很有好处，因为它加深了我对（8）、（16）、（19）和（A）这些公式的认识，它们不仅仅在形式上是正确的，而且在合适的情形下对实验也有价值。这些公式是场论中数学表述对称性概念的最核心部分。

论文【50a】是我在对称性原理方面写的第二篇论文。以后我的兴趣一直没有离开这个领域。

【50a】的续篇是〖50b〗，在研究是标量介子还是赝标量（pseudoscalar）介子衰变为两个光子时，〖50b〗抓住了它们偏振平面关联间的差异。

1949 年春，我向普林斯顿高等研究院申请博士后职位，请费米和特勒为我给当时的院长奥本海默[①]写介绍信，他们亲切地答应了。当我收到聘书的时候，费米告诫我只能在那儿待一年，不能再多，因为他觉得研究所的物理一般说来太抽象。事实上，费米、阿里森和特勒已经与芝加哥大学谈妥，1950 年把我返聘回来。

我离开芝加哥大学时深深感到，1946—1949 在芝加哥大学的三年半中，我受益良深。但是对普林斯顿高等研究院未来的一年，也怀着期盼和兴奋的心情。

---

① 奥本海默（Julius R. Oppenheimer，1904—1967），美国理论物理学家，曾经领导拉斯阿拉莫斯原子弹研制实验室，1947—1966 年担任普林斯顿高等研究院院长。——译注

尤其是那时泡利[①]和朝永振一郎[②]也预计来访，还有许多聪明的年轻理论物理学家如凯斯(K. Case)、戴森、约斯特(R. Jost)、卡普鲁斯 (R. Karplus)、克劳尔(N. Kroll) 、鲁丁格 (J. M. Luttinger) 和一些其他正在重正化理论中活跃的人。

1949 年中国发生了巨大的变化。5 月 25 日，国民党在上海溃败，我很担忧我的家庭，他们几个月以前搬到上海。犹豫了几天之后，我觉得我有权利与我的双亲接触，询问他们的情况。所以，我给他们发了电报，第二天我非常惊喜地收到回电——“全家平安”。这一经历鼓励我在此后二十多年中美疏远的年月里，一直和他们保持联系。回顾起来这种联系对多年后发生的事，有着决定性的影响，包括 1971 年中美两国刚有和解的迹象时我立即决定访问中国。

① 泡利 (Wolfgang Pauli，1900—1958)，生于奥地利，1946 年加入美国籍，1949 年加入瑞士籍，1945 年获得诺贝尔物理学奖。——译注

② 朝永振一郎 (Sinitiro Tomonaga，1906—1979)，日本物理学家，1965 年获得诺贝尔物理学奖。——译注

【50c】“自旋 1/2 场的反演性质和一个普适费米型相互作用”后记

Reflection Properties of Spin 1/2 Fields and a Universal Fermi-Type Interaction

The Physical Review **79**, 495 (1950)

C. N. Yang and J. Tiomno

在一次与怀特曼 (A. Wightman) 的讨论后，引起我和提奥穆诺 (J. Tiomno) 提出一个问题：狄拉克粒子的宇称算符 (parity operator) 是否有相位因子的问题。于是我们写出【50c】。后来发现论文中提出的方案不能描述实验中的发现。但是这一研究的经历，在 1956 年派上了用场。

费米对【50c】很有兴趣。在 1951 年芝加哥的一次会议中，他专门安排了一次对这篇论文的讨论。会议纪要里记录了他提出的一个典型问题：“费米问，在实验里如何区分这些不同类型的粒子。”①费米对理论构建时强调实

① *Proceedings of the International Conference on Nuclear Physics and the Physics of Elementary Particles*, eds. J. Orear, A. H. Rosenfeld and R. A. Schluter (Mimeographed notes, University of Chicago, 1951), p. 109.

验意义，是他风格中的一个要素。这个风格的另一个例证是樱井纯[①]讲的一个发生在1953—1954年间的故事：

> 当盖尔曼[②]提出奇异量子数(strangeness)的方案时，费米对他说："我不会相信你的方案，除非你能够把K^0和$\overline{K}^0$区分开。"这句话激励了盖尔曼和派斯[③]，他们的继续研究最终导致他们提出了在基本粒子物理学中空前的、最有深远影响的思想之一。[④]

---

① 樱井纯 (J. J. Sakurai，1933—1982)，出生在日本的美国物理学家，1958—1970年在芝加哥大学任教。——译注

② 盖尔曼 (Murray Gell-Mann，1929—)，美国物理学家，1969年获得诺贝尔物理学奖。——译注

③ 派斯 (Abraham Pais，1918—2002)，荷兰出生的美国物理学家，他的著作《上帝是微妙的——爱因斯坦传》、《走向微观世界》(*Inward Bound*)、《玻尔传》和《奥本海默传》脍炙人口，广为流传。——译注

④ J. J. Sakurai，*Invariance Principle and Elementary Particles* (Princeton：Princeton University Press，1964)，p. 269.

【50d】“海森伯表象中的 S 矩阵”后记

The S-Matrix in the Heisenberg Representation

The Physical Review **79**, 972 (1950)

C. N. Yang and David Feldman

论文【50d】是我与费尔德曼 (David Feldman) 合作研究海森伯表象中 S 矩阵的成果，这个表象能最直接做出物理诠释。我们做的主要工作是直接计算海森伯表象里的 S 矩阵，虽然我们的形式体系自然而且漂亮，但是却没有获得成功。这个努力告诉我们，每一个费曼图 (Feynman diagram) 可以把我们形式体系所得出的许多项，简洁而利索地归纳为与费曼函数 D_F 和 S_F 有关的一个单独项。但在高阶过程里，我们没能直接证明这一点。

泡利对我们的研究很有兴趣。有些博士后同事们警告，泡利有了兴趣可能意味着他将来会找我们麻烦。我们懂得他们的意思，一旦泡利开始三天两头来找我们，而我们又没有进展的话，他就会变得不耐烦。我后来学会了如何对付泡利：你绝对不能怕他。就这样，我和泡利的关系一直很好。

1950 年春，奥本海默为我提供一个在普林斯顿高等研究院五年的聘书。我还有几个其他机会，但是最让我拿不定主意的是到底回不回芝加哥。我还记得费米的劝告并充满感激，一个人不能在高等研究院待得太久，这里的物理太抽象。但是我最后还是决定留在研究院，因为那时我正在与杜致礼谈恋爱，她那时在纽约市念书，离普林斯顿仅有一小时的车程。

1944—1945 年致礼在昆明一所高中念书的时候，是我教的一个班的学生。那时我们并不十分熟悉。1949 年圣诞节假日的一天，我与鲁丁格在普林斯顿威瑟斯彭街(Witherspoon St.) 的茶园饭店吃饭，偶然见到了她。八个月之后，我们于 1950 年 8 月 26 日结婚。

【52a】“二维伊辛模型中的自发磁化”后记

The Spontaneous Magnetization of a Two-Dimensional Ising Model

The Physical Review **85**, 808 (1952)

C. N. Yang

听从费米的劝告，我尽力对物理学各个领域保持兴趣。1950—1951 年我研究的课题各式各样，其中有两个课题对我今后很有帮助：一是时间反演的不变性；一是 β 衰变理论，这一研究从我的博士论文（参见【48a】）开始，一直兴趣不减。

1951 年春天，奥本海默把他刚刚收到的施温格的一篇论文的预印本给我看，论文标题是《量子场论 I》。文中引入一种时间反演的运算，后来称之为“施温格时间反演”(Schwinger time reversal)。在研究了这篇文章以后，我写了一封信给施温格。信里除了其他内容以外，我还议论了：把电荷共轭变换与时间反演变换结合起来是不是一个**任意**的选择。现在回想起来，因为那时我没有研究**所有**局

域场论的不变性，结果失去发现 CPT 定理[①]的机会。

1950 年的夏天，β-γ 关联实验的结果[②]使人们开始讨论库仑场里有关的关联效应。10 月，默兹巴彻尔（E. Merzbacher）和我比较深入地研究了这个问题。我们没有得到任何让人激动的结果，但是却使我们彻底熟悉了罗斯（M. E. Rose）发表在《物理评论》**51**，484（1937）上的一篇文章。这一经历在后来研究宇称不守恒中的库仑效应时，十分有益。

1951 年初，我开始深入研究伊辛模型。伊辛模型在统计力学里是一个很著名的铁磁模型。在我写硕士论文时就对这个模型十分熟悉。1944 年，昂萨格[③]很意外地得到二维伊辛模型配分函数的精确解。这可真是一件了不起的成果。1947 年春，我在芝加哥的时候就研究过他的论文，但是我不懂他那非常复杂的计算方法，因为其中包含有许多代数技巧。1949 年 11 月初的一天，在普林斯顿大学对面帕尔马广场的往返于研究院和大学之间的公交车上，鲁丁格和我偶然间谈起伊辛模型。鲁丁格说布鲁尼娅·考夫曼（Bruria Kauffman）简化了昂萨格的方法，她通过 2n 个反对易厄米矩阵（anti-commuting hermitian matrix）系统的表示来研究昂萨格的解。我十分熟悉这些表示，所以很快就弄懂了昂萨格—考夫曼方

---

① 在局域场论中，物理定律对正反粒子变换（C）、空间反演（P）和时间反演（T）的协同变换保持不变。这被称为 CPT 定理。——译注

② 参见 J. M. Cork, W. C. Routledge, A. E. Stoddard, C. E. Branyan and J. M. LeBlanc, *The Physical Review* **79**, 938 (1950); B. N. Sorensen, B. M. Dale and J. D. Kurbatove, *The Physical Review* **79**, 1007 (1950)。

③ 昂萨格（Lars Onsager，1903—1976），挪威出生的美国物理学家，1968 年获得诺贝尔化学奖。——译注

法的要点。到了研究院以后，我梳理出这个方法的关键步骤，并且为最终理解了昂萨格的解而十分高兴。当天下午，我向鲁丁格提议我们合作，把昂萨格—考夫曼的方法推广到三角点阵中。那时他正在研究许多其他课题，所以不想再涉及另一个课题。我想了一会儿也放弃了这个念头，觉得没有足够的挑战性。

但是我并没有放弃伊辛模型，不断地继续思考着它。我了解到昂萨格和考夫曼得到了比配分函数多得多的信息，配分函数决定于转移矩阵（transfer matrix）的最大本征值。事实上，他们的方法可以给出**所有**本征值和本征矢的信息。沿着这个方向研究下去，在 1951 年 1 月我得到一个结论：自发磁化取决于有最大本征值的**两个**本征矢之间的非对角矩阵元素。我觉得，利用所有隐藏在昂萨格—考夫曼方法里的一切信息，我应该可以估算出这个矩阵元素。

因此我做了一个很长的计算，它是我一生最长的一个计算。计算曲曲折折，到处是障碍，要用许多策略和技巧才能解决。常常是苦思若干天，忽然又发现新的技巧，出现新的路径。麻烦的是我很快又觉得自己已经陷入迷宫，不能确定自己是否比开始更接近目标。这种战略上的回顾，非常令人沮丧，使我几次都想放弃，但是每一次又被拉回来，这常常是因为有了新的技巧使前景突然明朗，即使仅仅是部分前景明朗。

最后经过六个月断断续续的工作，所有的片段都对在一起，产生了奇迹式的相消，所有的片段都突然融和

为一个整体。我惊讶地盯着那惊人简单的最后结果——【52a】里的方程 (96)。因为在我的计算中有一些极限过程不很严格，所以我对这个结果还不十分自信，就把方程式参数 x 的幂按级数展开到 x^{12}，然后与范德瓦尔登 (Van der Waerden) 以及阿斯金 (Ashkin) 和兰姆[①]的展开式相比较，他们曾经一直精确地展开到 x^{12}。比较结果完全相符。这是 1951 年 6 月，是我第一个孩子富兰克林[②]出生的前一周。

1952 年，张承修把【52a】推广到矩形伊辛点阵。[③]他的论文可能包含有关临界指数“普适性”最早的猜想。

论文【52a】的结论与昂萨格长程序 (long range order, LRO) 计算相符。他曾经在几年以前的一次会议上宣布过这一结果[④]，我想他并没有发表过。1970 年，他谈过这个方法的一些有趣的事情。[⑤]

伊辛模型是一个不断使人惊讶的课题。在物理学里，20 世纪 50 年代的一些人认为它只是一个有趣的数学游戏，不值得认真对待。然而到了 60 年代情况发生了戏剧性的变化。人们发现伊辛模型不仅仅在研究铁磁性中非常重要，而且在研究许多其他相变时也很重要 (参见【64e】)。

---

① 兰姆 (Willis E. Lamb, 1913—2008)，美国物理学家，1955 年获得诺贝尔物理学奖。——译注

② 即杨振宁的长子杨光诺。——译注

③ C. H. Chang, *The Physical Review* **88**, 1422 (1952).

④ L. Onsager, *Il Nuovo Cimento* **6**, Suppl. 261 (1949).

⑤ L. Onsager, in *Critical Phenomena in Alloys, Magnets, and Superconductors*, eds. R. E. Mills, E. Ascher and R. I. Jaffee (New York: McGraw-Hill, 1971), p. 3.

到70年代逐渐清楚，这个模型与场论有非常密切的关系。在数学方面，发现了好几种巧妙的新方法来解决问题，并且得到多点关联函数。[①]巴克斯特[②]发现八顶点模型的解，包括把伊辛模型作为一个极限的情形。

1965年3月，费希尔（M. Fisher）、卡克（M. Kac）、昂萨格和我被马库斯（W. C. de Marcus）邀请到肯塔基大学做有关统计力学的演讲。（插一句，这里发生过一个对我们所有人而言都十分有趣的经历，在过分做作的卡纳汉酒店里，我们每人都被任命为肯德基上校。[③]）在我们离开莱克星顿时，我和昂萨格在机场候机几小时。我问昂萨格，他在1944年的论文里怎么想出那些复杂的代数计算。他回答说，在战争期间他有很多时间，于是他试着把转移矩阵对角化。这个想法曾经被蒙特茹尔（E. Montroll）、克拉默斯（H. A. Kramers）和万尼尔（G. H. Wannier）讨论过。昂萨格从$2\times\infty$点阵开始，然后接着做$3\times\infty$和$4\times\infty$的点阵；做到$5\times\infty$的点阵时，转移矩阵的规模到了32×32的点阵。这些矩阵已经相当大，但是由于有处理规模小的矩阵的经验，所以经过一些时间他就得到所有32个本征值。接着他研究$6\times\infty$的情形，最终把64×64矩阵成功地对角化了，而且发现所有本征值的形式是：

---

① 参见 T. T. Wu, B. M. McCoy, C. A. Tracy and E. Barouch, *Physical Review* **D13**, 316 (1976)。

② 巴克斯特（Rodney J. Baxster, 1940— ），澳大利亚物理学家，因为与杨振宁各自独立发现杨—巴克斯特方程，成为著名物理学家。——译注

③ 肯德基快餐连锁店的创始人桑德斯（C. H. Sanders）有过上校头衔。肯塔基和肯德基的英文均为Kentucky，只不过中译名不同。——译注

$$\exp(\pm\gamma_1 \pm\gamma_2 \pm\gamma_3 \pm\gamma_4 \pm\gamma_5 \pm\gamma_6)$$

[这是真实情况的简化说法，精确的陈述请见 L. Onsager, *Physical Review* **65**, 117 (1944) 里的方程 (97) 和 (98)。从稍微较复杂的点阵中找到的本征值规则，也许可以解释，为什么没有在较简单的点阵中早一些找到。]由此得到一个概念，这里面代数是一个积代数(product algebra)，这也是他在论文中使用的运算技巧。

【52b】“状态方程和相变的统计理论（Ⅰ）凝聚理论”后记

Statistical Theory of Equations of State and Phase Transitions

(Ⅰ) Theory of Condensation

The Physical Review **87**, 404 (1952)

C. N. Yang and T. D. Lee

【52c】“状态方程和相变的统计理论（Ⅱ）格气和伊辛模型”后记

Statistical Theory of Equations of State and Phase Transitions

(Ⅱ) Lattice Gas and Ising Model

The Physical Review **87**, 410 (1952)

T. D. Lee and C. N. Yang

1951 年冬天，李政道来到高等研究院，我们恢复了合作。我们研究的第一个问题是二维伊辛模型的磁化率。如【52a】后记里所说，昂萨格—考夫曼的方法给出了转移矩阵**所有**本征值的信息。我曾经用其中的一些信息计算过磁化强度，因此我想也许我们可以利用更多的信息，以及比【52a】中方程（14）高一阶的二阶微扰法计算磁化强度，结果得到一个比以前计算磁化强度的困难多得多的公式，难度大约高一个数量级吧。几个星期之后，我们放弃这一研究，转向研究格气，以后又转向梅耶（J. Meyer）的气—液相变理论，最后转向单位圆定理（unit-circle theorem）。这一研究的成果就是论文【52b】和【52c】。

“格气”这一概念在许多作者心中多多少少都有过（参见【52c】的参考文献 2）。我们则将它充实和精细化，因为论文【52a】的结果使我们能够建立一个简单二维格气的精确二相区。［我们对“常直径定律”（law of constant diameter）非常满意，它类似于由实验得到的“直线直径定律”（law of rectilinear diameter）。］p-v 图上的二相区由平直部分构成，两边与液相和气相相连。由此我们很自然地会提出一个问题：为什么梅耶凝聚理论给出的等温线**直到**液相还一直保持平直，而不在液相变为曲线。

梅耶的凝聚理论是平衡态统计力学里的一个里程碑，因为它打破了研究相变的平均场（mean field）的传统方

法。在1937年11月26日纪念范德瓦尔斯[①]诞辰百年的会上，它一经提出立即引起人们普遍的关注（参见【71b】）。梅耶的理论发表后，梅耶自己和卡恩（B. Kahn）、乌伦贝克（G. E. Uhlenbeck）等人又接着写了很多论文。20世纪40年代我在昆明听过王竹溪教授有关这方面研究进展的系列演讲，从此我对这个课题就有了极大的兴趣。

因为我们非常熟悉格气模型，李和我就试图把梅耶理论应用到格气模型中来。由此我们研究了无限容积情形下计算巨配分函数（grand partition function）的极限过程。论文【52b】就是这一研究的结果。它弄清了极限过程，也弄清了一条等温曲线不同部分与极限过程之间的关系。

1952年，在【52b】发表之后，爱因斯坦让他当时的助手布鲁尼娅·考夫曼告诉我，他想见我。我随她来到爱因斯坦的办公室，他表示对我们的论文很有兴趣。这并不奇怪，因为热力学和统计力学一直是他非常感兴趣的领域。不幸的是，虽然这次谈话是我与他谈得最长的一次，但是因为他的话我有一些听不懂，因此收获不大。他的声音很柔和，但是与一位我一直慕名的伟大的物理学家距离这么近，让我十分紧张和不安，以至于很难集中精力听他讲了些什么。

回到1951年秋，李和我为了进一步熟悉格气，我们先开始计算2，3，4，5这些小格点的点阵配分函数。我们

① 范德瓦尔斯（Johannes D. Van der Waals，1837—1923），荷兰物理学家，1910年获得诺贝尔物理学奖。——译注

惊讶地发现逸度（fugacity）中多项式的配分函数的根，由于吸引的作用居然都在单位圆上。这一现象使我们非常入迷。我们很快猜想，任何具有相互吸引相互作用的格点，不论大小如何，这都是一个普遍的定理。这个定理后来被称为单位圆定理，在【52c】中它是讨论格气热力学的主要工具。

我们试图证明这一猜想，这还真不是一件容易事。1969 年 9 月 30 日，我在一封给卡克的信里描述过当时的情形，那时卡克正在编辑乔治·波利亚（George Polya）《选集》。我从信里录下一段：

> 于是，我们在耦合强度变化时没有重根（double roots）的基础上，做了一个物理学家的“证明”。很快我们就认识到这个证明是不正确的。我想，此后我们至少有六个星期在徒劳地想证明这一猜想。我还记得我们查阅哈代（Hardy）的书《不等式》（*Inequalities*），以及我们与冯·诺伊曼（Von Neumann）和瑟尔伯格（Selberg）的谈话。当然，我们也一直与您保持联系[我还愉快地记得您把温特勒（Wintner）的书介绍给我们看]，对此我们在论文里表示了感谢。大约在 12 月初，我记得您曾经向我们证明过一个特例，即当所有耦合都存在并且强度都相等时，我们的猜想是对的。这一证明您现在写进与波利亚选集有关研究里。这个证明很好，但是我们在一般性的问题上仍然没有进展。后来大约在 12 月 20 日的一个晚上，

我在家里工作时突然想到在使 z_1, z_2, z_3……成为独立变量，并研究它们相对于单位圆的运动，我们可以通过一个归纳步骤，利用与您的论证相似的推理得到完整的证明。一旦有了这一想法，只需用几分钟就把一切细节有效地归纳到了一起。

第二天早晨，我开车带李去买几棵圣诞树，在路上我把我的证明告诉李。后来我们去了研究院，我记得在黑板上我把这一证明讲给您听。

这一切我记得很清楚，因为我对这个问题的猜想和证明感到很骄傲。这虽然不是一个了不起的贡献，但是我珍爱它，认为它是块小小的宝石。①

有趣的是，后来单位圆定理被推广到另外一些很有趣的相互作用上。②

1952 年年初，李和我想到，利用单位圆定理可以算出（或者猜出）二维伊辛模型里单位圆上根的分布函数 $g(\theta)$（参见【52c】第五节）。我们以为，知道了自由能和磁化强度的精确表达式，对 $g(\theta)$ 函数的结构就有了深入的掌握。不幸的是，由于掌握得不够深入，直到今天 $g(\theta)$ 函数的精确形式仍然不知道。[$g(\theta)$ 函数的精确形

① 载 *George Polya: Collected Papers*, Vol. 2, ed. R. P. Boas (Cambridge: MIT Press, 1974), p. 426。

② 参见 M. Suzuki, *Progress of Theoretical Physics* **40**, 1216 (1968); T. Asano, *Progress of Theoretical Physics* **40**, 1328 (1968); M. Suzuki and M. E. Fischer, *Journal of Mathematical Physics* **12**, 235 (1971)。

式，现在已经可以变换为磁场中伊辛模型精确的配分函数。]

但是这个方向的努力，得到了两个有用的结果。1952年2月末的一次讨论会上，我得知卡克和沃德（J. Ward）提出了一个新的、巧妙的组合法（combinatorial method），解决没有磁场的伊辛模型的问题。[①]在会上我突然想到，只需把卡克—沃德的方法稍加修改，就可以得到一个有虚磁场 $H=i\pi/2$ 的伊辛模型的配分函数。这需要计算一个 8×8 的矩阵。这个计算李和我只用几天就完成了，得到【52c】里的方程（48），即具有磁场 $H=i\pi/2$ 的自由能。

把这一结果与昂萨格在 $H=0$ 的情形下同一数量的已知结果相比较，除了符号的变化以及与此有关的变化以外，李和我发现它们之间十分相似。看来，把 $H=0$ 变成 $H=i\pi/2$ 似乎无关紧要。于是我们在 $H=0$ 时对磁化强度做相近的很小改变，以此来检验它们与 $H=i\pi/2$ 时磁化强度级数展开的前几项是否一致。这是一个很好的方法，我们很快就得到【52c】的方程（49）。这个方程我们知道是正确的，但是没有成功地证明这一点。直到1967年，它才被麦克科伊（B. M. McCoy）和吴大峻证明。[②]

① M. Kac and J. Ward, *The Physical Review* **88**, 1332 (1952).

② B. M. McCoy and T. T. Wu, *The Physical Review* **155**, 438 (1967).

【52d】“1952 年 5 月 5 日给费米的信”后记

Letter to E. Fermi dated May 5, 1952

Unpublished

C. N. Yang

【52d】是 1952 年春夏，我在访问西雅图华盛顿大学时写的。

1952—1953 学年我的研究没有取得什么进展。我在强耦合理论（strong coupling theory）和由库朗（E. Courant）、利文斯顿（S. Livingston）和斯尼德（H. Snyder）发明的加速器的强聚焦原理上，略微花了点心思。在 π 介子—核子散射和宇宙射线实验方面，我也一直保持着兴趣。但是这些都没有取得任何有用的结果。那年我做得最好的事情也许是对德布尔（J. de Boer）有关液氦的演讲有了兴趣，对我来说这是一个新的领域。幸运的是我对这年成就平平并没有过分不安，信心还是十足。

1952 年 12 月中旬，我接到布鲁克海文国家实验室（Brookhaven National Laboratory，BNL）加速器 Cosmotron 部主任柯林斯（G. B. Collins）的一封信，邀请我在1953—1954

学年到这个实验室访问一年。在1952年12月18—20日第三届罗彻斯特会议（Rochester Conference）期间，瑟伯(R. Serber）给我介绍许多有关布鲁克海文国家实验室的情形，还有柯林斯邀请的事。最后我决定接受这一邀请。

1953年的夏天，我搬到长岛的布鲁克海文，这儿有当时世界上最大的加速器，最高能量可达3GeV。它所产生的π介子和各种“奇异粒子”(strange particle)，使那儿的许多实验小组不断获得大量有趣的结果。我每隔几周就访问这些实验小组，以熟悉他们的实验。这里的一些感受与普林斯顿的物理学比较，有很大的不同，我认识到他们各有自己的优势。

到了夏天，有许多访问者来到布鲁克海文，物理学的讨论，海边的散步，各种社交活动，热闹了一整个夏天。秋天来了，访问者纷纷离开。我和妻儿在一个由老兵营改建的公寓里，过起了安静的日子。(这个实验室就建在原来的阿普顿军营里。）实验室四周围绕着树林，我们常常到树林里散步。周末我们开车到长岛各处观光。我逐渐喜欢上蒙塔乌克港（Montauk Pt.）、大西洋海滩、野林公园(Wildwood Park)，以及布鲁克海文附近一些朴实的岛上居民。一个下雪的星期天，我们开车沿着北岸漫无目的地行驶，来到一个美丽迷人的小村子。我们非常喜欢那里购物中心周边的氛围，我查了一下地图，找到它的地名——石溪（Stony Brook)。我们当时没有想到，1965年我们第二次到石溪时，这儿便成了我们的新家。

1953—1954年布鲁克海文做的许多实验，大多是关

于多重介子的产生。我和克里斯蒂安（R. Christian）试图计算不同多重性相空间的体积，我们很快就明白这需要计算机。那时 IBM 在纽约的总部第一台 701 计算机——IBM 所有计算机的始祖——已经开始运行。通过瑟伯的帮助，我们被安排在计算机上工作了几分钟。克里斯蒂安会编程，我们编了一个简单的程序。那时还没有公式翻译程序语言（FORTRAN），所以用的还是机器语言，有成千上万条指令。我们必须不断地估计数值的大小，并左右移动记录器中的数据以免失去有用的数字。克里斯蒂安是编程的高手，我开始觉得这很有意思，但是当我们开始调试的时候，我才感到沮丧，因为在我们的指令里有很多由于不小心而导致的错误。我逐渐失去了兴趣，但是克里斯蒂安没有罢手，终于完成了我们的程序。几年过去了，当我知道 FORTRAN 语言后，我不禁责怪自己没有想到使用程序语言，这种程序语言我是完全可以想出来的——1952 年，我与戈德斯坦（H. Goldstine）曾经首次想到在普林斯顿使用计算机的可能性（那是 JOHNNIAC 和 MANIAC 的上一代），然后就是 1954 年上面描述的经历。

【54a】“在与核弹性散射中的核子极化”后记

Polarization of Nucleons Elastically Scattered from Nuclei

The Physical Review **94**, 1073 (1954)

G. A. Snow, R. M. Sternheimer and C. N. Yang

1953—1954 年里，奥克斯利 (C. L. Oxley) 和他的合作者们利用罗彻斯特的回旋加速器，发现原子核靶散射出来的质子有明显的极化。因为宇称守恒，其偏振平面垂直于散射平面。[①]在布鲁克海文，斯诺 (G. A. Snow)、斯特恩海默 (R. M. Sternheimer) 和我对这种现象产生了兴趣。我们做了一个模型进行计算，其结果写在论文【54a】里。这次的经验在我后来写论文【56h】和【66b】时，派上了用场。

① 这一点在沃尔芬斯坦 (L. Wolfenstein) 的文章里已经有暗示，参见 *The Physical Review* **75**, 1664 (1949)。

【54b】“同位旋守恒和一种广义规范不变性”后记

Isotopic Spin Conversation and a Generalized Gauge Invariance

The Physical Review **95**, 631 (1954)

C. N. Yang and R. L. Mills

【54c】“同位旋守恒和同位旋规范不变性”后记

Conversation of Isotopic Spin and Isotopic Gauge Invariance

The Physical Review **96**, 191 (1954)

C. N. Yang and R. L. Mills

当我还在昆明和芝加哥读研究生的时候，我就认

真研究过泡利关于场论的综述性文章。[1]我对电荷守恒与理论在相位变化下的不变性有关联的想法，印象非常深刻。后来我发现这一想法最早是由韦尔（H. Weyl）提出的。[2]我对规范不变性**决定**所有电磁相互作用这一事实，印象更是深刻。[3]在芝加哥的时候，我试图把这一想法推广到同位旋相互作用里，采用的是后来写在论文【54c】里方程(1)和(2)的方法。有了这两个方程，就很容易推出方程(3)。然后我试图利用下式定义场强 $F_{\mu\nu}$：

$$F_{\mu\nu}=\frac{\partial B_{\mu}}{\partial x_{\nu}}-\frac{\partial B_{\nu}}{\partial x_{\mu}},$$

这个方程是电磁理论“自然的”推广。结果我陷入困境，不得不放弃。但是基本的动机依然十分吸引我，以后几年我又几次回到这一研究，但总是在同一个地方卡住了。当然，这是所有研究者常遇到的事：尽管某些想法很巧妙，但就是走不通。很多这样的想法就此被放弃或者搁置一边。但是也有人坚持不懈，甚至走火入魔。有时候走火入魔最终会得到好的结果。

随着更多介子的被发现，以及各种相互作用的深入研究，我觉得越来越有必要为这些相互作用确定一个**原则**。[4]所以在布鲁克海文时，我又一次回到推广规范变化

---

① W. Pauli, *Handbuch der Physik*, 2nd ed. (Geiger and Scheel, 1933) Vol. 24 (1), p. 83; W. Pauli, *Reviews of Modern Physics* **13**, 203 (1941).

② H. Weyl, *Zeitschrift für Physik* **56**, 330 (1929). 也参见 Pauli, *Handbuch der Physik*, op. cit., p. 111, footnote。

③ 规范不变性是一个误称。见【77e】.

④ 参见例如 R. E. Marshak, *Meson Physics* (New York: McGraw-Hill, 1952)。

这一想法。我的办公室同事米尔斯（R. L. Mills）是哥伦比亚大学克劳尔的博士生，即将毕业。我们一起研究这个问题，最后得到论文【54c】。我们还为1954年4月美国物理学会在华盛顿召开的会议写了一份摘要，它就是【54b】。两篇论文各自强调了不同的动因。

文章的主要部分并没有花很多时间，在1954年2月就基本上完成了。但规范粒子的质量是多少，我们却无法得出结论。我们试着用量纲分析，得出结论是：在一个纯规范理论中，根本就没有具有质量量纲的物理量，所以规范粒子必然没有质量。但是我们很快就放弃了这种想法。

奥本海默邀请我在2月回普林斯顿几天，在讨论会上报告我们的研究。泡利这一年也正好在普林斯顿，他对于对称性和相互作用非常有兴趣。（他把他的一些想法用德语写了提纲，这份提纲给了派斯一份。后来戴森把它译成英文。提纲开始写道："写于1953年7月22—25日，为的是想看看它今后究竟会如何发展。"提纲的题目是"介子—核子相互作用和微分几何"。）在讨论会上，我刚刚在黑板上写下

$$(\partial_\mu - i\epsilon B_\mu)\psi,$$

泡利就问："场 B_μ 的质量是多少？"我回答说我们不知道。然后我接着讲，但是泡利很快又问同样的问题。我大概是这样说的：这是一个很复杂的问题，我们仔细研究过，但是没有得出确定的结论。我至今还记得他的回答是："这不是一个充分的辩答之词。"我非常吃惊，在几分钟的犹豫之后，我坐下来了。当时情况显得十分尴尬。最

后奥本海默说："让弗兰克[1]继续讲下去。"于是我接着讲下去，此后泡利没有再提任何问题。

我不记得讲完以后还发生什么事情。但是第二天我接到一张便条，上面写的是：

亲爱的杨：

很遗憾，你让我几乎不可能在会后与你讨论。

祝好。

诚挚的

泡利

2月24日

后来我去见泡利，他说我应该把薛定谔的论文找来看一看，那里有相似的数学方法。[2]我回到布鲁克海文以后，设法找到薛定谔的文章，它讨论的是在引力场里一个狄拉克电子的 γ_μ 矩阵时空相关的表示。论文里的方程一方面与黎曼几何里的方程有关，一方面又与我和米尔斯正在努力研究的方程相似。多年以后我才明白，所有这些都与纤维丛（fibre boundle）有关，都是数学理论纤维丛联络（connections）的不同例子（参见【74c】的后记）。

回到布鲁克海文以后，斯诺、斯特恩海默和我对于在核子—核散射中新发现的极化现象很感兴趣，由此写出

① 弗兰克（Frank）是杨振宁的英文名字。——译注

② E. Schrödinger, *Sitzungsberichte der Preussischen* (Akademie der Wissenschaften, 1932), p. 105.

【54a】。以后我又回到规范场研究。米尔斯和我想消除一些附加条件。我们试图像费米在电磁理论中用过的方法那样，把纵向场分离出来。[①]但是计算太复杂，没有成功。

我们是否应该就规范场问题写一篇文章？ 在我们心里，这从来就不是一个真正的问题。这个思想很美，当然应该发表。但是规范场粒子的质量怎么办？ 我们没有肯定的结论，失败的经验告诉我们，非阿贝尔情形比电磁理论复杂很多。从物理学的观点看，我们倾向于相信：带电的规范粒子不可能没有质量。论文【54c】的最后一节，我们虽然没有直说，但是表明了我们的倾向。这一节是全文最难写的。

泡利是第一位对我们的论文表示有强烈兴趣的人。这不奇怪，因为他熟悉薛定谔的工作[②]，而且他自己曾经试图把相互作用和几何学连接起来，正如1953年7月22—25日写给派斯的提纲里所说的那样。我常常很想知道：如果泡利在20世纪60和70年代还活着的话，他对这个问题会有什么想法。

1954年2月，我在普林斯顿见到奥本海默时，他和以前完全一样，没有任何异象。两个月以后，我从《纽约时报》上得知他遇到了麻烦。在普林斯顿时，我知道他正在起草一份给原子能委员会的尼科尔斯（Nichols）将军的长信。

---

① 参见 E. Fermi, *Review of Modern Physics* **4**, 105 (1932)。

② Schrödinger, op. cit.

【55b】“重粒子守恒和广义规范变换”后记

Conservation of Heavy Particles and Generalized Gauge Transformations

The Physical Review **98**, 1501 (1955)

T. D. Lee and C. N. Yang

1954 年夏天我在安娜堡度过，秋天回到普林斯顿。在 1954—1955 年尝试过的一些想法中，有几个是不同版本的规范场理论。【55b】是其中一个的结果。这篇文章的讨论与当今质子衰变的思想有直接的关联。

另一种想法，是用某些自旋场中的二次表达式替代【54c】中的 B_μ，但是没有发现有用的结果。

我们还花了不少的时间考虑不用复数而用四元数来建立一个场论，这一想法是

$$\Psi = \psi_n + j\psi_p, \tag{1}$$

式中 ψ_p 和 ψ_n 指的是通常的质子和中子的波函数，是复数，j 和 k，i 一样是四元数代数里的虚单位；Ψ 也因此被视为一个四元数场。如果 α 和 β 是两个复数并满足

$$\alpha\alpha^* + \beta\beta^* = 1,$$

那么

$$(\alpha+\mathrm{j}\beta)\Psi=(\alpha\psi_{\mathrm{n}}-\beta^{*}\psi_{\mathrm{p}})+\mathrm{j}(\beta\psi_{\mathrm{n}}+\alpha^{*}\psi_{\mathrm{p}})$$

如果我们把它写为

$$\psi'_{\mathrm{n}}+\mathrm{j}\psi'_{\mathrm{p}},$$

则

$$\psi'_{\mathrm{n}}=\alpha\psi_{\mathrm{n}}-\beta^{*}\psi_{\mathrm{p}}$$

和

$$\psi'_{\mathrm{p}}=\beta\psi_{\mathrm{n}}+\alpha^{*}\psi_{\mathrm{p}},$$

这是一个 SU_2 转动。于是，**用一个绝对值为一的四元数，$\alpha+\mathrm{j}\beta$，从左面乘 Ψ，就生成一个 SU_2 转动**。此外，如果 ξ 是一个满足 $\xi\xi^{*}=1$ 的复数，很明显就有

$$\xi^{-1}\Psi\xi=\psi_{\mathrm{n}}+\mathrm{j}(\xi^{2}\psi_{\mathrm{p}})$$

于是 **$\xi^{-1}\Psi\xi$ 生成一个电磁规范变换**。换句话说，在四元数语言里，ψ_{n} 和 ψ_{p} 的两个最重要的变换，都可以非常简单地用**一个单一的四元数场 Ψ** 表达出来。

在通常的场论里，一个复数场描写**一对**荷电粒子。在四元数场论里，一个四元数场 (quaternion field) 描写**四个**粒子。复代数里的相位与电磁学有关。在四元数代数里，相位可能与同位旋规范场有关。

如果四元数是场论的基本基 (fundamental basis)，那么在普通场论里用复数代数理解电荷共轭对称性的方法，就可以很容易在四元数场论里用四元数代数理解**同位旋对称性的存在**。这一点可以参见我 1957 年 4 月在第七届罗彻斯特会议第四单元上对提奥穆诺所做报告的评语，载《第七届罗彻斯特会议报告》(Wiley-Interscience，1957)。

也可以参见【59c】和【72c】。

1954—1955 年，我们想构建一个四元数理论没有成功，当时我们只不过把已有的理论用四元数重写了一次。后来几年的尝试也没有取得成功，但是我一直相信这个基本方向是正确的。因为 SU_2 对称的存在一定有一个解释：大自然绝对不会在基本层次上做一些随意的事情，这一点已经被我们多次认识到。[①]而且，解释极可能就在四元数代数里：它的对称正是 SU_2。除此以外，四元数代数是一个**美的**结构。是的，它是不对易的。但是我们已经知道，大自然选择了不对易代数作为量子力学的语言，那么在建构宇宙遇到复杂的对称性时，她有什么理由拒绝使用这可能仅有的另一个美妙的代数呢？

如果我说的这些都有道理，那么困难在哪儿？我不知道。很明显，还缺乏一些关键性的思想。难道是因为我们对四元数变量的函数还不够了解？有可能。是因为时空自身就应该用四元数变量来描述？也有可能。也许原因还更加简单？

四元数是哈密尔顿（W. R. Hamilton）在 1843 年发现的，他被它深刻的美所慑服。他认为这是他的重要贡献，此后他余生 22 年就一直研究它，并且试图用四元数系统地描述物理学、天文学，但是没有成功。一般都认为他走错了方向。在贝尔（E. T. Bell）所写的《数学大师》（*Men*

① 当然，我们还必须寻找其他对称性的解释，参见【72c】。

of Mathematics ）中[①]，哈密尔顿这一章的标题是“一个爱尔兰人的悲剧”(An Irish Tragedy)。我摘录其中的一段文字：

> 他在临终时获得的最后一项荣誉，比以往获得的任何荣誉都使他更加高兴——他被选为美国国家科学院第一位外籍院士。美国科学院是在内战时期成立的。这项荣誉主要奖励他对四元数上的贡献。由于某种深奥难测的原因，这项工作深深打动了当时的美国数学家的心[其实只打动了一两位数学家，哈佛大学的本杰明·皮尔斯 (Benjamin Pierce) 是其中主要的一位]，他们甚至认为哈密尔顿比牛顿的《自然哲学的数学原理》以来的任何其他英国数学家的成就更大。四元数在美国很早就享有盛誉，这有一点让人捉摸不透。或许是《四元数讲义》(*Lectures on Quaternions*) 稍带浮夸的流畅文笔，投合了这个朝气蓬勃的年轻国家的胃口。这个国家还没有丢掉对参议员式雄辩和7月4日[②]火炮爆烟花式的赞美词的嗜好。[③]

---

① 此书有中译本：《数学大师：从芝诺到庞加莱》，徐源译，商务印书馆2004年版。

② 7月4日为美国国庆日。——译注

③ E. T. Bell, *Men of Mathemmatics* (New York: Simon & Schuster, 1937)，中译文可见中译本《数学大师》第425—426页，但与本书译文稍有不同。——译注

这可能是贝尔最尖刻的讽刺话，但是我相信他的幽默可能让他有些忘形了。然而大自然**的确**选择了最优美而独特的数学结构来构筑宇宙，四元数作为一个数系(number system）**的确**是优美而独特的。哈密尔顿的信念仍可能被证明是对的。

【56d】“电荷共轭、一个新量子数 G，以及核子—反核子系统的选择定则”后记

Charge Conjugation, a New Quantum Number G, and Selection Rules Concerning a Nucleon-Antinucleon System

Il Nuovo Cimento **10** (3), 749 (1956)

T. D. Lee and C. N. Yang

1953 年，李到哥伦比亚大学任教。为了继续我们之间的合作，我们定了一个互访的约定。我每周抽一天到哥伦比亚大学，而他则每周拿出一天到普林斯顿（或者布鲁克海文）来。这种互访保持了六年，在这期间我们的兴趣一直保持在基本粒子理论和统计力学两个方面。这是非常有成效的合作，比我与其他任何人的合作更加密切而广泛。多年的合作使我们彼此非常熟悉，以至于我们经常可以知道对方在想什么。但是我们在气质、理解和趣味上还是颇不相同，不过这些差异却对我们的合作很有利。

1955 年秋天，因为在伯克利（Berkeley）发现了反质

子[1]，我们的兴趣转向了电荷共轭（charge conjugation）。结果我们写出了【56d】。这一研究让我们最兴奋的时刻，是当我们了解到所有的 π 介子，无论是带电的还是中性的，都是 G 算符（operator G）的本征态，对应的本征值为 -1。仅这一简单的陈述，就澄清了在我们之前若干作者讨论过的许多选择定则。参见论文【53d】的注 3。

① O. Chamberlain, E. Segré, C. Wiegand and T. Ypsilantis, *The Physical Review* **100**, 947 (1955).

【56e】“1956 年罗彻斯特会议新粒子理论诠释专题会介绍性发言”后记

Introductory Talk at the 1956 Rochester Conference, Session on Theoretical Interpretation of New Particles

In *High Energy Nuclear Physics* (New York: Wiley-Interscience, 1956)

C. N. Yang

在 20 世纪 50 年代中期，随着几个大型回旋加速器如高能同步稳相加速器和高能质子同步稳相加速器开始运行，基本粒子的研究成了一个成果丰硕的领域。现在回顾起来，那些年的研究大都集中在 (3, 3) 共振态 (现在称之为 Δ 粒子) 以及新粒子的识别和分类。前一个研究导致丘—罗理论 (Chew-Low theory) 和色散关系的发现，后一研究导致派斯的协同产生理论 (Pais' associated product)、盖尔曼—西岛奇异数方案 (Gell-Mann-Nishijima strangeness scheme)，以及 θ-τ 之谜 (θ-τ puzzle)。色散关系和 θ-τ 之谜是 1956 年 4 月 3—6 日罗彻斯特会议讨论的焦点。

哥德伯格对色散关系做的一个介绍性讲话，使人们开始认识到这是一个重大的进展。[①]它即将成为今后许多年的一个重要理论物理课题。

1953 至 1955 年，随着实验对 $K_{\pi 2}$，$K_{\mu 2}$，$K_{\pi 3}$，$K_{\mu 3}$ 和 K_{e3} 粒子研究的进展，θ-τ 之谜逐渐尖锐地突显出来。达利兹（K. Dalitz）在研究了 τ 粒子（$K_{\pi 3}$）的衰变产物和在达利兹图上绘出了衰变组态以后，尖锐地确立了 θ-τ 之谜。在 1955 年 1 月 31 日—2 月 2 日的第五届罗彻斯特会议上，他得出的结论是："如果 τ 介子的自旋小于 5，它就不可能衰变为两个 π 介子。"（《第五届罗彻斯特会议报告》）这一研究的结论是 θ（$K_{\pi 2}$）和 τ 必须是两个不同的粒子。这个结论导致一个问题：为什么在实验误差允许范围之内，它们的质量和寿命完全一样？在 1956 年第六届罗彻斯特会议最后一天的新粒子的理论诠释会上，我做了一个介绍性发言，总结了奇异粒子种种不同的理论考虑。论文【56e】就是这个讲话的内容，其中谈的主要就是 θ-τ 之谜。

为了解释两个不同粒子为什么可能显示非常相似的质量和寿命，有各种不同的想法。其中也包括李政道、奥里尔（J. Orear）和维恩斯坦（R. Weinstein）的一些建议。这些在【56e】里都有介绍。除了这些方案之外，还有一些想法与对称性的问题有关。李和我，还有盖尔曼，提出

---

① 其发展简史可参见 M. L. Goldberg, in *Subnuclear Phenomena*, ed. A. Zichichi (New York: Academic Press, 1970), Part B。

一个比通常的设想有更大对称性的想法，由此得出“宇称二重态”(parity doublets)。回想起来，这个建议显示，为了解释质量和寿命的简并，我们简直不顾一切了。

当物理学家们专注于某些奇怪的、令人迷惑的现象时，常常会在报告期间就充满许多即席的讨论。大部分的讨论都涉及时空对称性，特别是宇称守恒问题。①

为什么这个讨论没有深入下去呢？ 我想原因主要有三点：

第一，时空对称性定律在原子、分子和核物理学里极为有用。这就使得物理学家自然地假定它们是不可能被违背的。

第二，从技术层面上说，所有试图讨论宇称不守恒可能性的想法，通常会立即遭到下面一个问题的反击：宇称选择定则在核物理和 β 衰变中都十分有效，在这种情形下怎么能够提出宇称不守恒的建议？(1956 年 9 月在西雅图国际理论物理学会议上，我做了有关新粒子的报告，当提到我和李在论文【56h】里的建议，即在弱相互作用里宇称可能不守恒，立即遇到这种反驳。)

---

① 费曼 (R. Feynman) 和布洛克 (M. Block) 在会上提出的意见就是一个例子，参见 *High Energy Nuclear Physics* (New York: Wiley-Interscience, 1956), Section VI-II, p. 27：

> 费曼代替布洛克提出一个问题：有没有可能 θ 和 τ 是同一粒子的不同宇称态，它们没有确定的宇称，也就是说，宇称是不守恒的。这就是说，大自然用奇特的办法来定义右手或者左手性？ 杨振宁说，他和李政道曾经研究过这个问题，但是没有得到确定的结论……也许我们可以说，宇称，或者时间反演不变性可以遭到破坏。也许弱相互作用的特征都源于这种时空对称性的破坏……

第三，缺失一个把弱相互作用的宇称守恒和强相互作用的宇称守恒**分开**考虑的想法。在没有这种想法的情形下，任何有关宇称不守恒的讨论，立即就会遇到观念上和实验上的困难。

【56h】“弱相互作用中宇称守恒的问题”后记

Question of Parity Conservation in Weak Interactions

The Physical Review **104**, 254 (1956)

T. D. Lee and C. N. Yang

普林斯顿高等研究院的春季学期4月初结束，我在1956年4月17日把家搬到布鲁克海文避暑。我和李每周两次互访的约定还在继续，现在是在纽约和布鲁克海文之间。如以前一样我们讨论各种问题，但是θ-τ之谜仍然是我们关注的中心。我们对下面的反应链的角分布有特殊兴趣：

$$\pi^- + p \rightarrow \Lambda^0 + \theta^0 \qquad (1)$$

$$\Lambda^0 \rightarrow \pi^- + p \qquad (2)$$

舒特（R. P. Shutt）、斯坦伯格和沃克尔（W. D. Walker）都曾经研究过这个反应，在罗彻斯特会议上他们还报告过他们的研究，但是关于这三个研究小组使用的变量“二面角”(dihedral angle）的精确有效范围，讨论时有许多地方混淆不清。

4 月底或者 5 月初的一天，我驱车到哥伦比亚做每周一次的例访。从李的办公室出来到了街上，我们很难找到停车位，最后只有把车停在百老汇和 125 街的街角上。快到午餐时间，附近的餐馆还没有开门。我们在附近的“白玫瑰咖啡店”里继续讨论我们的问题，后来我们到“上海餐馆”(这是我记得的餐馆名；但是李记得是在“天津餐馆”) 吃午饭。我们讨论的中心仍然是 θ-τ 之谜。忽然间我有了一个突如其来的想法，我们应该把产生过程的对称性和衰变过程的对称性**分开**来考虑：如果我们假定宇称仅仅在强相互作用中是守恒的，而在弱相互作用中不守恒，那么即使 θ 和 τ 是同一个粒子，具有一个由强相互作用定义的单一自旋宇称值 0^- 也就没有问题。这个分离对反应链 (1) 和 (2) 有特定的影响。李开始对这个想法难以接受，我试图用这个想法的吸引人之处来说服他，就是这个想法可以在反应链 (1) 和 (2) 中寻找可能存在的**上—下**不对称性来检验。他后来终于同意了我的意见。据我在 1962 年 4 月的记忆，这事发生在上海餐厅；而据他的记忆，发生在当天下午他的办公室里。

这一次的讨论涉及反应 (1) 和 (2) 的相关性。在反应 (1) 里产生的 Λ 应该在**垂直于**产物平面的方向上极化，这一点与质子散射极化问题完全相似，而我在与斯诺、斯特恩海默以前发表论文【54a】时就已经十分熟悉质子散射极化问题。如果宇称不守恒，那么在反应式 (2) 中极化的 Λ 衰变就会产生上—下的不对称性。我对此十分熟悉，因为在我的学位论文【48a】里，就已经建

立了宇称守恒与角分布中不存在 $\cos\theta$ 的奇次幂这两者之间的关系。利用衰变产物中 s 波和 p 波的叠加，容易证明：当宇称不守恒时，上一下是明显不对称的。用这种办法我说服了李。

当时在弱相互作用中研究得最多的是 β 衰变。完成的 β 衰变实验没有上千也有好几百次。这些实验是否与在强相互作用中宇称守恒而在弱相互作用中宇称不守恒的这一假定相符呢？幸运的是，**这个问题可以通过具体项来讨论**。通常引起 β 衰变的相互作用可以写成带系数 C 的五项之和。为了引进宇称不守恒，只需再加上系数是 C'的另五项就可以了。后面这五项，事实上我和提奥穆诺已经在论文【50c】里明显地讨论过。同时存在 C 与 C'型的项，就会导致宇称不守恒。这个星期的稍后，我明白了这个关键点，决定把所有的十项都放进相互作用里，重新审查已知的 β 衰变实验（以前的分析只考虑五个 C 型项），以确定现有的实验资料是否与五个 C 型和五个 C'型相互作用同时存在时的结果相符。

这时我思考的第一个问题是：那些在 β 衰变中许多公认成立的宇称选择定则，是不是确实意味着 β 衰变中宇称守恒呢？在思考这些问题的时候，我认识到既然这些选择定则只涉及核矩阵元，即使包括 C'项在内，也完全不会改变选择定则。但是电子能谱又怎么样？这时又用得上论文【50c】了。既然提奥穆诺和我已经研究过这个问题，并且证明，因为中微子的零质量，我们就不能用电子能谱来区分 C 型项和 C'型项。如果这**两种型式的项**都同时存

在，这个问题就需要重新研究。简单的计算表明，电子能谱**不能**告诉我们：是只有一种类型的项存在，还是两种类型的项都存在。因此，所有 β 衰变现象的实验研究都必须重新做过，其中包括容许谱 (allowed spectrum)、唯一禁戒谱(unique forbidden spectrum)、容许形式的禁戒谱、β-ν 关联以及 β-γ 关联等等。

下周再次访问哥伦比亚时，我们沿着哥伦比亚大学附近克莱门特街漫步，我告诉李政道我们应该重新考察的现象的清单。

接着的一两周，我对这些过程进行计算。那时李还不大熟悉 β 衰变现象。这时他有一点急躁，想把（1）和（2）的反应写成一篇短文拿去发表。我认为不必着急，我们应该先把 β 衰变计算到底。我的计算只花了一两个星期就完成了。结果表明，在所有这些相互作用过程中，以前的实验既没有提供信息表明这些相互作用仅是 C 型，或者是 C，C'两型都有。这也就是说，**所有以前 β 衰变的实验，都与在 β 衰变中宇称是否守恒的问题完全无关**。不久，李也做了同样的计算，结论与我的相同。

我们当时对这些结果的反应，在一年半之后我的诺贝尔演讲【57s】中是这样说的：

> 长久以来，在没有任何实验支持的情况下，人们就相信弱相互作用中宇称是守恒的，这一点十分令人惊讶。但是更令人惊讶的是，物理学家面临十分熟悉的时空对称定律可能被破坏的前景。这种前景并不是

我们所追求的，而是在所有希望了解 θ-τ 之谜的努力失败以后不得不接受的。

5 月份的一天，我在布鲁克海文加速器部的一次讨论会上介绍了我们的研究结果。我讲完以后瑟罗夫（Walter Selove）问，以前所有实验都没有指出 β 衰变中宇称守恒问题，这里面是否有什么潜在的缘由？ 我回答说我不知道。一两天之后，李到布鲁克海文来，我们一起思考瑟罗夫的问题。我们想通过数学而不用计算，来证明以前的实验没有测量一个与 CC' 成正比的量。当我们考虑到粒子的自旋、相位以及正负符号的时候，问题显得越来越混乱。而且像所有对称性推理一样，直觉和逻辑总是在循环推理中混成一团。那一天晚上我知道了，如果引入一个**形式**上的变换

$$C \rightarrow -C \qquad C' \rightarrow -C'$$

那么问题就变得简单了，而且得到一个结论：在计算中与 CC' 成正比的项，必须是“赝标量”。既然以前所有的实验都没有测量赝标量，所以它们与 β 衰变中宇称守恒没有关联。这一重要的澄清使我十分高兴，在驱车到我家吃晚饭时我向李解释了这一发现。

作为一个推论我们也了解，**能够**测试弱相互作用宇称守恒的实验的特性，必须要测量一个含有赝标量项的概率。

一个可能做的实验，是测量一个极化核 β 衰变的方向分布。但是让核极化是很困难的，那时我和李都不知道

低温技术已经可以使核极化。与哥德哈伯（M. Goldhaber）和吴健雄讨论这个问题之后，我们才知道这种技术，并认定钴 60 可能是最适于研究的核。

5 月末，我有生第一次腰疼得十分厉害（几年后被诊断为腰椎间盘突出症）。我不得不在床上躺了几天。躺在床上的时候我口授一篇文章，我的妻子致礼做记录。因为她没有受过任何秘书的训练，只能以普通书法记下。文章的题目是“弱相互作用中宇称守恒吗？”我把手稿给李看，他对几处小错误做了一些修改。然后我按照我们姓的字母顺序签下了我们的名字。我有过把我的名字放在第一位的想法，但是我放弃了：一是我不喜欢在名字排列上计较，二是我想在事业上帮助李。然后稿子就给布鲁克海文加速器部的秘书芭芭拉·凯克（Barbara Keck）打印。

预印本上有几处错误。有一些在看清样的时候纠正了［参见【57e】后记中我写给厄姆（Reinhard Oehem）的信］。1957 年柯蒂斯（R. C. Curtis）和莫瑞塔(M. Morita)分别向我们指出一处错误，但是这个错误不涉及宇称不守恒的问题（参见〖57 1〗）。

6 月 5 日，我带上致礼和儿子富兰克林驱车前往麻省的剑桥。在剑桥期间我与施温格通了电话，因为有人说他对 θ-τ 之谜有一些想法，我想了解他的想法。但是他当时正在收拾东西准备出门度暑假，因此我们没有时间细谈这件事。

在剑桥期间，我在 MIT 做了一个报告，这个报告本应

该在5月底做，因为腰疼而延后。报告时珀塞尔[①]和拉姆齐[②]两人都在场，他们对极化核 β 衰变实验的建议很有兴趣。拉姆齐说橡树岭国家实验室（Oak Ridge National Laboratory）可能能做。但很明显他没有说服橡树岭做这个实验。

那时我们的文稿里还讨论了 β 衰变的不对称性和 Λ^0 衰变上—下不对称性，作为有可能检验弱相互作用中宇称守恒的实验。在希尔莱（Shirley）和阿尔·瓦滕伯格（Al Wattenberg）为我举行的酒会上，和阿尔短叙后，我认识到 π-μ-e 衰变也可以用作检验方法之一。回到布鲁克海文以后，我立即把这一点写进正在打印的文稿里。后来在阅读清样的时候，我们又加进另一个检验方法：Ξ-Λ-p 衰变序列。

6月22日，打印稿完成，稿纸上注明布鲁克海文国家实验室排号 BNL-2819。[③]我们把它投给《物理评论》。同时分发了一些预印本。当文章正式发表时，题目被改成“弱相互作用中宇称守恒的问题”，因为这本杂志的编辑规定文章的题目不能是个问句。但我认为原来的题目更有

---

① 珀塞尔（Edward Mills Purcell，1912—1997），美国物理学家，1952年获得诺贝尔物理学奖。——译注

② 拉姆齐（Norman Ramsey，1915—2011），美国实验物理学家，1990年获得诺贝尔物理学奖。——译注

③ 至今为止，关于我与李的合作在公开场合我一直严格保持缄默。例如除了我的直系亲属和两个最亲密的朋友，论文【56h】里讲的事没有对任何人讲过。这件事是根据1956年和1962年4月18日我的笔记写出来的。如果不是在1979年我偶然看见 A. Zichichi 编的一本文集 *Elementary Processes at High Energy*，*Proceedings of the 1970 Majorana School*，我今天还不会提起这件事。

意义。

我们对文稿很满意，觉得对宇称守恒做了一个漂亮的物理分析，也讨论了所有当时看来可行的测试实验。我们觉得这项研究的风格符合好的物理学传统。因为与此前的信念相反，宇称守恒一直没有在弱相互作用实验中检验过，因此用实验检验是非常重要的。

在宇称的文章投给杂志社以后两个星期，我们在一篇论文里做了一张表格，列出宇称偶极线和宇称不守恒之间的实验差异。这就是论文〖56i〗。在这两种可能性中我们没有偏向其中任何一种。9 月，在西雅图国际理论物理学会议上，我再次提出这两种可能性（参见【57d】）。

对于断言弱相互作用中宇称不守恒（即左右不对称）一定可以解决 θ-τ 之谜，我们不是唯一感到犹豫的人。一位著名的苏联物理学家告诉我，朗道（L. Landau）在 1956 年 10 月苏联召开的一次会议上，对我们预印本中提

（接上页）在 A. Zichichi 编的这本文集里，我读到李政道写的一篇文章《弱相互作用的历史》（"History of Weak Interaction"），他写到他自己的有关论文【49a】和【56h】的故事。它暗示和暗讽了许多事情，例如我们之间关系的性质，宇称不守恒，以及怎样把 β 衰变与 θ-τ 之谜联系起来等等。关键性的思想和策略如何出现和进展，以及论文【56h】怎么写出来的，文章都一概规避，不给出一个直截了当的说法。我明白，总有一天我要把实际情况讲出来。最近(1982 年8 月)，完全偶然地在 *Studies in History and Philosophy of Science*，**10** (3)，201 (1979) 中看到一篇富兰克林 (A. Franklin) 写的文章《宇称不守恒的发现和没有发现的内容》("The Discovery and Nondiscovery of Parity Nonconservation")。我不记得我是否认识这位作者，但是我以前确实没有看见过这篇文章。富兰克林对他与李政道几次有价值谈话十分感激，他的文章里引用了好几段《弱相互作用的历史》手稿里的话，还注明李的手稿是在哥伦比亚大学 1971 年 3 月 26 日的讲话，未出版。这份手稿显然与前面提到的 *Proceedings of the 1970 Majorana School* 刊登的文章大部分相同。

出的意见持强烈反对意见，不过他很快又改变了意见。泡利在一封给韦斯科夫（V. Weisskopf）有名的信里写道：

> 我不相信上帝是一个弱的左撇子。我愿意打一个大赌，实验将证明电子的角分布是对称的。我看不出在相互作用的强度与它的镜像不变性之间有任何逻辑上的联系。

比起理论物理学家来说，实验物理学家还被另一个问题纠缠着：在弱相互作用中做一个实验来检验左和右的不对称性，这值得吗？ 因为我们建议的几个实验，没有一个是容易做的。因此，只有少数几个实验小组愿意接受挑战，这一点也不奇怪。我清楚地记得有一次在布鲁克海文午餐时与一位实验物理学家的谈话。当我极力劝他试一试 π-μ-e 实验时，他开玩笑说，如果他能找到一个非常聪明的研究生做他的奴隶，他就会试一试。

李与他的哥伦比亚大学同事吴健雄谈过实验问题，她对 β 衰变研究所做出的贡献在物理学界无人不晓。她决定与美国标准局的四位物理学家——安布勒（E. Ambler）、海沃德（R. W. Hayward）、霍普斯（D. D. Hoppes）和哈德逊（R. P. Hudson）合作，用钴 60 的衰变来检验宇称是否守恒。这个实验涉及 β 衰变仪器和低温物理非常复杂的技术上的结合。由于他们的勇气和敏锐的感知能力，才使得物理学家们看到我们研究的这个领域里近年来最令人兴奋的事件之一。决定用实验检验宇称是否守恒还有另一个小

组，它由芝加哥的泰莱格迪（Val Telegdi）和弗里德曼（J. Friedman）组成。他们的实验也很困难，而且他们的同事对这个实验没有多大的热情。这个小组的工作，李和我直到1956年11月才知道，是这学年到普林斯顿高等研究院访问的厄姆告诉我们的。他们的实验是用摄影感光乳胶作为检验手段，研究 π-μ-e 的不对称性。他还嘱咐我除李之外对其他所有人保密。

【57d】“新粒子的最新认识”后记

Present Knowledge About the New Particles
Lecture given at the Seattle International Conference on Theoretical Physics, September 1956
Reviews of Modern Physics **29**, 231 (1957)
C. N. Yang

我在论文【56h】的后记中曾经提到过1956年9月在西雅图会议上的这个讲话。

西雅图会议是一次很有趣的会议，讨论了许多思想观点。在会议期间费曼和布拉特(J. M. Blatt)之间的争论，导致一个测定氦在 λ 点附近比热的漂亮实验。[①]参见论文【61c】的后记。

① W. M. Fairbank, in *Critical Phenomena* (Washington, D. C.; Bureau of Standards, 1966), p. 71.

【57e】“在时间反演和电荷共轭变换下可能的非不变性的短评”后记

Remarks on Possible Noninvariance Under Time Reversal and Charge Conjugation

The Physical Review **106**, 340 (1957)

T. D. Lee, Reinhard Oehme, and C. N. Yang

1956 年 8 月，我收到芝加哥大学厄姆的一封信，信里提到在弱相互作用中，宇称守恒的破坏与电荷共轭不变性及时间反演不变性之间的关系。这个问题李和我在宇称不守恒的预印本里没有考虑过，因而厄姆的信**异常重要**。我们在那个月底给他回了信（这两封信全文登在这个后记的后面）。1956 年秋天，厄姆作为访问者来到普林斯顿。同年年底，李政道、厄姆和我写了论文【57e】，详细探讨了这两封信里提到的问题。**作为一个例子**，论文里有一节利用韦斯科夫—维格纳形式理论（Weisskopf-Wigner

formalism) 来讨论 $K^0 - \overline{K^0}$ 衰变模式[①]。我们当时没有料到这个例子在几年以后，因为发现 *CP* 破坏而变得那么重要(参见【64f】的后记)。

为什么我们没有事先预见 *CP* 破坏？这还是因为每一个人很自然地希望有更多的对称性，而不是更少。在当时的情形下还有一个原因，当时并没有一个什么不解之谜迫使我们去冒险猜测 *CP* 会被破坏。事实上，1964 年以前所有的努力都专注在**拯救**左右对称性，采用重新定义反演操作来把电荷共轭变换包括进去。

附件一：1956 年 8 月 7 日厄姆的来信

亲爱的杨教授：

您把极为有趣的弱相互作用中宇称守恒可能破坏的论文寄给我，非常感谢。我偶尔想到几个问题，它们涉及 β 衰变、π-μ 衰变……中检测宇称破坏的可能性。如果您能指出我的错误，我将非常感激。

在你们的论文的附录里，你们写出的 β 衰变里相互作用的哈密顿函数，其中包括常数 C_α 和 C'_α。在时间反演不变时，这些常数就变为实数。而我发现电荷共轭不变性要求所有 C_α 和 $C_{\tilde{\alpha}}$ 的相对相位 (relative phases) 必须是实数，C'_α 和 $C'_{\tilde{\alpha}}$ 的相对相位也必须是

① 这些没有涉及对称破坏的讨论，在 1955 — 1956 年非常普通。参见 S. B. Treiman and R. G. Sachs, *The Physical Review* **103**, 1545 (1956)，以及下面厄姆的信。

实数，但是比值 C_α / C'_α 必须都是虚数。这似乎与从时间反演推出来的结论直接矛盾。而且，如果两个不变性原理放在一起，就会得到一个结论：这两组（C_α 和 C'_α）的混合是被禁戒的。但是我知道，在你们的推论中并没有加入时间反演不变性。如果仅仅只用到电荷共轭不变性，上面提到的位相关系将导致 $C'C^* + C'^* C = 0$。而这似乎表明，即使假定初态核是极化的，按一级微扰理论，在终态密度矩阵中相反宇称各部分之间，不会出现干涉项。

乍一看来颇为令人困惑的问题是：在 β 衰变这一类问题中，何以电荷共轭不变性和时间反演不变性会有不同的限制？ 但是我知道两个不变性等价的证明明显包含着宇称是一个好量子数的假定。当然还会用到哈密顿函数的厄米性以及其他一些特性。

这种情形在某些方面类似 π-μ 衰变。如果用直接耦合并且加上电荷共轭和时间反演不变性，则宇称守恒耦合和宇称破坏耦合间的混合，似乎就不可能。但是如果只假定有电荷共轭不变性，在 π 介子静止的系统里，我得到的密度矩阵 ρ_f 是：

$$\rho_f = |T_0|^2 \left\{ g_s^2 + g_{ps}^2 + \frac{m_\mu^2}{m_\pi^2}(f_v^2 + f_{pv}^2) + 2\frac{m_\mu}{m_\pi}(g_s f_{p\mu} + g_{ps} f_v)\overline{\sigma} \cdot \hat{p} \right\}$$

上式里 g 和 f 是实的耦合常数，$\hat{p}$ 是在 μ 介子动量方向上的单位矢量。在这种情形下，只有当微商型耦合

和非微商型耦合同时存在时，μ 介子才是极化的。我还想提一提：泰莱格迪博士和赖特博士 (Dr. Wright) 曾经注意到，具有实常数的 $ps+s$ 耦合，生成物不会发生极化。

由以上提到的例子看来，如果在电荷共轭变换和时间反演同时具有不变性的限制下，宇称必须守恒。但是我们还不知道在轻子的相互作用中，强加上时间反演不变性是否合理。

您诚挚的

莱因哈德·厄姆

附件二：1956 年 8 月 28 日给厄姆的信

亲爱的厄姆博士：

非常感谢您 8 月 7 日的来信，您的信很有意义，它促使我们仔细研究弱相互作用里的电荷共轭和时间反演对称性的问题。对您的思考和所提出的问题，我们普遍地提出以下几点意见：

(1) 在电荷共轭守恒的情形下，您的结论 $C'/C=$ 纯虚数，当然是正确的。

(2) 在预印本里公式 (A.6) 和 (A.7) 是不正确的。(A.6) 应该是：

$$\alpha=\mathrm{Re}\left[C_T C_T'^{*}-C_A C_A'^{*}+\mathrm{i}\frac{e^2 Z}{\hbar c p}\left(C_A C_T'^{*}+C_A' C_T^{*}\right)\right]$$

$$\times |M_{G.T.}|^2 \frac{\nu_e}{c} \frac{2}{\xi + (\xi b/W)} \frac{\langle J_Z \rangle}{J}$$

(A.7)也要做类似的纠正。在阅读清样的时候，我们对这些错误已经做了纠正。纠正项使得即使在电荷共轭守恒的情形下，干涉项可以出现。但是，这种情形必须满足以下两个条件：(a) 轴矢量和张量型相互作用同时存在（如果允许宇称可能不守恒，则一般拒绝考虑轴矢量相互作用存在的观点，就得重新审查)；(b) 电子的波函数存在一个库伦畸变。我们在(4) 里还会继续谈到这个问题。

(3) 在预印本中关于在弱相互作用中是否存在电荷共轭不变性的实验证明的讨论都是不正确的。预印本中的第 14 页第 7—9 行“因此……以及 $K^{\pm}$”这段话，在清样中改为：“乍一看来，好像 $\pi^{\pm}$的寿命相等和 $\mu^{\pm}$的寿命相等，就证明了弱相互作用中的电荷共轭不变性。但是进一步的研究表明，事情并非如此。事实上，在弱相互作用引起的衰变中，(在弱相互作用强度的最低阶项上) 一个粒子与其电荷共轭粒子的寿命相等这个事实，可以通过固有洛伦兹变换(即没有时间和空间反演的洛伦兹变换) 下的不变性推导出来。因此，我们还没有弱相互作用中电荷共轭不变性的实验证明。”

上面涉及粒子和它的电荷共轭粒子的寿命相等的论述，都可以用吕德斯 (Lüders) 的一个定理加以证明，泡利曾经讨论过这一点。[参见《玻尔和物理学的进展》(*Niels Bohr and the Development of Physics*,

London: Pergamon Press, 1955)。]

(4) 利用同样的定理也可以证明，如果电荷共轭保持不变，则在弱相互作用（直到最低强度的弱相互作用）中宇称守恒项和宇称破坏项之间就不会出现干涉，除非在衰变产物之间有强相互作用，强相互作用对不同宇称的粒子产生的相移是不同的。[库伦畸变会影响相移就是一个例子，这在（2）中已经提及。]您对 π-μ 衰变密度矩阵的计算，由此得到即使 C 守恒也会极化的结论，我们觉得是错误的。

(5) 如果时间反演不变，吕德斯定理给出一个很有趣的结果：反物质世界与我们通常的世界不一样，它们的螺旋方向正好相反。如果螺旋方向真的存在（即宇称不守恒），这看来是一件非常重要的事情。

(6) 如果电荷共轭不变性不成立，我们就可以问有关 θ_1^0 和 θ_2^0 的状况。我们可以得知长寿命的分量，一般说来其 θ^0 和 $\bar{\theta}^0$ 的混合比不会是 1：1，这一点可以用实验检验。但是无论如何，如果时间反演不变性成立，而且 2π 衰变模式是一种快得多的模式，那么即使电荷共轭不变性被破坏，这个比例仍会是1：1。

当您来普林斯顿的时候，我们将会十分高兴与您讨论这些问题。

您诚挚的

李政道

杨振宁

【57f】“宇称不守恒和中微子二分量理论”后记

Parity Nonconsevation and a Two-Component Theory of the Neutrino

The Physical Review **105**, 1671 (1957)

T. D. Lee and C. N. Yang

1956 年秋，吴健雄领导的哥伦比亚—标准局的实验进展得十分顺利。她往返于纽约市和华盛顿之间，并与我们一直保持联系，及时告诉我们有关实验的进展。在圣诞节前不久她终于告诉我们，他们在实验中观察到不对称，显示在 β 衰变中宇称是不守恒的。但是她警告我们：这只是一个非常初始的结果，千万不要向外透漏任何消息。我们没有向外透漏消息，但是消息还是不胫而走。我们接到数目惊人的电话，有打听消息的，有提供消息的。

在核实了他们原先的结果后，吴和她的小组揭开了保密的面纱，一阵冲击波横扫了整个物理学界。这大约是 1957 年新年前后的事情。1 月 5 日，我给正在维尔金群岛 (Virgin Islands) 度假的奥本海默发了一封电报：“吴的实

验得到很大的不对称性，证实 G 等于 G'。因此中微子是一个二分量的波函数。”他回复的电报是：“走出门了。”(Walked through door.) 他这样回复是因为我在 1956 年的一次演讲中打比喻说，当时的高能物理学家面对的状况就像是一个关在黑暗房间里的人，他知道某个方向有一扇门，但却不知道门在哪个方向。

1 月中旬，吴健雄、安布勒、海沃德、霍普斯和哈德逊送发了他们划时代的论文。紧接着，加尔温(R. Garwin)、莱德曼 (L. M. Lederman)、魏因里希(M. Weinrich) 和泰莱格迪、弗里德曼的论文也写出来了。这两篇论文显示在 π-μ-e 衰变中宇称不守恒。请参见《实验物理学奇遇记》(*Adventures in Experimental Physics*, γ volume, edited by B. Maglich, Princeton: World Science Education, 1973)。

哥伦比亚标准局实验小组观测到的大数值不对称性意味着，在 β 衰变中电荷共轭不变性也被破坏。请见前面厄姆写的信和【57e】。还可以参见在【57s】里提到的约费 (Ioffe)、奥肯 (Okun) 和鲁季克 (Rudik) 的论文。

宇称不守恒的发现，导致李和我送发论述二分量中微子理论的论文【57f】，这个理论最开始被韦尔讨论过，后来又被泡利在他的《物理学手册》(*Hundbuch der Physik*) 的文章中讲到。[①]1956 年 11 月，萨拉姆(A. Salam) 曾经在

① 参见 H. Weyl, *Zeitchrift für Physik* **56**, 330 (1929); W. Pauli, *Hundbuch der Physik* **24** (1) (1933)。后来凯斯和塞尔普 (J. Serpe) 分别在他们的文章里提到一个有关二分量中微子理论的重要观点，见 *Physical Review* **107**, 85 (1957) 和*Nuclear Physics* **4**, 183 (1957)。

一个预印本里讨论过二分量中微子理论。[①]萨拉姆的预印本是在宇称不守恒实验证据出现之前就完成的。1957 年 1 月，朗道也分发过一篇二分量中微子理论的文稿。[②]

【57f】的第四节有一个有趣的观点，在二分量理论中探测中微子实验得到的截面，应该两倍于四分量理论。我们在写这篇文章时的一个傍晚发现了这一点。本文还讨论了一些以前没有涉及的宇称不守恒的效应。

1 月初，李和我写了另一篇文章〖57g〗，当时的情形是在一段短时间里，加尔温—莱德曼和魏因里希小组的资料显示，他们的实验数据与简单的二分量中微子理论不符。李和我急忙做了一个计算，把科诺平斯基—乌伦贝克(Konopinski-Uhlenbeck) 的微商耦合 (derivative couplings) 也包括进去，写成一篇文章，以解释这些新的数据。但是以后又收集了一些新数据，使较早的不符合消失了。我们也因此撤销了这篇论文。

1 月中旬的一个早晨，我为一个新想法感到极度兴奋。我想到在磁场里运动的极化 μ 介子会提供一个精确测量其**附加**磁矩的机会。我立即把这一想法在电话中告诉了布鲁克海文的斯坦伯格。但是俘获 μ 介子的困难是一个拦路石，之后我们都没有再追究这个想法。这个想法后来被另外一些物理学家独立地想到，并终于做出一些非常精确而漂亮的实验，这就是大家

① A. Salam, *Il Nuovo Cimento* **5**, 299 (1957).
② L. Landau, *Nuclear Physics* **3**, 127 (1957).

知道的 g-2 实验。[①]

1 月 15 日，哥伦比亚大学物理系召开了一个记者会，伯恩斯坦（J. Bernstein）后来称这次记者会是“空前的”。[②]我不知道他的这个说法是否准确，但是我确实认为开记者会宣布一项科学发现有失品位。虽然哥伦比亚大学一再敦促我去，我还是没有去。第二天《纽约时报》登载了一则关于宇称不守恒的头版新闻。

稍后这一消息传到欧洲，泡利在 1 月 27 日写给韦斯科夫的一封信里谈到他的反应：

> 第一阵冲击现在已经过去，我开始清醒过来（慕尼黑有人这样说）。
>
> 是的，这件事颇有戏剧性。1 月 21 日星期一，我应该在晚上 8 点 15 分做一个有关“中微子过去和现在的历史”的演讲。下午 5 点，我收到泰莱格迪好意寄给我的有三份实验论文的邮件，它们分别是吴健雄、莱德曼和泰莱格迪的。这天上午，我收到两份理论论文，第一篇是杨振宁、李政道和厄姆写的，第二篇是杨振宁和李政道写的有关二分量旋量的理论。后者与我 6 到 8 周前收到的萨拉姆的论文预印本内容基本相同。我在上一次写给你的短信里提到过萨拉姆的

① 参见 A. A. Schupp, R. W. Pidd and H. R. Crane, *The Physical Review* **121**, 1 (1961); G. C. Charpak, F. J. M. Farley, R. L. Garwin, T. Muller, I. C. Sens and A. Zichichi, *Il Nuovo Cimento* **37**, 1241 (1965)。

② J. Bernstein, *New Yorker*, May 12, 1962.

预印本（这事美国有人知道吗？）[我同时还收到日内瓦维拉斯（Villars）的信和《纽约时报》的文章]。

现在，我从哪儿说起呢？幸运的是我没有真的打赌，那可要损失一大笔钱啊！（我可付不起这么多钱。）我让自己出了洋相，这我还可以对付过去——顺带说一下，我只是在信里或者口头上与人打赌，没有形成文字。但是现在人们有权利嘲笑我了。

让我震惊的还不是“上帝是一个左撇子”这一事实，而是既然他是左撇子，为什么当他在强壮地表现自己时又是左右对称的呢？

李和我接到布鲁克海文国家实验室和哈佛大学的邀请做演讲，我决定由李去做这些报告，而在纽约召开的美国物理学年会上则由我做宇称不守恒的报告。年会地点在“纽约人旅店”，宇称专题会议定在1957年2月2日星期六下午。这个专题会因为决定做得太晚，已经不可能成为一个正常的专题会，只能作为“会议报名截止时间”后的专题会。消息很快传播开来，结果会场爆满。后来达罗(K. K. Darrow)这样形容当时的情形：“我们通常使用的最大会厅里挤满了如此之多的人，只差没有人吊在吊灯上了。”[①]专题会上有四个人演讲：吴健雄、莱德曼、泰莱格迪和我。这个专题会以后，紧接着的是一个**计划中的**天体物理学专题会。那个会上的一位演讲者利昂娜·马

① *Bulletin of the American Physical Society* **2**, 249 (1957).

歇尔(Leona Marshall)后来抱怨说，大部分听众的心思都被宇称问题吸引住了，没人听她的演讲。

Λ^0的产生和衰变中的上—下不对称性实验，是检验宇称不守恒思想开始产生的实验（参见【56h】的后记），因为Λ的产生很慢，使实验做起来比较困难。论文〖57j〗特别强调寻找这种不对称性十分有价值。有几个实验小组已经开始做这个实验，但是直到1957年秋才得到有肯定结论的实验报告①，指出超子衰变中宇称是不守恒的。

① F. S. Crawford, Jr., M. Cresti, M. L. Good, K. Gottstein, E. M. Lyman, E. T. Solmitz, M. L. Stevenson and H. K. Ticho, *The Physical Review* **108**, 1102 (1957); F. Eisler, R. Plano, A. Prodell, N. Samios, M. Schwartz, J. Steinberg, P. Bassi, V. Borelli, G. Puppi, G. Tanaka, P. Woloschek, V. Zoboli, M. Conversi, P. Franzini, I. Mannelli, R. Santangelo, V. Silvestrini, D. A. Glaser, C. Graves and M. L. Perl, *The Physical Review* **108**, 1353 (1957).

【57h】“量子力学和量子统计力学的多体问题”后记

Many-Body Problem in Quantum Mechanics and Quantum Statistical Mechanics

The Physical Review **105**, 1119 (1957)

T. D. Lee and C. N. Yang

1956 年的 7—12 月，李和我的注意力转向了多体问题。虽然部分原因是我们并没有真的期望吴健雄的实验会有一个戏剧性的结果，但主要原因是我们在那个时期在多体问题上取得了可观的进展。

在 1955 年秋，黄克孙成为普林斯顿高等研究院的一员。他给我介绍了一种由费米、布赖特（G. Breit）以及布拉特和韦斯科夫发明的赝势法（pseudopotential method），这种方法可以用来研究两个短程相互作用粒子的长波长之间的相互作用。黄克孙、鲁丁格和我那时对超流氦的特性有兴趣，于是我们把赝势法用在研究相互作用的多体系统上。我们对稀薄硬球的玻色系统进行微扰法计算，得到玻色气体逸度级数（fugacity series）按 α/λ 幂级数展开的前

几项，其中 λ 是热波长 (thermal wavelength)：

$$\lambda = \sqrt{2\pi\hbar^2/mkT}$$

α 是硬球的直径。我们还按照 $P_F\alpha$ 幂级数展开，得到了稀薄硬球费米系统基态能量的前几项，其中 P_F 是系统的费米动量。

虽然这个结果很令人满意，用 α 幂对稀薄硬球玻色系统做类似的计算，我们得到：

$$E_0 = N\frac{4\pi\alpha(N-1)}{L^3}\left\{1 + (2.37)\frac{\alpha}{L} + \frac{\alpha^2}{L^2}\left[(2.37)^2 + \frac{\xi}{\pi^2}(2N-5)\right]\right\} + \cdots \quad (1)$$

式中 N 是硬球数目，$L \times L \times L$ 是包容这个系统的周期盒子(periodic box)，还有

$$\xi = \sum_{l,m,n,=-\infty}^{\infty} (l^2 + m^2 + n^2)^{-2}, \quad (l,m,n) \neq (0,0,0)$$

我们选择的单位使得 $\hbar = 1$，$2m = 1$。对保持固定的 $\rho = NL^{-3}$，使 $L \to \infty$ 时，(1) 没有意义，因为

$$\frac{\alpha^2\xi}{L^2\pi^2}(2N-5) \to \infty$$

这一结果让我们困惑了几个月，一直到 1956 年 10 月我们才把这个研究结果拿去发表，这就是论文〖57a〗和〖57b〗。

1956 年 3 月和 4 月，我开始研究用另一种方法计算稀薄硬球系统的逸度展开和系统的基态能量。但是因为罗彻斯特会议和 4—6 月为解决 θ-τ 之谜的紧张工作，这一

计算没有大的进展。7 月，当【56h】和〖56i〗两篇论文写完以后，我就回到多体问题上，并且使李对此也发生了兴趣。我们的研究取得了进展，得到一个新方法，我们称之为“两体碰撞展开”(binary collision expansion)。[①]用这个方法我得到硬球玻色系统的逸度和硬球费米系统的基态能量按照 (a/λ) 幂级数展开的前几项。如前面所说，这两个结果已经被黄克孙、鲁丁格和我用赝势法得到过。

李和我转向用两体碰撞展开方法研究玻尔兹曼系统或者玻色系统的基态能量。我发现一种对发散性最大项求和的技巧，用这种技巧我们发现，上面 (1) 式中带来麻烦的一项在求和以后消失了，于是得到：

$$\frac{E_0}{N}=4\pi a\rho\left[1+\frac{128}{15\sqrt{\pi}}\sqrt{\rho a^3}+\cdots\right] \qquad (2)$$

这个结果使我们非常高兴，尤其是 $\sqrt{\rho a^3}$ 这一项，我们没有任何详细计算，只凭对最发散项 (most divergent terms) 求和的技巧就得到了。(参见【57q】)

(2) 式中的第一项 $4\pi a\rho$，普莱斯 (P. Price) 在 1951 年、我们在 1953 年就得到了。1929 年，楞兹(W. Lenz) 曾经给出一个公式，它可以计算一个粒子通过一群其他固定粒子运动时的基态能量，其结果与这一项基本相同。(参见〖57a〗的脚注 6 和 7) (2) 的第二项是一个新的结果。

---

① 这方面以后的研究进展可以参见【59b】和 L. D. Fadeev, *Mathematical Aspect of the Three Body Problem in the Quantum Scattering Theory*, translated by Ch. Gutfreund and I. Meroz (Israel Program for Scientific Translation, 1965)。

对最发散项求和的技巧，从数学观点看是相当冒险的，但是它已经广泛地应用于统计力学和场论，不过在有些情形下不能用它。①

在得到（2）式后不久，黄、李和我很快发现用赝势法也可以得到这个式子（参见【57i】的后记）。由于前面提到的原因和要与厄姆合写一篇文章，李和我没有时间把两体碰撞法和（2）式的推导全部写下来，所以在1956年12月10日我们把得到的结果写了一个很短的总结，这就是【57h】。我们的注意力很快就集中到宇称不守恒上面。不过我们还是挤出时间写了（2）式赝势法的证明，这就是论文【57i】。论述两体碰撞法的论文，一直推迟到1958—1959年才写完并投稿。

【57h】里的公式（5）有错误（参见【58d】的脚注）。

展开式（2）的第二项后来被吴大峻、赫根霍尔兹(N. Hugenholtz）和派因斯（D. Pines）以及被萨瓦达(K. Sawada）分别得到。参见【60g】参考文献1。

① 参见 T. T. Wu, *The Physical Review* **149**, 380 (1966)。

【57i】“硬球玻色系统的本征值和本征函数及其低温性质”后记

Eigenvalues and Eigenfunctions of a Bose System of Hard Sphere and Its Low-Temperature Properties

The Physical Review **106**, 1135 (1957)

T. D. Lee, Kerson Huang and C. N. Yang

论文【57h】后记中的公式（2），是由两体碰撞展开法得到的，自然会把它和同一后记里黄克孙和我得到的方程（1）相比较。方程（1）里有一项 $a^2\ \xi\ 2N/L^2\ \pi^2$ 会引起一些麻烦。当 $NL=\rho^{-3}=$ 固定值，而 $L\to\infty$ 的时候，这一项发散。我明白，对发散性最大项求和的方法，实际上就是要对这些发散项的一个无穷级数求和，这个级数的幂是 aN/L。这样我们有希望得到公式（2）。

在能做此事之前，我发现（1）式是错误的，因为把赝势法用在这个问题上是不正确的。仔细的考察发现，可以通过一个相减的方法（method of subtraction）就又使赝势法可以正确地运用。现在，通过一个简单的计算，黄克孙、李政道和我就得到了【57i】的结果。在该文第 1 节末和第 4 节里有上述的要点。我们还得到基态附近的激发谱。

【57o】“自旋 1/2 超子衰变的一般分波分析”后记

General Partial Wave Analysis of the Decay of a Hyperon of Spin 1/2

The Physical Review **108**, 1645 (1957)

T. D. Lee and C. N. Yang

1957 年，Λ 衰变中宇称不守恒的实验促使李和我写了这篇论文【57o】。该文定义了参数 α,β,γ。直到今天，粒子表里还用到它们。①

1965 年，我发现这篇文章方程 (4) 里有一处错误。这一错误我在 1965 年 5 月 25 日给克罗宁②的信里提到过。③

① R. L. Kelly et al., *Review of Modern Physics* **52**, S1 (1980).

② 克罗宁 (James W. Cronin, 1931—), 美国物理学家，1980 年获得诺贝尔物理学奖。——译注

③ R. L. Kelly et al., *Review of Modern Physics* **52**, S12 (1980), footnote 2.

【57q】“量子力学多体问题和硬球玻色系统的低温性质”后记

Quantum Mechanics Many-Body Problem and the Low Temperature Properties of a Bose System of Hard Sphere

In *The Many-Body Problem*, ed. J. K. Percus (New York: Wiley-Interscience, 1963)

Kerson Huang, T. D. Lee and C. N. Yang

论文【57q】对两体碰撞法和赝势法在1957年1月的现状做了一个综述，在斯蒂文斯研究所会议（Stevens Institute Conference）上报告。虽然我们及时把稿件交给了会议组织者，但是会议文集直到1963年才出版。此后许多年，这篇论文仍然是对两体碰撞法中最发散项求和法的最详尽论述。

【57s】“宇称守恒定律和物理学其他对称性定律”后记

The Law of Parity Conservation and Other Symmetry Laws of Physics

In *Les Prix Nobel* (Stockholm: The Nobel Foundation, 1957); also in *Science* **127**, 565 (1958)

C. N. Yang

1957 年 10 月末，该年度诺贝尔物理学奖宣布授予李和我，给我带来了极大的兴奋。好几天各地涌来贺喜的电话和电报没有断过。这也使我想起了一些往事：我的研究兴趣几乎完全局限在对称性原理和统计力学领域里。我要深深感谢吴大猷老师和王竹溪老师把我领进了这两个领域。10 月 31 日我在给吴大猷老师的信里写道：

> 在这个极为令人兴奋的时刻，也需要深刻的自我反省。在 1942 年春您把我引进对称性定律和群论领域，对此我要向您表示深深的感激之情。这以后我大部分工作，包括宇称问题，都直接或者间接起源于 15

年前的春天承您启发的想法。这是我一直想告诉您的一件事，而今天是一个特别恰当的机会。

诺贝尔委员会要求每一位获奖者为自己写一个简介，后来登在《1957 年诺贝尔奖》上。在我的简介里，我特别提到在吴大猷、王竹溪和特勒指导下的三篇学位论文，对引领我进入我感兴趣的领域有关键性的帮助。我也强调了费米对我事业发展有重要的影响。

在斯德哥尔摩的演讲中，李和我同意由我来讲在宇称不守恒实验发现之前宇称问题研究的进展，而他来谈以后的进展。【57s】就是我的讲稿。为了准备这个演讲，我对 C，P，T 和 I 对称性[①]的历史做了一些研究。对 CPT 定理，我仔细阅读过施温格、吕德斯、泡利和约斯特(R. Yost) 的文章。

1982 年的今天，物理学中对称性的重要性已经提升到一个新的水平，我把它描述为“对称性决定相互作用”(symmetry dictates interactions)。参见【80b】。

① C 代表电荷共轭变换，P 代表空间反演，T 代表时间反演，I 代表同位旋变换。——译注

【57t】“1957年12月10日在诺贝尔宴会上的讲话”后记

In *Les Prix Nobel* (Stockholm: The Nobel Foundation, 1957)

C. N. Yang

这个讲话是差不多四分之一个世纪以前在斯德哥尔摩市政大厅装饰华丽的蓝色厅讲的。自那以后又发生了许多事情，但是今天再读这篇演讲，我知道我没有什么改变。

【58a】“由 Λ^0 衰变具有大的角不对称性确定 Λ^0 自旋的可能性”后记

Possible Determination of the Spin of Λ^0 from Its Large Decay Angular Asymmetry

The Physical Review **109**, 1755 (1958)

T. D. Lee and C. N. Yang

1957 年 4 月，我们全家到巴黎做第一次欧洲旅行。我到巴黎高等师范学院做报告，后来又到日内瓦，在欧洲核子研究中心（European Organization for Nuclear Research，CERN）工作了两个月。当时 CERN 的第一批大楼刚刚落成，但是理论物理学家的办公室还在从机场租来的活动房屋里。塔蒂亚娜·法贝热（Tatiana Fabergé）那时就是理论小组的秘书，今天还是她。那个夏天，在物理学家中我与费雷蒂（L. Ferretti）、皮乔尼（O. Piccioni）和斯坦伯格讨论问题最多。

我们全家在 8 月末回到美国，在布鲁克海文待了一个月，然后回到普林斯顿高等研究院。

由于弱相互作用中宇称不守恒的发现，核物理学家和

高能物理学家一下子都涌进来，研究各式各样的弱相互作用。1957 年，有很多 β 衰变的实验，其中一些用宇称不守恒作为新的研究工具，也有一些用 1957 年以前就知道的方法。特别重要的一个进展，是测量 β 衰变中电子的纵向极化 (longitudinal polarization)。李和我在 1956 年就想到过这类实验，但是那时我们认为纵向极化非常非常难以测量出来，因此在【56h】里所建议的实验名单中没有包括这个实验。没有想到的是，当电子束穿过电场的时候，纵向极化很容易转变成横向极化，而后者很容易测量。

1957 年春夏，很多物理学家主要努力在确定 β 衰变的精确耦合上。由于我们全神贯注在规范概念上，李和我就偏向于矢量和轴矢量型的。在 1957 年 4 月 15—19 日的罗彻斯特会议第九个分会中，提奥穆诺讲话后，我着重指出："假如 β 衰变的相互作用被证明果真是矢量型而不是标量型的，那么我们就可以提出一个问题：这些矢量型相互作用与矢量场（它们似乎总是起源于一些局域守恒定律）有没有关系？"[①]不幸的是，实验结果很混乱，不同的实验给出不同的和彼此矛盾的结果。到了夏天矛盾越来越深。我在 CERN 和后来在布鲁克海文时，决定把这个问题弄清楚，仔细审查实验论文的细节并且向 β 衰变实验的专家请教。最后我得出结论，鲁斯

① *High Energy Nuclear Physics*, Proceedings of 1957 Rochester Conference, Session IX (New York: Wiley-Interscience, 1957).

达德（B. M. Rustad）和鲁比（S. L. Ruby）的氦 6 实验最可靠。

但是这个战略错了。夏末，费曼和盖尔曼、苏达山（E. C. G. Sudarshan）和马沙克（R. E. Marshak），还有樱井纯，用**理论**推理的方法得出结论：β 衰变是 V-A 耦合，氦 6 的实验很可能是错误的。樱井纯的论文脚注里写道：

> 也许应该指出的是，本文作者在得知费曼—盖尔曼—苏达山—马沙克理论的几周前，就想到用 V 和 A 来拟合 β 衰变实验和 π-μ-e 系列衰变实验。[①] 但是杨振宁教授反对这种想法，因为他认为氦 6 反冲实验是一个更可靠的实验。——杨振宁私人通信。[②]

樱井纯没记错。他在夏天访问布鲁克海文的时候，我的确口头上把我的结论告诉过他。

虽然 V-A 耦合的建议在理论上非常吸引人，特别是费曼和盖尔曼的矢量流守恒的想法，还需要实验证实，因为氦 6 实验的错误还没有找到。哥德哈伯、格罗金斯（L. Grodzins）和森雅（A. W. Sunyar）解决了这个问题，在一个绝顶聪明的实验中测量出中微子的螺旋性（helicity），其值为 -1。这是 V-A 耦合的一个决定性证据，在有关 β 衰变的知识上翻开了新的一页。这个实验完成于 1957 年

---

① V-A 理论，中子与质子或中微子与电子不仅形成了矢量流（vector-current，V），而且还形成了一种轴矢量流（axial current，A）。——译注

② J. J. Sakurai，*Il Nuovo Cimento* **7**，649（1958）.

的12月初，我记得在我和致礼动身去斯德哥尔摩的前几天，哥德哈伯在电话里告诉我这个结果。

普林斯顿高等研究院邀请李在1957—1958学年做学术访问。1957年秋，李全家搬到普林斯顿，在一个新住宅区定居。这样，我们的合作更加方便。我们的研究写在论文【58a】里。这是一篇优雅的（elegant）论文，对用实验测量超子自旋很有用处。

【58d】“稀薄硬球玻色系统的低温行为 (I) 平衡的性质”后记

Low-Temperature Behavior of a Dilute Bose System of Hard Sphere (I) Equilibrium Properties

The Physical Review **112**, 1419 (1948)

T. D. Lee and C. N. Yang

这篇论文和它的续篇【59a】，是【57i】的后续。同样的方法在以前的论文里用到过。现在考虑的是不完全零动量状态时，处理温度高于开氏温标零度情形下稀薄硬球玻色系统的简并相 (degenerate phase)。

如论文【57h】、【57i】和【57q】后记所说，1956 年秋，李和我在多体问题上花了很多时间。当时有很多研究方向可能获得结果，例如系统陈述两体碰撞展开方法就还没有完成。当吴健雄的实验的消息在 1956 年年底传来后，我们把全部注意力立即转向基本粒子物理。这个情况持续了将近一年。后来，在有时间去想基本粒子以外的问题时，我们才再次回到多体问题，并做出【58d】和〖59a〗的研究。这两篇论文在热力学函数以及低温时简并稀薄玻色系统的迁移性质方面，取得了新的成果。

【59b】“量子统计力学中的多体问题 (I) 一般表述”后记

Many-Body Problem in Quantum Statistical Mechanics
(I) General Formulation
The Physical Review **113**, 1165 (1959)
L. D. Lee and C. N. Yang

正如【58d】后记里所说，当1958年基本粒子研究压力有些放松的时候，李和我又把一些时间放在统计力学上。在1958—1959年我们写了一系列以【59b】为首的五篇论文。这系列前三篇的工作在1956年就已经完成；在后两篇〖60b〗和〖60c〗里，我们试图发现超流氦相变的精确性质。

〖60b〗的基本思想，是用动量空间平均占有数来表述巨配分函数 (grand partition function)。结果中的变分原理很优雅。接着李想到一个很好的推广方法，让我们能够用相似的方式处理一个间并系统。由此得到 x 系综和论文〖60c〗。有一段时间，我们觉得有希望得到过渡到超流相的相变的精确性质，或者能够对这些相变进行分类。不幸的是我们没有能够做到这一点。

【59c】“现代物理学里的对称性原理”后记

Symmetry Principle in Modern Physics

Lecture given at the 75th Anniversary Celebration of Bryn Mawr College, Session on Symmetries, November 6, 1959

Unpublished

C. N. Yang

布林茅尔学院 (Bryn Mawr College) 决定提前一年，在1959年庆祝她的75周年校庆。庆典的一部分是学院组织了一个讨论“对称性”的会议。【59c】是我在会议上的讲话。

当我今天重读这篇论文的时候，让我吃惊的不是我对规范理论或用对称性产生相互作用上没有成功毫不在意，也不是我对必须了解对称性之间的关系和概念上的统一的强调，我已经在1955年、1956年和1957年的罗彻斯特会议上强调过这些观点。让我吃惊的是在1959年，虽然南部阳一郎(Y. Nambu)、杰弗里·丘、弗雷泽 (W. Frazer)、福尔科 (J. Fulco) 和许多其他理论物理学家已经认为存在附加共振态(additional resonances) 时，却没有一个人料想到**大量**共振态的存在，而且它们很快就被发现了。

【60d】“可能实现的高能中微子实验的理论探讨”后记

Theoretical Discussions on Possible High-Energy Neutrino Experiments

Physical Review Letters **4**, 307 (1960)

T. D. Lee and C. N. Yang

1959 年夏天，我开始对我弟弟杨振平用计算机模拟相变的工作发生了兴趣。他是这个新研究领域的开拓者，对理论分析做出了很好的贡献。例如，他指出在得到一组组态 (configurations) 以后，我们不仅仅要计算各种平均值，如平均能量 E 和平均比热 C，还应该计算它们的标准偏差 $\sigma(E)$ 和 $\sigma(C)$。他还分析了马尔科夫触发过程 (flipping process) 趋向平衡的速率。后来他在 IBM 的托马斯·沃森研究中心 (Thomas J. Watson Research Center) 的 7090 计算机上编了一个程序，在二维和三维伊辛晶格计算上得到令人瞩目的结果。他的研究在 1962 年 12—14 日芝加哥会议上宣读，并于 1963 年发表。[①]

① C. P. Yang, *Proceedings of Symposia in Applied Mathematics* **15**, 351 (1963).

1959 年秋，李使我对如何在弱相互作用中获得更多的实验信息有了兴趣。但是我们没有找到任何好的方法。李与他的哥伦比亚大学同事们讨论这个问题，有一天施瓦兹[①]忽然想到一个点子，应用高能中微子和反中微子束来研究它们与核子和原子核的相互作用。后来研究的进展清楚地证明，这是一个十分重要的建议。那时我们都不知道，蓬泰科尔沃（B. Pontecorvo）在几个月以前就提出过这样的建议。[②]

以上所说就是【60d】的起源，它讨论了高能中微子实验的理论意义。这篇文章紧跟着施瓦兹的文章，在《物理评论快讯》同一期上刊出。

---

① 施瓦兹（Melvin Schwartz，1932— ），美国物理学家，1988 年获得诺贝尔物理学奖。——译注

② B. Pontecorvo，*JETP* **37**，1975（1959）.

【60e】“弱相互作用里中间玻色子基元的推论：中间玻色子四重态的存在及其对偶同位旋变换的性质”后记

Implications of the Intermediate Boson Basis of the Weak Interaction: Existence of a Quartet of Intermediate Bosons and Their Dual Isotopic Spin Transformation Properties

The Physical Review **119**, 1410 (1960)

T. D. Lee and C. N. Yang

随着1957年β衰变中 *V-A* 耦合的确立，理论物理学家对弱相互作用、电磁相互作用以及矢量介子做了很多猜测，其中有些发表了，有一些没有发表。发表的有施温格、格拉肖[①]、布鲁德曼（S. A. Bludman）、萨拉姆、沃德、罗普斯（J. L. Lopes）等等。罗普斯的论文从今天的观点看，具有特殊的意义，但是当时没有引起人们的

① 格拉肖（Sheldon L. Glashow，1932— ），美国理论物理学家，1979年获得诺贝尔物理学奖。——译注

注意。[1]

20 世纪 50 年代末，非阿贝尔规范理论在美感上的魅力已经得到广泛的认同。因此有许多猜测：弱相互作用中的 W 矢量介子就是规范玻色子。

由于我们一贯的谨慎态度，所以李和我不愿意支持过分猜测性的想法，虽然我们一直对规范玻色子与 W 粒子之间的可能关系乐观其成（参见【58a】的后记）。于是我们专注在这个假设（W 粒子就是弱相互作用的传递者）的逻辑和唯象方面的后果。这就是【60e】的缘由。在这篇文章里，我们利用一个对实验物理学家不可缺少的相消方案，我们称之为分裂者方案（schizon scheme）。我们也花了不少时间与马克斯坦（Markstein）一起，对中微子束产生 $W^{\pm}$ 粒子的截面进行数值计算，计算的结果写在〖61e〗里。

① J. Leite Lopes, *Nuclear Physics* **8**, 234 (1958).

【60g】“非理想的玻色系统”后记

Imperfect Bose System

Physica **26**, S49 (1960)

C. N. Yang

这篇论文是我在1960年乌特勒支（Utrecht）多粒子问题会议上的演讲。

据我所知，在第1节末尾提的问题至今还没有解决。第6节讨论的内容与后面的一篇文章【62j】有直接关系。

【61a】“《介子是基本粒子吗？》一文引言”后记

Introductory Notes to the Article “Are Mesons Elementary Particles？”

In *The Collected Papers of Enrico Fermi*, Vol. 2 (Chicago: University of Chicago Press, 1965)

C. N. Yang

塞格雷[①]是《费米文集》的编辑，早在20世纪60年代初他就要我为1949年费米和我合写的文章写一篇引言。我决定把我在芝加哥大学当研究生时受费米影响的经历写出来。这就是文章【61a】。

费米无论是作为一位物理学家还是作为一位普通人，都受到所有人深深的敬重。之所以如此，我相信是由于他坚实可靠。在任何事情上，他都能够显示出这种

① 塞格雷 (Emilio G. Segré, 1905—1993)，意大利出生的美国物理学家，1959年获得诺贝尔物理学奖。——译注

性格的基本力量。50年代初的一天，时任原子能委员会（AEC）中的一个重要的总顾问委员会（General Advisory Committee，GAC）主席的奥本海默告诉我，当费米在GAC里任期届满时，奥本海默试图劝费米继续留在GAC里。费米不愿意，奥本海默坚持要他留下。最后费米说："你知道，对于政治方面的一些事情，连我自己都不能永远信任自己的意见。"

【61b】“整体对称性的一些思考”后记

Some Considerations on Global Symmetry

The Physical Review **122**, 1954 (1961)

T. D. Lee and C. N. Yang

1960—1961 年，李和我对强相互作用的更大对称群做了一些推测。论文【61b】就是这些推测中之一，它写于 1960 年令人兴奋的几个新的共振态实验发现之后。

1960 年末到 1961 年初，我们在普林斯顿高等研究院对更大对称群做了很多讨论。【61b】的脚注 14 指出，斯派瑟和塔斯基（J. A. Tarski）对 SU_3 的可能性做了很多工作。那是在收到盖尔曼论述 SU_3 的预印本之前的事。由于某些原因，他们在很久之后才发表他们的文章。

在 20 世纪 50 年代末，规范理论的思想就开始应用于强相互作用和弱相互作用中。1960 年，樱井纯发表了一篇论文，他积极建议把非阿贝尔规范理论应用于强相互作用中。[①]他把这个理论称之为 VTSI——强相互作用矢

① J. Sakurai, *Annals of Physics* **11**, 1 (1960).

量理论 (vector theory of strong interactions)。这篇文章的摘要是我所见到的物理学论文中最长的。在 ρ 和 ω 发现以后，他给我写了一封信，表达他的不满。他认为我**对他“过去两年来从事的工作，既淡漠也不太关心”**。他问我为什么如此**“漠然”**，接着还写道：

> 您常对年轻的理论物理学家说，理论物理学家最重要的任务之一就是建议做一个好的实验。然而当你们在1954年提出杨—米尔斯理论的时候，您并没有鼓励实验物理学家去寻找“杨—米尔斯粒子”。这是为什么？

我记得我对这封信坐着思考了很长时间，因为不知道怎样回答他的问题。我也不记得我最后回了信没有。如果回了，想必也只是讲了一些没有实质内容的客套话。

50年代末，苏联有一些人对规范理论也已经有相当大的兴趣。1964年，伊万宁科 (D. Ivannienko) 把15篇规范理论的俄译文编成一本名叫《基本粒子和规范场理论》的书，其中包括樱井纯、盖尔曼、格拉肖、施温格、萨拉姆、沃德、乌提亚马 (R. Utiyama)、基布尔 (T. Kibble)、内埃曼(Y. Néeman) 和德埃斯帕纳特 (B. d'Espagnat) 的论文，也包括我的论文【54c】和【55b】。

【61c】“超导圆柱体中磁通量量子化的一些理论思考”后记

Theoretical Consideration Concerning Quantum Magnetic Flux in Superconducting Cylinders

Physical Review Letters **7**, 46 (1961)

N. Byers and C. N. Yang

1961 年春，我到斯坦福大学访问了几个月。我对那儿活跃的研究氛围有很深的印象，而且那儿气候非常宜人。在我到那儿不久，范尔班克（W. M. Fairbank）向我展示他和迪弗（B. S. Deaver）正在做的超导体中可能的磁通量量子化实验。

范尔班克是从杜克大学来到斯坦福大学的。1957 年他在杜克大学完成了一个非常漂亮和困难的实验，发现液氦在 λ 相变点有无限大的比热。[①]这个实验之所以重要是因为：（1）有很大的精确性；（2）解决了理论物理学家一

① W. M. Fairbank, M. J. Buckingham and C. F. Kellers, *Proceedings of the Fifth International Conference on Low Temperature Physics* (Madison, Wisconsin, 1957), p. 50.

个一直有争论的问题——λ 相变点的比热到底是有限还是无限；(3) 它是一系列决定相变性质实验中的第一个。这些实验把临界指数 (critical-indices) 研究方法用到相变研究上，这是 20 世纪 60 年代的一个重要发展。我在杜克大学见到过范尔班克的实验设备，它们的精巧，当然还有他的实验结果，都给我留下深刻的印象。

磁通量量子化的实验是非常困难的实验。当范尔班克向我演示他和迪弗正在做的实验以后，他问我，如果他们成功地发现了磁通量量子化，那算不算得上是一个新的物理学原理？ 在这次谈话前，我没有想过磁通量量子化的问题，所以我无法回答。

过后，拜耶斯 (N. Byers) 和我开始研究这个问题。这个问题以前伦敦 (F. London) [①]和昂萨格讨论过。[②]我们逐渐明白，虽然他们对超导环可能出现磁通量量子化的洞察力令人钦佩，而且也可能是正确的，但是他们的推理却是错误的，特别是伦敦在《超流体》(*Superfluids*) 一书里对这个问题所做的最完整讨论也是不正确的。因为这推理基于一个错误的假设，即假设磁通量存在时超导体的波函

---

① F. London, *The Physical Review* **74**, 562 (1948); F. London, *Superfluids* (New York: Wiley, 1950), Vol. 1, p. 152.

② L. Onsager, *Proceedings of the* 1953 *International Conference on Theoretical Physics* (Tokyo: Science Council of Japan, 1954), pp. 935, 936. 也参见 L. Onsager, *The Physical Review* **7**, 50 (1961)，昂萨格在这篇文章里讨论他 1953 年的观点。范尔班克在 1861 年问我的问题，在昂萨格 1953 年的讨论中似乎提到过。

数，与磁通量不存在时的波函数成正比。正如布洛赫[①]和罗尔斯查敕（H. E. Rorschach）后来指出的一样，如果伦敦的推理是正确的话，所有的环在任何温度下都具有量子化的磁通量，而这是不对的。[②]

拜耶斯和我有一段时期十分困惑：按照已知的物理学原理，在超导环里到底应不应该有磁通量量子化。正当这时，迪弗和范尔班克的实验得到了初步的结果，他们还给布洛赫、拜耶斯和我看过他们的实验。迪弗和范尔班克认为他们的结果证实了磁通量量子化；但是布洛赫、拜耶斯和我认为结果还不是很清楚。之后不久，我到东岸去了几天，等我再回到斯坦福的时候，迪弗和范尔班克正在用第二个样品做实验，在他们打印出的一张关键性的图上[③]，出现了漂亮的“阶跃”(step)。即使理论物理学家也可以看出，磁通量量子化真的出现了。又过了一些时，拜耶斯和我终于明白，磁通量量子化的确遵守通常的物理学原理，即超导的 BCS 原理。[④]这就是【61c】的来源。

---

① 布洛赫 (Felix Bloch, 1905—1983)，瑞士出生的美国物理学家，1952 年获得诺贝尔物理学奖。——译注

② F. Bloch and H. E. Rorschach, *The Physical Review* **138**, 1697 (1962); F. Bloch, *The Physical Review* **137** A787 (1965).

③ B. S. Deaver and W. M. Fairbank, *Physical View Letters* **7**, 43 (1961). 在这一期里还有 R. Doll 和 M. Näbauer 报告他们独立完成的一个发现磁通量量子化的实验。

④ BCS 理论是美国物理学家巴丁 (J. Bardeen)、库珀 (L. N. Cooper) 和希福尔 (J. R. Schrieffer) 三人合作提出的超导性理论，简称为 BCS 理论。他们三人因此而分享 1972 年诺贝尔物理学奖。其中巴丁还因为发现晶体管效应与别人分享 1956 年诺贝尔物理学奖。——译注

迪弗和范尔班克的初始实验结果再一次提醒我，每个领域的专家的确具有特殊的洞察力，可以看到一些没有这种训练的非专家看不到的事情。然而我相信布洛赫、拜耶斯和我所持的怀疑是一种健康的态度。不盲目相信实验，对我们研究领域的进步是至关重要的；当然，反过来讲也是正确的（也许更加正确），即实验物理学家也决不能被理论物理学家严厉的批评所吓倒。一百年前，当麦克斯韦（J. C. Maxwell）写信给法拉第（Michael Faraday），说他希望用数学语言表达法拉第的物理思想时，法拉第在1857年3月25日写了一封回信：

> 阁下台鉴：
>
> 我收到您的信，非常感谢。对您说的有关“力线”的事，我不敢冒险地说谢谢您，因为我知道您这么做是为了哲学真理的原因；但是可以说您的工作使我高兴，它激励我继续思考。当我开始看到您在这一客体上构造这样一种数学力的时候，甚至有一些害怕，然后我怀疑您能把这个客体处理得很好。①

① L. Campell and W. Garrert, *Life of J. C. Maxwell* (New York: Macmillan, 1884), p. 200.

【61f】“物理学的未来”后记

The Future of Physics

Panel Discussion at the MIT Centennial Celebration,

April 8, 1981

Unpublished

C. N. Yang

1961 年 4 月，是麻省理工学院（MIT）百年校庆的日子。时值美国物理学界对未来有着前所未有的自满和乐观的展望。许多人内心有一种期望：**所有**的基本问题在短时间里都可以解决；或者有一种假设：物理学家可以克服**任何**困难。有了 20 世纪四五十年代科学和技术惊人的进步，这样的感觉也就不令人惊奇了。（似乎为了印证这种乐观的气氛，在 MIT 校庆过后没有几天，苏联就成功地发射了一颗载人的人造卫星进入绕地球的轨道。）

作为百年校庆的一部分，MIT 组织了一个关于物理

学未来的小组讨论会，费曼、考克饶夫特[①]、派尔斯(R. Peierls) 和我是小组委员会成员。我决定在我的简短讲话中插入一些“不同的意见”，这就是【61f】。

二十年过去了，不幸的是我在1961年演讲中提出的警告并没有错。当然，过去的二十年无论是实验物理或者是理论物理都取得了令人兴奋的重要进展。但是我感到今日物理学所遇到的困难有增无减。一方面，现代的物理实验越来越复杂和费用越来越高，其中每一项实验都需要好几年去准备和执行。现在高能物理实验需要的周期很长，而且不幸的是，以后还会变得越来越长。另一方面，高能物理理论也越来越复杂，理论物理学家之间以及理论物理学家与实验物理学家之间彼此越来越隔膜。这样发展的结果是，我们的理论物理学研究生，乃至于一些实验物理学研究生，离开物理现象越来越远。但是物理现象说到底是物理学的源泉。这不是任何人的过错，但是却不得不使人为此担忧。我担心，爱因斯坦和我们曾经梦想的终极大一统，将继续到下个世纪仍无法掌握。

---

① 考克饶夫特 (John D. Cockcroft，1897—1967)，英国物理学家，1951年获得诺贝尔物理学奖。——译注

【62b】“单 π 介子交换模型的检验”后记

Tests of the Single-Pion Exchange Model

Physical Review Letters **8**, 140 (1962)

S. B. Treiman and C. N. Yang

在20世纪60年代初，用单 π 介子交换作为强相互作用模型非常普遍。论文【62b】里给出一些简单的检验，看这个模型在不同的实验里有多好。

【62g】“悼念马仕俊博士”后记

Obituary for Dr. Shih-Tsun Ma

Unpublished

T. D. Lee and C. N. Yang

1962 年初，马仕俊博士在澳大利亚自杀。李和我得知这一噩耗时都十分震惊。我们为《自然》（*Nature*）杂志写了【62g】，但是编辑拒绝发表，原因可能是我们对美国移民局所做的批评。这些批评的根据是我们对马仕俊个人感受的了解，以及他给吴大猷的一封信。吴大猷是马仕俊的老师和同事，他们的关系非常密切。

【62i】“与电磁场有相互作用的带电矢量介子理论”后记

Theory of Charged Vector Mesons Interacting with the Electromagnetic Field

The Physical Review **128**, 885 (1962)

T. D. Lee and C. N. Yang

1960 年，李和我决定系统地研究与电磁场有相互作用的带电矢量介子的理论。这是我们在【60d】和〖61e〗所做工作的继续，那两个工作只涉及低阶计算。我们知道带电矢量介子此前还没有在理论上被系统研究过，因此决定深入地研究这个较为繁复的问题。我们开始用正则形式，遵循通常的戴森—威克程序 (Dyson-Wick procedure)，得到了费曼图。结果十分复杂，更加糟糕的是出现了含有 $\delta^4(0)$ 的一些非常发散项，而且带有不是相对论协变的系数。经过一番周折，我决定在拉格朗日量上加上一项

$$-\xi \frac{\partial \phi_\mu^* \partial \phi_\nu}{\partial x_\mu^* \partial x_\nu}, \tag{1}$$

这项使时空指标 1，2，3，4 可以同等处理，从而消除了引

起麻烦的 $\delta^4(0)$ 项。在 $\xi \to 0$ 的极限过程中就可以理解 $\delta^4(0)$ 这一项的起源，在论文【62i】的附录 E 里对此做了解释。

在这一点上，吴大峻做过一个非常好的建议，即(1)式的 ξ 项应该是电磁规范不变的。这一点李和我都同意。

费曼图现在成了协变的，而且不包含 $\delta^4(0)$ 项，但是不能重正化。李建议引进一个负度规，这个理论就可以重正化了。(李至少在 20 世纪 50 年代讨论李模型的时候，就开始对负度规感兴趣。)

我们把最后得到的这个理论称为“ξ 极限形式”。在论文【62i】做了介绍。这个结后来在不同情况下被用在规范理论上。①

ξ 极限形式具有非常有意思的特性，即当 $\xi \to 0$ 的过程中，有可能通过对具有最大发散项求和的办法，得到一些确定的结果。紧跟文章【62i】，在《物理评论》同一期上，李发表文章继续沿这方向做了工作。②

【62i】是我与李最后一篇合写的论文。

我们之间的友谊开始于 1946 年，它既密切又热诚。它是基于互相尊重、信任和体恤。1957 年带来了我们的成功。不幸的是，我们的声誉在我们的关系里渗入了一些以往不存在的新因素。此后五年，我们的合作继续颇有收

① 参见 E. S. Abers and B. W. Lee, *Physical Reports* **9C**, 1 (1973)。

② T. D. Lee, *The Physical Review* **128**, 899 (1962).

获，但是我们之间的关系却慢慢地紧张起来。1962 年 4 月 18 日，李和我在他的办公室里做了一次长谈，回顾了 1946 年以来的一些事情：我们早期的关系，包括 20 世纪 50 年代初、1956 年的经历和写出宇称的论文，以及此后的一些发展。我们发现除了一些小枝节外，在重大事件上我们的回忆是一致的。正如家庭矛盾的和解一样，那是一次痛快宣泄情感的经历，有一种解脱和净化的感觉。然而和解没有持续下去。几个月以后我们彻底分手了。

在李和我是朋友的 16 年里，我对他就像是一位兄长。在基本粒子物理学和统计物理学里，我在 50 年代早期就很有名气，因此在我们的合作中我是资深的一方。我清楚地知道，他必须走出我的阴影，我竭力帮助他，对我们合作的性质我对外保持绝对的缄默。在外人看来，我们的合作非同一般的密切，并且对物理学做出了很有成效的贡献。人们对此羡慕，甚至嫉妒。据李自己评估，这种合作对他的事业和成长有决定性的影响。

总而言之，这是我生命中一个有意义的篇章。是的，这里面有烦恼，但是人世间有意义的事情很少是没有痛苦的。

【62j】“非对角长程序的概念以及液氦和超导的量子相位”后记

Concept of Off-Diagonal Long-Range Order and the Quantum Phases of Liquid He and of Superconductors

Reviews of Modern Physics **34**, 694 (1961)

C. N. Yang

我对超流氦的兴趣使得我理解到，在玻色粒子系统里玻色凝聚 (Bose condensation) 的重要性。有一个问题一直困扰着我，就是超流所占的比例有多大。在绝对零度的时候这个比例是 100%。但是从基本原理上应该如何理解这一点呢？ 我在【60g】一文结束的地方曾经猜想，这与约化密度矩阵 (reduced density matrices) ρ_1, ρ_2……的最大本征值有关 (现在我不再这么认为)。这一猜想是受到彭罗斯 (O. Penrose) 和昂萨格文章[①]的影响，他们首先给出在玻色子相互作用下玻色凝聚的精确定义。

① O. Penrose, *Philosophical Magazine* **42**, 1373 (1951); O. Penrose and L. Onsager, *The Physical Review* **104**, 576 (1956).

库珀对（Cooper pairs）和 BCS 理论的提出，成为超导理论的里程碑。[①]它澄清了伦敦、斯查福若斯(M. R. Schafroth)、巴特勒（S. T. Butler）和布拉特等人早期的一些想法[②]，得出超导性是由电子对的玻色凝聚引起的。我与拜耶斯合作的论文【61c】，使我彻底明白了 BCS 理论的重要性。

但是我还是不满意。BCS 的波函数明显捕捉到了超导的本质，可是这本质**到底**是什么？ 我想知道的是，电子波函数的哪一个性质对超导是绝对必需的。换句话说，在一个费米子和玻色子相互作用的系统里，我想知道“玻色凝聚”的精确定义。在 1961—1962 年冬天，我探索过这些问题。结果写出【62j】。我一直很喜欢这篇文章，虽然它明显地还没有完成：例如在第 7 节提出的问题，据我所知至今还没有彻底弄清楚。这些问题十分困难，正如猜测的方程（46）清楚地指出的[③]：为计算超流相的一些物理量，必须**超越**通常的热力学极限，并估算配分函数的对数 lnQ 至 L 量级，而不仅仅是 L^3 量级。

1962 年夏在 CERN 时，我向贝尔（J. S. Bell）谈到【62j】的一些猜想。两天之内，他就证实了其中的一些猜想。[④]

---

① 参见 L. N. Cooper, *The Physical Review* **104**, 1189 (1956); J. Bardeen, L. N. Cooper and J. R. Schrieffer, *The Physical Review* **108**, 1175 (1957)。

② F. London, *Superfluids* (New York: Wiley, 1950); M. R. Schafroth, S. T. Butler and J. M. Blatt, *Helvetica Physica* **30**, 93 (1957).

③ 方程（46）有一个错误，θ 应该是 Φ。

④ J. S. Bell, *Physics Letters* **2**, 116 (1962)；也见[63b]。

【63e】“SU_3的质量公式”后记

The Mass Formula of SU_3

In *Some Recent Advances in Basic Science*, Vol. 1 (New York: Academic Press, 1966)

C. N. Yang

1963 年春，我再度到斯坦福大学待了几个月，在这儿我遇见奥克斯 (R. J. Oakes)。我们对当时十分时髦的核子十重态质量公式很有兴趣。在研究这个公式推导的合理性时，我们仔细研究了在微扰很大的情形下利用微扰理论是否合适，尤其是在相互作用增加的时候，S 矩阵的一些极 (pole) 会改变黎曼叶 (Riemann sheets)。我们在分析中提出的问题都写在论文〖63d〗里。

我们分发了我们文章的预印本以后，洛 (F. Low) 说：“很多人对杨和欧阿克斯提出严厉的批评。”为了回答他们的批评，在 1963 年 10 月贝尔福 (Belfer) 研究生院年度科学会议上，我详细解释了我们的意见。两个月以后，我在 1963 年 12 月 5 日的阿尔贡实验室用户小组会 (Argoone User's Group Meeting) 上，再次做了同样的讲话。这个讲话即【63e】。

【64e】“液气相变中的临界点”后记

Critical Point in Liquid-Gas Transitions

Physical Review Letters **13**, 303 (1964)

C. N. Yang and C. P. Yang

1963 年我访问斯坦福大学的时候，里陀 (W. Little) 告诉我，1962—1963 年苏联好几个实验室发现，在液—气相变时比热呈对数发散。这显然揭开了我们对相变认识的新篇章。后来，杨振平和我写了论文【64e】，文中我们指出格气模型对液—气转变在定性上是一个好的模型。但是，对液态 He^4 必须包括量子修正，这样将会减少比热的峰值。我们还指出，由于新发现对数性发散的比热，有必要审查低温校准的国际标准，以及必须要做的一些可能修正。

1964 年春，我成为了美国公民。

从 1945—1964 年，我在美国已经生活了 19 年，我大部分的成年时期都在美国度过。然而，决定加入美国籍对我来说并不容易。我想，对大多数国家来的移民大都有这样的问题，对于一个具有中国血统的人就更不容易。在中国传统文化里，就根本没有永远移民到别的国家这种

观念。实际上，永久离开中国并移民他国曾经被视为一种叛国的行为。而且，一度有过辉煌灿烂文化的中国在近一百年来一直受到屈辱和剥削，这在每一个中国人心灵里留下痛苦的伤痕。那是没有一个中国人能轻易忘记的一个世纪。我的父亲是一位数学教授，在北京和上海任教，一直到 1973 年去世。1928 年他在芝加哥大学获得哲学博士学位。他视野开阔、胸襟博大，然而我知道，在他心中深处的一个角落里，到死不能原谅我放弃生育了我的国家。

还不止如此。随着时间的流逝，我逐渐知道早期中国人在美国的历史，这是**我们的**历史，它充满了无法叙述的歧视、迫害和屠杀。宋李瑞芳 (Betty Lee Sung) [①]这样总结这段历史：

> 1878 年，特拉基 (Truckee) 镇的中国人，全部被集中起来驱逐出境。
>
> 1885 年，28 名华人在怀俄明州石泉 (Rock Springs) 镇被无耻屠杀。还有许多人受伤，以及数以百计的人被驱逐出他们的家园。
>
> 1886 年，俄勒冈州的木屋 (Log Cabin) 镇又发生

① 宋李瑞芳，1924 年 10 月出生于美国一个穷苦的移民家庭，后来全靠自己的奋斗成为作家、教授。她曾经担任纽约城市大学亚洲系系主任和教授，现在是亚洲人及美籍亚洲人研究所主任。她的第一本著作《金山》(*Mountain of Gold*, 1967) 是一本中国人在美国的编年史，是一本开拓性的著作。也正是由于这本书，她在 1970 年被邀请加盟纽约城市大学亚裔美国人的研究。——译注

一起野蛮的大屠杀。

玛丽·柯立芝（Mary Coolidge）教授写道："在克尔尼主义（Kearneyism）年代美国居然还有华人活着，这简直是一个奇迹。"①

接着又出现了1892年纪雷法案（Geary Act）和1904年、1911年、1912年、1913年和1924年的排华法案。这些法案将美国的华人社区变成一种扭曲的、孤立的、受到蔑视的一群受剥削的单身男子劳动者。这种情形一直持续到1945年我来到美国。

20世纪60年代初的一个晚上我回布鲁克海文，从纽约乘火车到帕特丘伽（Patchogue）。这时已经很晚很晚，摇晃着的车厢只有很少的几个人。在我的后面坐着一位老人，我和他交谈起来。他在1890年前后出生于浙江，来到美国已经50多年，有时候在洗衣行里干，有时在餐馆洗碗碟。他没有结过婚，一个人孤独地住在一间屋里。他带着友好的微笑。我心里一直在想，难道这意味着他就从来没有悲痛？车到海湾岸（Bayshore），当我看着老人曳着脚走过昏暗的通道下车，被岁月压弯的背，有点摇晃，我心中充满了悲愤的情感。

歧视直到今天仍然存在，虽然不像早期那样毫无约束。1954年末，我和妻子在普林斯顿附近新开发的住宅区付了几百元购房订金。过了几周以后开发商说他必须退回

① B. L. Sung, *Mountain of Gold* (New York: Macmillan, 1967), p. 44.

我们的订金，说是怕因为我们是中国人而影响他的售房。我们非常愤怒，与一位律师商量。律师劝告我们不要起诉，按照他的意见我们胜诉的机会很小。是的，还有不少事情节制着我的情绪。当然我也知道美国对我一直十分慷慨。我是学业有成而来，但是美国让我有机会发展我的潜能。我知道世界上没有哪一个国家对移民如此慷慨，也知道我在美国的根已经在不知觉的情形下扎得越来越深。

1961 年 1 月，我在电视里看到肯尼迪的总统就职典礼。肯尼迪请罗伯特 · 弗罗斯特 (Robert Frust) 念一首他的诗。弗罗斯特选了《彻底奉献》("The Gift Outright")。[①]当我听到以下的诗句

> 我们拥有的，尚未拥有我们，
> 是不再拥有我们的拥有我们。
> 有种东西我们不愿献出曾使我们软弱，
> 我们终于发现我们不愿为了我们赖以
> 生存的土地而献出的正是我们自己，
> 于是从毫无保留的奉献中找得救赎。

的时候，我的心被一下子打动了。我立即从一本诗集找到弗罗斯特的这首诗。他写的真美，也很有感染力。在我决定申请加入美国籍这件事上，它起了一定的作用。

---

① 弗罗斯特 (1874—1963)，美国现代诗人，他的诗富于象征和哲理，同时又有浓厚的乡土气息。《彻底奉献》这首诗的中译文引自《弗罗斯特诗选》，江枫译，外语教学与研究出版社 2012 年版，第 264—265 页。——译注

【64f】“K^0和$\overline{K}^0$衰变中CP不变性破坏的唯象分析”后记

Phenomenological Analysis of Violation of *CP* Invariance in Decay of K^0 *and* $\overline{K}^0$

Physical Review Letters **13**, 380 (1964)

Tai Tsun Wu and C. N. Yang

1964 年夏，吴大峻和我一起访问布鲁克海文国家实验室的时候，我们得知普林斯顿的物理学家小组在 $K^0-\overline{K}^0$ 衰变实验中发现 *CP* 不变性破坏的消息。[①]这一消息惊动了所有的物理学家，因为自 1957 年以后物理学家都深信 *CP* 是守恒的，那时物理学家试图拯救尽可能多的对称性。(参见【57e】的后记)

$K^0-\overline{K}^0$ 系统是盖尔曼和派斯在理论物理中首先提出来的。他们预言这个系统有两个寿命，这一预言在 1956 年被兰德 (K. Lande)、布斯 (E. T. Booth)、因佩杜利亚

① J. H. Christensen, J. W. Cronin, V. L. Fitch and R. Turlay, *Physical Review Letters* **13**, 138 (1964).

(J. Impeduglia)、莱德曼和钦诺夫斯基 (W. Chinowski) 做的一个漂亮的实验所证实。在此之前，派斯和皮乔尼就曾经指出，长寿命的 K^0 在穿过物质的时候将部分转变为短寿命的 $\overline{K}^0$。后来，古德 (M. L. Good) 证实这一再生现象 (regeneration phenomenon) 有一个干涉部分，这使人联想起晶体的双折射，后者曾经被哈密尔顿在一个世纪以前研究过。这一再生现象在 1961 年被古德 (R. H. Good)、马特森 (R. P. Matsen)、穆勒 (F. Muller)、皮乔尼、鲍威尔 (W. M. Powell)、福勒 (W. B. Fowler) 和伯格 (R. W. Birge) 证实。物理学家们之所以对 $K^0 - \overline{K}^0$ 系统着迷，是因为它复杂而又优雅，也因为它对自然界相互作用的细节提供了一个观察的窗口。但是，物理学家们对 1964 年的这一冲击没有任何思想上的准备。

普林斯顿小组的实验有一种不可思议的美。实验人员要根据他们的判断力在两万多个事例中挑出几十个事例，并且得出一个非常重要的结论：*CP* 是不守恒的。他们还要从这些事例中估计出不守恒的程度。他们得到的结果以后经受住许许多多实验的考验。其实在这些实验之前，他们实验的可靠性就已经为大家称道。

发现的消息如野火般迅速传播出去。几周之内，似乎每一位高能理论物理学家都在思考着 *CP* 不守恒的来源。吴大峻和我倾向于持谨慎态度，我们决定只做一个 $K^0 - \overline{K}^0$ 衰变的唯象分析。几年之前在论文【57e】里，李政道、厄姆和我曾经讨论过这种衰变，并且普遍地假定 *C*，*P*，*T* 都不需要守恒。但是这一讨论过于一般化，不能用

来分析当时新的发现，也不能提出所需要的实验。

初看起来，做一个有成效的唯象分析，参数似乎太多。但是我们很快发现情况并非如此。我们的分析发表在论文【64f】里。[①]我们定义了对实验有意义的一些参数，有六个方程把它们联系起来。这个分析为日后有关 K^0 - $\overline{K}^0$ 衰变实验提供了一个框架。

这是吴大峻与我首次合作写的论文。我们第一次相遇是在 1954 年我到哈佛大学做报告。1956 年夏我们在访问布鲁克海文的时候，才开始一起讨论物理学问题。我发现他很聪明，而且他在探索物理学和数学问题的时候，有一种毫不畏惧的坚韧精神。那时他还是年轻的单身汉，因此我们全家很快就与他来往密切。我们都发现他有一种有意低估自己能力的习惯。例如，当他玩桥牌的时候，他会宣称他上了一手“烂牌”。这句话通常是表示，他没足够的勇气喊“一个无王牌”。我们在吃过几次亏以后，才知道他有这种有意低估自己的习惯。

在 20 世纪 50 年代末和 60 年代初，吴大峻到普林斯顿高等研究院做了几次为期一年的访问，我们一起讨论过很多问题，但是直到 1964 年才合作发表论文。

---

① 在论文【64f】的方程 (4) 里，A_2 和 A_2^* 应该交换。

【65a】“有关高能大动量传输过程的一些思考”后记

Some Speculations Concerning High-Energy Large Momentum Transfer Processes

The Physical Review **137**, B708 (1965)

Tai Tsun Wu and C. N. Yang

【65a】是一篇纯思考性的文章。

20 世纪 60 年代初，各种共振态的发现十分激动人心，它吸引了许多物理学家的关注。大约就在这期间，布鲁克海文和 CERN 新的加速器有许多实验发现，能量大于 10GeV 时强子碰撞实验显示出一些有趣的整体性质（gross feature），但是却没有引起人们的注意。涉及这些实验的理论物理学家和实验物理学家有柯克尼（G. Cocconi）、科林斯、克里斯奇（A. D. Krisch）、欧瑞尔、瑟尔伯和范霍夫（L. Van Hove）等人。还有另外一些人，但数量不多。

吴大峻和我对这些整体性质十分关注。我们觉得这些性质一定意味着强子的某些普遍性的结构特点。因为研究的所有的碰撞实验中，小角度和大角度的微分截面之差会

大于一个因子 10^{10}，如果没有一个普遍的原因这是不可能的。我们的想法是，如果将强子视为一个**扩展**的客体(extended object)，就可以找到这个普遍的原因。

我们觉得这一想法是正确的，就做了深入的讨论，并写出【65a】。它完全基于一种推测，物理学家们普遍都不相信。例如，那时没有人相信 np→np 弹性碰撞的微分截面大体上相对 90°是对称的，像方程 (3b) 推测的那样。

论文【65a】是论文【66b】、【67b】的基础，后者为强子与核碰撞提供了一个几何模型。

1965 年春的一天，奥本海默告诉我他已经决定在 1966 年从普林斯顿高等研究院院长职位上退下来。我想他的这一决定时机很恰当，因为近几年来他在普林斯顿高等研究院遇到一些麻烦，现在刚刚平静下来。而且，他在 1963 年 12 月 2 日从约翰逊总统手中接受费米奖章，所有的物理学家都认为美国**亏欠**奥本海默的情。在授奖一年半后宣布退休，应该是很合适的。

在我们这次谈话中，奥本海默说他想**建议**董事会任命我做他的后继人。我告诉他，我本能的**反应是**不愿意接任普林斯顿高等研究院院长的职务。他让我再想一想。

我在思考了几天之后给他写了一封信：

> 我能否当一个合适的院长十分值得怀疑，但毫无疑问的是担任院长我不会感到高兴。

但是命运却似乎已经在安排我的未来。

1964—1965年，纽约州立法机构投票决定在州内几个大学设立五个爱因斯坦讲座教授。即将接任纽约州立大学石溪分校校长的约翰·托尔（John S. Toll）、物理系主任庞德（T. A. Pond）和物理系教授德雷斯顿（Max Dresden），他们决定去争取这个讲座教授的编制，并劝说我接受石溪分校爱因斯坦讲座教授。他们动员石溪分校电气工程教授张守廉（Sheldon Chang）来说服我去石溪分校校园看一看，以熟悉该校的氛围和教授们。张守廉是我在西南联合大学的同班同学。

我和妻子带着两个小一点的孩子吉尔伯特（Gilbert，中文名为光宇）和又礼（Eulee），在1965年春访问了石溪分校。我们被安排在大学的三木（Sunwood）宾馆，从那儿可以远眺长岛海峡。第一个傍晚，我们房间的窗子展示了一幅绝妙的海湾落日，它让我心醉。

但是我还是有一些犹豫。石溪分校这时有一个扩大的计划，托尔和庞德希望我在几年后建立的理论物理研究所担任所长的职务。这个所规模很小，不必花太多的时间管理它。我天生不是一个有领导欲的人，因此我对这一建议的第一反应是：我知道如何管理一个即使很小的小组吗？我对这个问题有意识或无意识地反复思考，最后我相信我能够学习做好这件工作。大约在4月底，我接受了石溪分校的职位，并告诉托尔我将在1966年赴任。

【66b】“πp 电荷交换散射和高能交换过程的‘相干液滴’模型”后记

πp Charge-Exchange Scattering and a "Coherent Droplet" Model of High-Energy Exchange Processes

The Physical Review **142**, 976 (1966)

N. Byers and C. N. Yang

1964—1965 年，拜耶斯到普林斯顿作为期一年的访问。我们再次合作研究了好几个问题。其中有关于强子—强子在好几个 GeV 能量碰撞下新的实验结果。在几次不成功的尝试后，我们认识到，吴大峻和我在【65a】讨论过的把强子视为延展物体的模型，是一个很好的起始点。在那篇论文里强调了模型有大动量传输的一面，但是也应该有小动量传输的一面——即相干的一面，这可以用程函法 (eikonal approach) 来计算。[①]把这一观点用在 πp 电荷交换散射，我们就写出论文【66b】。

① 参见 S. Fernbach, R, Serber and T. B. Taylor, *The Physical Review* 75, 1352 (1949); R. J. Glauber, in *Lectures in Theoretical Physics*, eds. W. E. Brittin and L. G. Dunham (New York: Wiley-Interscience, 1959), Vol. 1, p. 315。

我们常常和当时也在普林斯顿大学的布朗（G. E. Brown）做广泛的讨论（参见【66b】脚注13）。从他那儿学到的核物理知识使我们确信：强子与原子核十分相似，可以用相同的方法做分析。这种方法直到今天仍然是强子几何模型的基础。

在与布朗交往的过程中还有一个附带的收获，我学会欣赏他那良好的物理直觉。一年以后，我设法说服他来到石溪分校。我一直把这件事看做我对石溪分校发展做出的一个贡献。

【66c】“1966 年 3 月 14 日在爱因斯坦纪念邮票发行仪式上的讲话”后记

Remarks at the Dedication of the Einstein Stamp, March 14, 1966

Unpublished

C. N. Yang

1966 年 3 月 14 日，美国邮政局发行一张特别的邮票，上面印有著名摄影家哈尔斯曼 (Philippe Halsman) 拍摄的爱因斯坦的照片。奥本海默被邀请到纪念仪式上讲话。举行仪式的前几天，他打电话给我，要我去演讲，因为他正患感冒不能去。

于是我写了一篇短稿【66c】，并在仪式上宣读。让我感到惊讶的是在仪式完了以后，爱因斯坦的女儿玛戈特 (Margot)、秘书杜卡斯 (Helena Dukas) 小姐和哈尔斯曼都来了，他们对我的讲话表示深深的感谢。哈尔斯曼还对我说，他要给我看一件东西。我们于是约定当天下午在我的办公室见面。

他给我看的是他准备寄给《纽约书评》(*New York*

Review of Books）的一封信，信里他批评奥本海默写的一篇评论爱因斯坦的文章。这篇文章是奥本海默在1965年12月13日为联合国教科文组织一次庆祝会上讲话的书写文本。哈尔斯曼非常愤怒，他向我解释说爱因斯坦是他的救命恩人，把他从纳粹德国救出来。对他来说，爱因斯坦就像是他的父亲一样。他在信里用了非常强硬的语言表示他的愤怒之情。后来这篇文章登在5月26日的《纽约书评》上，但是语气缓和了许多。

我没有看见过奥本海默的文章，也没有听过他的讲话，因此对这件事引起的风浪一概不知。我没有对哈尔斯曼说什么，这一切让我非常惊讶。

后来我找到一份奥本海默的文章，是3月17日登出的。这篇文章措辞优美，描述了奥本海默对爱因斯坦作为一个物理学家和一个人的看法。他措辞谨慎，用印象主义的手法表露了他对爱因斯坦的看法，也披露了他对自己的一些看法。我认为哈尔斯曼反应过度，文章绝无恶意，只不过写得有一些“老于世故”（sophisticated）[①]和复杂而已。

① “sophisticated”一词的意思是奥本海默和哈尔斯曼意见不一致的关键点。

【66e】“各向异性自旋—自旋相互作用的一维链 (I) 有限系统基态贝特假说的证明”后记

One-Dimensional Chain of Anisotropic Spin-Spin Interactions. (I) Proof of Bethe's Hypothesis for Ground State in a Finite System

The Physical Review **150**, 321 (1966)

C. N. Yang and C. P. Yang

论文【66e】和后续系列论文〖66f〗、〖66g〗是杨振平和我在1965—1966年研究的成果。这一研究起源于几个因素。

1951年初，当我计算伊辛模型的自发磁化时，我仔细研究了布洛赫的自旋波理论。为此我又研究了贝特[①]和胡尔滕 (L. Hulthén) 的文章[②]，这些文章非常有意义。遗憾的是，我为了得到胡尔滕方程的复数解而误入歧途，最后

① H. A. Bethe, *Zeitschrift für Physik* **71**, 205 (1931). 贝特 (Hans A. Bethe, 1906—2005)，德国出生的美国物理学家，1967年获得诺贝尔物理学奖。——译注

② L. Hulthén, *Arkiv foer Matematik, Astronomi, och Fysik* **26**A, 11 (1938).

我只得放弃这个问题。

1962 年在完成非对角长程序的研究（论文【62j】）以后，我寻找一个能够**证明**这种长程序存在的哈密尔顿系统。这一研究一直断断续续地进行着，部分与吴大峻合作，部分与杨振平合作。1963 年，利布（E. H. Lieb）和林里格(W. Liniger）发表了两篇有意义的文章[①]，研究具有 δ 函数相互作用的一维玻色气体。1963 年夏，我在加州大学洛杉矶分校访问时，从与麦克奎伊尔（J. B. MacGuier）一起讨论这些文章中受益良多。利布和林里格的方法与贝特的方法一样，假定只存在反射而没有衍射。并设法证明这个假定是自洽的。我试图用相似的假设构造一个具有非对角长程序的哈密尔顿量，但是没有成功。

过了不久，杨振平和我在 1963 年做【64e】的研究时，我们试图把量子效应引进格气模型。我们确信这样的考虑是合适的，一是格气模型对液气转变时的临界现象给出非常好的近似；二是量子效应对于轻气体十分重要。我们发明了量子格气（quantum lattice gas），但是后来我们得知它早在 1956 年就被松原武生（T. Matsubara）和松田博嗣（H. Matsuda）提出过。[②]1965 年 12 月，我们写出论文〖66a〗，并做了报告。即使在写这篇文章之前我们就知道，所有这些互不相干的研究都指向一个问题——利用贝

---

① E. H. Lieb and W. Liniger, *The Physical Review* **130**, 1605 (1963); E. H. Lieb, *The Physical Review* **130**, 1616 (1963).

② 参见 T. Matsubara and H. Matsuda, *Progress of Theoretical Physics* (Kyoto) **16**, 569 (1956)。

特假说研究具有如下的哈密尔顿量的一维海森伯—伊辛自旋链 (Heisenberg-Ising spin chain) 有没有价值：

$$H = -\frac{1}{2}\sum \left\{\sigma_x\sigma_x' + \sigma_y\sigma_y' + \sigma_z\sigma_z'\right\} \qquad (1)$$

这个问题在数学上与具有最近邻相互作用 Δ 的一维量子格气问题相同。

方程 (1) 的特殊情形，曾经被一些人研究过，他们是贝特、胡尔滕、奥尔巴赫 (R. Orbach)、沃克尔 (L. R. Walker)、格里菲斯 (R. B. Griffith)、克罗伊奇乔 (J. des Cloiziao)、皮尔逊 (J. J. Pearson) 等等。杨振平和我发现在研究一般情况时，可以讨论有关参量 Δ 的**连续性**，由此获得超越方程解的信息。这些曾经[①]被贝特和胡尔滕研究过。根据这些想法，我们把研究的结果写出 1966 年的论文【66e】、〖66f〗和〖66g〗。[②]

这三篇论文在随后的 1967—1971 年间引起许多人接着做了许多研究，其中有黎振球、萨瑟兰 (Bill Sutherland)、杨振平和我，我们用贝特假设认真地研究了各种各样的问题。近几年，这些文章里的一些结果和方法对场论很有用处，对解决一些新模型也有用途。[③]

---

① 到 1966 年已经有很多论文以不同的形式使用贝特的思想。杨振平和我决定为纪念贝特的洞察力把他的假设称为“贝特假说” (Bethe hypothesis)，但是另一个名称“贝特拟设” (Bethe ansatz) 似乎用得更多。

② 参见 Barry M. McCoy and Tai Tsun Wu, *Physics Letters* **87**B, 50 (1979)。

③ 参见 A. A. Belavin, *Physics Letters* **87**B, 117 (1979); N. Andrei and J. H. Lowenstein, *Physical Review Letters* **43**, 1698 (1979); N. Andrei, *Physical Review Letters* **45**, 379 (1980); P. B. Wiegmann, *JETP Letters*, forthcoming。

在写论文【66e】和〖66f〗的时候，杨振平和我学会了两个有用的数学方法。其中一个是关于方程解的拓扑学定理和**指标**（*index*）的拓扑概念。拓扑学定理是从怀特利（Hassler Whitney）那儿学来的，它有力地证明了贝特假说的确给出了基态波函数；做这个证明的时候，拓扑定理用在关于 Δ 连续性的证明。另一个我们学会的数学工具是解维纳—霍普夫方程（Wiener-Hopf equation）的方法。卡茨和吴大峻介绍我去读克赖因（M. G. Krein）有关这个论题的长篇综述。我们发现这篇综述写得非常漂亮。

论文【66e】、〖66f〗和〖66g〗写于我们家正从普林斯顿搬到石溪分校的期间。我们全家对于搬到长岛都非常兴奋和激动。但是我个人感情上却有一些复杂。我在普林斯顿高等研究院从1949年到1966年在这儿度过17个年头，从27岁到44岁。 在这儿我获得很多成就，也过得非常愉快。我喜欢它朴实无华的乔治式建筑，以及它那平静而有克制的氛围。我喜欢它那曲径通幽的小路，一直通向林中深处的小吊桥。这是一个以冥思苦想为乐的世外桃源，这儿的永久成员都是世界一流的人物，他们以沉思为乐。这里的来访者一般都十分出色。这儿是一个名副其实的象牙之塔。

在搬家期间，我有时不免会问自己，我离开普林斯顿高等研究院的选择是正确的吗？ 但是回答总是同样的：我的决定是正确的。象牙之塔并不是整个世界，协助建立一个新的大学是一个激动人心的挑战。

【66h】“光子自能函数中重叠发散的处理方法”后记

Treatment of Overlapping Divergences in the Photon Self-Energy Function

Supplement of the Progress of Theoretical Physics **37** and **38**, 507 (1966)

R. L. Mills and C. N. Yang

1954 年，在布鲁克海文国家实验室时米尔斯和我注意到，在处理重正化理论重叠时有一个小小的漏洞。重叠问题已经被沃德法（Ward's method）处理得非常漂亮。但是把这个方法应用到光子传播子时，我们发现必须小心地避免不自洽的困难。我们想到一个巧妙的方法可以解决这个困难。这一工作我们那时没有发表，因为我们知道只有在做 14 阶修正时才会遇到这种不自洽的情形。[①]（吴大峻写的一篇论文[②]的图 5 和图 6 里，达到了这一量级后，明

① 近几年，木下（Kinoshita）和他的助手把 g-2 的计算推进到 8 阶，因此在 30 年里推进了 4 阶。以这样的速度，大约到 2020 年我们可以达到 14 阶。

② T. T. Wu, *The Physical Review* **125**, 1436 (1962).

显地出现了这种可能的不自洽。）

1966 年，米尔斯和我把我们的思考写成论文【66h】，收集在朝永振一郎 60 诞辰纪念文集中。

重正化方案是物理学的一个巨大进展，其主要构建者有：朝永振一郎、施温格、费曼和戴森。1965 年，朝永振一郎、施温格和费曼获得诺贝尔物理学奖。但是直到今天我仍然认为诺贝尔委员会犯了一个错误，没有同时承认戴森的贡献。朝永振一郎、施温格和费曼他们的论文并没有完成重正化方案，因为他们只完成了低阶的计算。是戴森勇于面对高阶的计算，从而完成了这一重正化的方案。在两篇具有划时代意义的论文里，他指出并解决了这个极其困难的分析任务的主要问题。[①]重正化是这样的一个方案，它把加减法（additive subtraction）转换为因子重正化（multiplicative renormalization）。这项工作需要极其复杂烦琐的证明，戴森一人完成了。他定义了原始发散、骨架图（skeleton graphs）和重叠发散等概念，并利用这些概念，通过透彻的分析，完成了量子电动力学重正化的证明。他的悟性和能力令人惊讶。

① F. J. Dyson, *The Physical Review* **75**, 486 and, 1736 (1949).

【67b】“关于高能散射的几点短评”后记

Some Remarks Concerning High Energy Scattering
In *High Energy Physics and Nuclear Structure* (Amsterdam: North-Holland, 1967)
T. T. Chou and C. N. Yang

1966 年我到石溪分校的时候遇见一位年轻的物理学家，他就是邹祖德 (T. T. Chou)。我们开始在统计力学方面合作研究了一段时间，但我们的注意力很快转向了高能碰撞。我们首先在【65a】研究大 t (large t) 现象，而后又在【66b】研究小 t (small t) 现象时，发现几何的想法可以推进和建立弹性碰撞的定量理论。【67b】是我们在这个问题上合作发表的第一篇文章。它导致一系列富有成果的工作，研究弹性和非弹性碰撞的几何描述（参见〖68b〗、【69c】和【80a】)。

【67b】第 2 节专注于“延展结构 (extended structure) 的证据”。我们论证当时的一些实验发现，即弹性散射微分截面在高能时趋向一个极限

$$\frac{d\sigma}{dt} \to f(t)$$

这是一个显著的证据，指出从一个延展结构客体可以出现衍射现象。我们认为这一点是确凿无疑的。此外，霍夫斯塔特[①]漂亮的实验已经测出质子的物理尺寸。邹祖德和我相信，扩展散射体引起的衍射，**是可以由波传播的普遍原理预期的**。但是在20世纪60年代中期，许多物理学家都被雷吉（Regge）的方法迷住，而对任何其他处理高能散射现象的方法都有很强的抵制。我们一直认为，这两种研究方法并不相互排斥，它们是互补的。

论文【67b】是在1967年2月27日—3月3日以色列召开的一次会议上宣读的。 在去以色列的途中在新加坡停留时，我得知奥本海默于2月18日去世。

1966年末，我回普林斯顿高等研究院做短期访问时，最后一次见到他。那时大家都知道他得了癌症。我给他打电话后，到他的办公室见他。我本来想力劝他写一点回忆和见证之类东西，例如原子弹和人类。但是我发现他身体非常衰弱，就没有谈这个问题。

像奥本海默这样富于戏剧性或者悲剧性的人生，在世界历史上是很少见的。他的悲剧性还在于，尽管他的同事们都认为奥本海默聪明透顶，但是一般都认为他没有为物理学做出任何基础性的贡献。这种看法现在有了

① 霍夫斯塔特（Robert Hofstadter，1915—1990），美国物理学家，1961年获得诺贝尔物理学奖。——译注

新的变化。他与福尔科夫（G. Volkoff）和斯尼德在黑洞方面的开拓性研究被认为是一个伟大的贡献。在未来的年月里，黑洞必将在物理学和天文学里扮演越来越重要的角色。

【67d】“经典同位旋规范场方程的一些解”后记

Some Solutions of Classical Isotopic Gauge Field Equations

In *Properties of Matter Under Unusual Conditions*, eds. H. Mark and S. Fernbach (New York: Wiley-Interscience, 1969)

T. T. Wu and C. N. Yang

虽然从1955年到1967年我没有发表过任何有关规范场的文章，但是我一直在断断续续地研究它。20世纪60年代初，吴期泰[①]与我合作，试图计算规范量子—规范量子散射，还讨论幺正性问题。但是得到的结果连我们自己也不十分明白，所以就把它放到一边。1967年，吴大峻和我从事的是另一个问题：想为纯规范场方程找到一个经典解。于是写出论文【67d】，这篇文章被收集到纪念特勒60岁生日的文集里。

① 吴期泰为华裔美国物理学家，原在密歇根大学任教，现在已经退休。——译注

论文【67d】的战略目的是寻找一个**没有奇点**的经典解，然后研究这个解附近的微扰能否获得激发。20 世纪 30 年代，玻恩[①]和因费尔德 (L. Infeld) 曾经研究过这类问题，但是他们不得不采用一个比较任意的拉格朗日量。由于有了规范场，我们不再需要做这样特殊的假设。在论文的第 III 节，我们仔细计算了哈密尔顿量的二级变分 $\delta^2 H$。40 年代初，泡利、丹科夫(S. Dancoff)、施温格和胡宁[②]用强耦合理论对这些做过先驱性的研究。

从策略上讲，论文【67d】里重要的新观点，是引入了 (5) 式的假设，这一假设把同位旋指标和空间指标 (space indices) 混在一起。

我们找到的解是无源解，即使它没有错，也肯定会误导读者 (参见【75c】)。

1967 年，吴大峻和我并没有意识到，事实上我们的战略目的与对称性破缺的思想有非常密切的关系，后者在 60 年代初，就被南部阳一郎、戈德斯通 (J. Goldstone)、安德森[③]和希格斯等人在场论中研究过。回顾起来，这是因为我有一个先入为主的看法，那就是不愿意在基本场论里引入对称破缺。我认为一个永远不可观测的对称性，在基本理论中不可能有它的地位。不错，各向同性是一种

---

① 玻恩 (Max Born, 1882—1970)，德国物理学家，1954 年获得诺贝尔物理学奖。——译注

② 胡宁 (1916—1997)，中国理论物理学家，北京大学教授。——译注

③ 费尔·安德森 (P. W. Anderson, 1923—)，美国物理学家，1977 年获得诺贝尔物理学奖。——译注

在铁磁体里观察不到的对称性。但是我认为，当铁磁体去磁后，原子间基本相互作用会显示各向同性的对称性。事实上，这就是人们从各向同性的哈密尔顿量出发研究磁体问题的原因。我还认为，有对称破缺的场论，对称性是不可能观察到的，因为没有什么可以去掉。

现在我知道了，我那先入为主的想法在几件事情上出了错：(1) 严格奉行只考虑可观察对称性的哲学，是不正确的。无论如何，对局域对称性而言“可观察性”的意义本身就不清楚；(2) 对称破缺只发生在低温的情形下。温度足够高的时候，完美的对称性可以恢复。

20 世纪 60 年代和 70 年代有关规范理论的文章非常之多，要想把它们逐一列出来是做不到的。其中特别重要的和出色的是韦尔特曼[①]的学生特霍夫特[②]的重正化研究，以及由格拉肖、温伯格[③]和萨拉姆所发展出来的模型的成功。激动人心的思想不断出现，其中有渐进自由、大统一理论、量子色动力学和夸克囚禁等等，这使近来的发展呈现一派生机勃勃的景象。但是我还是坚信，基础性的新思想仍然缺失。例如，用引入一个场来破缺对称性不会是最后的理论，虽然也许暂时它是一个好的理论，就像费米的 β 衰变理论一样。

---

① 韦尔特曼 (Martinus J. G. Veltman, 1931—)，荷兰物理学家，1999 年获得诺贝尔物理学奖。——译注

② 特霍夫特 (Gerardus t'Hooft, 1946—)，荷兰物理学家，1999 年获得诺贝尔物理学奖。——译注

③ 温伯格 (Steven Weinberg, 1933—)，美国物理学家，1979 年获得诺贝尔物理学奖。——译注

【67e】“有排斥 δ 函数相互作用的一维多体问题的一些精确结果”后记

Some Exact Result for the Many-Body Problem in One Dimension with Repulsive Delta-Function Interaction

Physical Review Letters **19**, 1312 (1967)

C. N. Yang

萨瑟兰是我在石溪分校招收的第一个研究生。他是一个很文静的人，开始我从他的言谈中觉得他缺乏自信。但是我很快发现他的物理知识十分扎实，而且很有原创性。看见他成长为一个很有能力的统计力学的研究者，实在令人高兴。

萨瑟兰、杨振平和我探讨了贝特假说的几个应用问题。论文【67e】和后来萨瑟兰写的一篇论文[①]，是这些应用问题中的一个。在论文【67e】、〖66f〗和【69a】里使用的方法，近来在解决近藤问题（Kondo problem）时变得很有用（见【66e】的后记）。

① B. Suherland, *Physical Review Letters* **20**, 98 (1968).

论文〖68a〗是【67e】的后续。〖68a〗的内容与后来研究S矩阵可解模型有密切的关系。做这方面研究的人有：巴克斯特、毕腊文（A. A. Belavin）、彻里德里克（I. V. Cherdnik）、法捷耶夫（L. D. Fadeev）、法亭（V. A. Fateen）、卡诺夫斯基（M. Karowski）、塔克塔占（L. A. Takhtadzhan）、萨克尔（H. B. Thacker）、威尔金森（D. J. Wilkinson）、扎莫洛契科夫（A. B. Zamolodchikov）、阿尔·扎莫洛契科夫（Al. B. Zamolodchikov）和其他等人。

【69a】“有排斥 δ 函数相互作用的一维玻色系统热力学”后记

Thermodynamics of a One Dimensional System of Bosons with Repulsive Delta-Function Interaction

Physical Review Letters **10**, 1115 (1969)

C. N. Yang and C. P. Yang

这篇论文解决了 δ 函数相互作用情形下有限温度 (finite temperature) 问题。

在论文【66e】里我们为建立贝特假设所用的严密性，现在有了回报。它让我们对目前这个问题中的量子数 I_1, I_2……有很好的掌握。由此可以**保证**我们做另一个跨越：得到有限温度问题的解答。在某种意义上讲，它形成一个牢靠的平台供我们起飞。

何时和如何做下一个跳跃，是研究中一个经常出现的重要问题。这个过程中所涉及的心理因素，如驱动力、气质、品味和自信心都十分重要，也许同样重要的是研究技巧。我们写【69a】的经历说明，巩固的基础带来的好处。但是过度关注基础的牢固，有时又会限制同样重要的冒险

精神。

论文【69a】解决的是一个在有限温度时的场论问题。如果我没有错，现在它仍然是解决有限温度下场论问题的一个值得重视的例子，除非只笼统地谈论一些有关模型。它显示了在界定真空、相互作用和激发谱的微妙性。参见〖70d〗结尾处的短评和【71b】一文的内容。

【69c】“高能碰撞中极限碎裂假说”后记

Hypothesis of Limiting Fragmentation in High-Energy Collisions

The Physical Review **188**, 2159 (1969)

J. Benecke, T. T. Chou, C. N. Yang and C. P. Yang

1968 年，邹祖德和我写了一篇文章，对【67b】论述弹性散射的想法做了一个正式的解释，这就是论文〖68b〗。接着我们很自然地转向非弹性散射。我们这时早已经从布鲁克海文国家实验室柯林斯小组的实验得知，在强子—强子碰撞中射出的粒子横向动量很小。因为这是一个引人注目的结果，我们重新考察了许多早前的想法，其中包括吴大峻和我早期在论文【65a】里提出的“延展的客体”，几何模型，费米的统计模型，柯克尼、K. Niu 和柯伊克（P. Coik）等人的双火球模型，古德、沃克尔的衍射分解的想法，等等。我们（班尼克、邹祖德、严爱德和我）逐渐了解不同模型的相似性和差别，事实上都与这个实验结果有关。在这个**归纳法**考虑的基础上，我们提出极

限碎裂的假说，由此写出论文【69c】。

在论述这一假说的第 8 节，我们列举了一些实验数据作为证据。但是这些实验并不是为了检验这个假说为目的而设计的，所以在我们内心并没有真的把这些实验看得很重要。真正使我们有勇气提出这个假说的是 8.7 节的理论上的推理，后来我在基辅[①]做报告时进行过详细的说明，并写成论文【70f】。这个理论的推理是，如果你相信用几何图像描述弹性碰撞的想法，那么你**必定**也相信极限碎裂假说。

1970—1973 年，这一假说得到许许多多实验的证实，我们并不惊讶，但仍然十分高兴。[其中最精确的实验是比萨—石溪的实验[②]。这个实验的设想可能来自许多人，我第一次听到的是克茨（J. Kerz）的建议。]1971 年，巴尔丁（A. M. Baldin）把这一假说扩展到核碰撞。[③]

我们试图向其他物理学家解释这个假说后面的想法，这是一个很有趣的经验。在许多情况下，他们首先是不相信，后来又说这个思想是很明显的，只不过是一个运动学的问题。是的，运动学的确参与其中，但是它所涉及的物理学不仅仅是运动学。在抛射体和实验室的

---

① 基辅当时是苏联加盟共和国乌克兰的首都。1991 年乌克兰独立后，它成为乌克兰首都。——译注

② Bellettini, Braccini, Bradaschia, Castaldi, del Prete, Foa, Firomini, Laurelli, Menzione, Valdata, Finocchiaro, Grannis, Green, Mustard and Thun, *Physics Letters* **45B**, 69 (1973).

③ A. M. Baldin, *Kratk. Soobshch. Fiz* **1**, 35 (1971); V. S. Stavinskii, *Fizika Elementanykh Chastis i Atomnogo Yadra* **10**, 949 (1979); *Soviet Journal of Particles and Nuclei* **10**, 373 (1979).

参照系中，“碎裂”和“极限碎裂”是动力学性质的描述，并非运动学的。

我们在1969年9月石溪会议上宣读了我们的论文。会上费曼也做了报告，他的想法部分与我们的非常近似，只不过用不同的语言，基于一个不同的观点。[①]这两种不同观点的差别在于，我们选择了实验室和抛射体作为参照系，而费曼选择了质心系统。这两种观点之间的关系很快就弄明白了，在很多论文里也直接或者间接地做了讨论。这其中有邹祖德和我的文章【70c】。

① R. P. Feynman, *Physical Review Letters* **23**, 1415 (1969); also in *High Energy Collisions*, *Third International Conference*, Stony Brook, September 1969 (New York: Gordon & Breach, 1969), p. 237.

【70b】“统计力学中一些可精确求解的问题”后记

Some Exactly Soluble Problems in Statistical Mechanics

Lectures given at the Karpacz Winter School of Physics, February 1970

In *Proceedings of the VII Winter School of Theoretical Physics in Karpacz* (University of Wroclaw)

C. N. Yang

论文【70b】对贝特假说的基本步骤做了一个简单的介绍。同时也给出了一个严格的推导，即当密度保持不变而系统变为无限大的时候，可以合理地为这个极限写出一个积分方程。

我在论文【66e】和【67e】的后记里已经说过，贝特假说在过去两年里被用来解决一些新的问题。这是一件好事，但是我不相信它可以推广到高维空间。贝特假说的基础是假设不存在衍射，而这个假设在任何**真正**高维问题上是不正确的。

【70b】是我在1970年波兰卡帕兹（Karpacz）冬季学

校的几次演讲。我在这儿过得十分愉快，享受到主人们好客的招待。我发现波兰人热情活泼，有幽默感，也深知他们国家历史上的动乱。

【70f】“高能强子—强子碰撞”后记

High Energy Hadron-Hadron Collisions

Lecture given at the Kiev Conference, August 1970

In *Proceedings of the Kiev Conference — Fundamental Problems of the Elemental Particle Theory* (Academy of Sciences of the Ukranian SSR, 1970)

C. N. Yang

【70f】对极限碎裂假说的背景，给出了比【69c】更完整的物理解释。

【71b】“关于相变和临界现象的绪论”后记

Introductory Notes on Phase Transitions and Critical Phenomena
In *Phase Transitions and Critical Phenomena*, Vol. 1 eds. C. Domb and M. S. Green (New York: Academic Press, 1971)
C. N. Yang

再次阅读这个绪论，我觉得自己对吉布斯[①]的钦佩无以复加。他写的《统计力学的基本原理》(*Elementary Principle of Statistical Mechanics*)，真是美得犹如一首诗。在面对与实验不符的情形下，他对他的“理性的”综合坚信不疑，证实他具有深刻的洞察力。

我仍然坚持我在【71b】最后四节所做的一些猜测性评论。其中一个可能使统计力学与量子场论的交叉增值(cross fertilization)，今天这已经得到充分的证实。在今后十年，这一趋势注定还会增加。还可参见【69a】的后记。

---

① 吉布斯 (Josiah W. Gibbs, 1839—1903)，美国理论物理学家，化学热力学和统计力学的创始人之一。——译注

【72c】“目前基本粒子物理学的几个概念”后记

Some Concepts in Current Elementary Particles Physics

Lecture given at the Trieste Conference in honor of A. M. Dirac, September 1972

In *The Physicist's Conception of Nature*, ed. J. Mehra (Dordrecht: Reidel, 1972)

Chen Ning Yang

我一直都非常钦佩狄拉克，能够在1972年特里亚斯特庆贺他的70岁生日纪念会上讲话，我感到十分荣幸。

【73b】“30～1500GeV/c之间的质子—质子碰撞的不透明度”后记

Opaqueness of pp Collisions from 30～1500GeV/c

Physical Review **D8**, 2063 (1973)

Alexander Wu Chao and C. N. Yang

在1972年芝加哥会议上鲁比亚[①]透露了CERN交叉贮存环（ISR）的一个实验结果，即在pp弹性碰撞截面$t \cong -1.4$ (GeV/c)处，有一个明显的凹陷。[②]邹祖德和我得知这个消息后很高兴，因为从1968年以来几何模型就指出有这样一个凹陷。[③]我们从一开始就没有怀疑过这个几何图像的普遍正确性，但是定量的结果如此精确，让

① 鲁比亚（Carlo Rubbia，1934— ），意大利物理学家，1984年获得诺贝尔物理学奖。——译注

② 参见 The report of G. Giacomelli, *Proceedings of the XVI International Conference on High Energy Physics* (National Accelerator Laboratory, 1972), Vol. 3, p. 232; A. Bhom et al., *Physical Letters* **49B**, 491 (1974)。

③ T. T. Chou and C. N. Yang, [68c]; L. Durand and R. Lipes, *Physical Review Letters* **20**, 638 (1968).

我们颇为吃惊。[①]

也是在1972年，尤德赫（G. B. Yodh）、帕尔（Y. Pal）和特利菲尔（J. S. Trefil）从宇宙射线的资料得出结论：在很高的能量时，质子—中子的总截面随能量的增加而缓慢地增加。[②]1973年，ISR的实验结果表明，在高能量时，pp截面随能量的增加而增加。值得注意的是，这一结果证实了郑洪和吴大峻在1970年所做的预言。[③]因为有了这一结果，赵午和我在论文【73b】里，利用程函论和假定散射振幅是纯虚数，对pp弹性散射做了一个唯象分析。由此得到高能情形下不透明函数 $\Omega(b)$，非常符合 $[G_E(k)]^2$ 的傅里叶变换，其中的 G_E 是质子的形状因子（form factor）。

1974年，海尤特（F. Hayot）和苏克哈特米（U. P. Sukhatme）指出[④]，为了符合总截面的增加，在几何图像中也只有一个自然的方法，就是增加下式中的系数 K：

$$\Omega = K[G_E]^2$$

这是一个非常好的建议，在几何图像中所有后续计算都是这样做的。

赵午是我的一个研究生，他的领悟力非常强，在我们俩于1973—1974年合作写的三篇论文中，他做出了重要

---

① 参见 A. W. Chao and C. N. Yang，【73b】；M. Kac，*Nuclear Physics* **B62**，402 (1973)。

② G. B. Youdh，Y. Pal and J. S. Trefil，*Physical Review Letters* **28**，1005 (1972)。

③ H. Cheng and T. T. Wu，*Physical Review Letters* **24**，1456 (1970)。

④ F. Hayot and U. P. Sukhatme，*Physical Review* **D10** 2183 (1974)。类似的图像模型在下面论文里也有：Tai Tsun Wu and Huang Cheng in *High Energy Collissions — 1973* (*Stony Brook*)，ed. Chris Quigg (American Institute of Physics，1973)，p. 54。

的贡献。我知道他将会成为一位优秀的高能理论物理学家，但是我觉得如果他把研究方向转向加速器设计，那对他未来的发展更好，因为这一领域还没有像高能物理理论那么拥挤。因此我劝他改行。令人欣慰的是一切都天遂人愿，他现在是加速器理论方面一位年轻明星。

【74c】“规范场的积分形式”后记

Integral Formalism for Gauge Fields

Physical Review Letters **33**, 445 (1974)

C. N. Yang

1967—1968 年，当我在思考规范场概念和它可能的推广（例如当群是分立的，或者空间本身是分立的情形），我意识到不可积相因子（nonintegrable phase）的概念非常重要。一旦我把注意力集中在这一概念上时，我就明白了莱维—齐维塔平行移动的概念（parallel displacement concept of Levi-Civita）事实上就是不可积相因子的一个特殊情形。这使我认识到规范场理论的公式

$$F_{\mu\nu} = \frac{\partial B_\mu}{\partial x_\nu} - \frac{\partial B_\nu}{\partial x_\mu} + i\epsilon(B_\mu B_\nu - B_\nu B_\mu) \qquad (1)$$

和黎曼几何的公式

$$R^l_{ijk} = \frac{\partial}{\partial x^j}\left\{\begin{matrix} l \\ ik \end{matrix}\right\} - \frac{\partial}{\partial x^k}\left\{\begin{matrix} l \\ ij \end{matrix}\right\} + \left\{\begin{matrix} m \\ ik \end{matrix}\right\}\left\{\begin{matrix} l \\ mj \end{matrix}\right\} - \left\{\begin{matrix} m \\ ij \end{matrix}\right\}\left\{\begin{matrix} l \\ mk \end{matrix}\right\} \qquad (2)$$

之间的相似，因为（2）式就是（1）式的特殊例子！当

我发现这一点的时候，我的激动难以言表。后来我又明白从数学的观点来看，规范场的概念**完全**是一个**几何**概念。我也弄清楚了，早在1954年泡利就注意到（1）式与薛定谔1932年论文里的公式相似，这相似性绝不是偶然的（参见【54b】的后记）。

在了解了规范场的几何意义后，我就向石溪数学系主任、杰出的微分几何学家赛蒙斯（Jim Simons）请教。他说，规范场一定与纤维丛的联络（connections of fibre boundles）有关。于是我试图了解纤维丛理论，找来斯汀罗德（Steenrod）的《纤维丛拓扑学》（*The Topology of Fibre Bundles*）来看，但是我什么也没有学到。现代数学家的语言对一个物理学家来说实在是太生硬和抽象了。所有这些事都发生在1967—1969年间。

最后我把不可积相因子的思想写出来，它就是论文【74c】。[①]但是我还没有领悟到必须对规范场概念做整体的考虑，因为我还没有抓住纤维丛概念的精华（参见【75c】的后记）。因此【74c】讨论的就全部集中到一个“图表”上，也可称为坐标系。

在【74c】里总结的思想，以后在〖75e〗里做了更加充分的讨论。

从认识论的观点来看，规范理论概念的演进起源于下面的置换：

---

① 两年以前的1972年7月，我在北京介绍过与【74c】相似的内容。参见《科学通报》**18**，72（1973）。

$$p \to p - \frac{e}{c}A \tag{3}$$

这是在量子电动力学建立前用的一个置换。量子力学发展起来以后，就需要换成另一个置换：

$$p - \frac{e}{c}A \to i\hbar(\partial - \frac{ie}{\hbar c}A) \tag{4}$$

推广到非阿贝尔规范场，其中的因子就变成

$$\partial - \frac{ie}{\hbar c}A \to \partial - i\epsilon B \tag{5}$$

见论文【77e】。上面的解说意味着，至少对我而言，迟至1967—1969年才弄明白：规范势（gauge potential）就是数学上的联络。[①]就这一点来说，梅耶（M. E. Mayer）下面的说法是不正确的：

> 读了杨—米尔斯的论文会得知，作者一定十分清楚规范势的几何意义，因为他们利用规范协变微商和联络的曲率形式，而且，这篇论文的基本方程与更几何化地研究得到的结果十分一致。[②]

米尔斯和我在1954年所做的仅仅是推广了麦克斯韦理

---

① 此外，很多物理学家早在20世纪60年代初，甚至于在更早的时间就十分清楚这些。其中有：E. Lubkin，D. Finkelstein，J. M. Schiminovich，D. Speiser，J. A. Wheeler，B. S. DeWitt，A. Lichnerowicz，C. W. Misner，A. Trautman，H. G. Loos等人。参见【75c】的脚注18。

② W. Drechsler and M. E. Mayer，*Fibre Bundle Techniques in Gauge Theories*（Springer-Verlag，1977），p. 2.

论。我们不知道麦克斯韦理论的几何意义，也没有往这个方向想过。

在【74c】里，我提出一个设想，引力方程应该改变为一个3阶微分方程。今天我比1974年更加相信这是一个很有希望的设想，因为3阶方程比2阶方程更加自然，加之爱因斯坦理论量子化又导致一些困难。

我的大多数物理学同事对数学采取功利主义的态度，而我也许因为受父亲的影响，更加欣赏数学。我欣赏数学家的价值判断，以及数学的美和力量。在战术上，数学具有创造力和纷繁的一方面，在战略上它具有惊人的视野。而且，奇迹中的奇迹还是数学中有些概念，居然提供了支配物理世界的基本结构！

【75c】“不可积相因子的概念和规范场的整体表述”后记

Concept of Nonintegrable Phase Factors and Global Formulation of Gauge Fields

Physical Review **D12**, 3845 (1975)

T. T. Wu and C. N. Yang

场论的理论物理学家必须学习纤维丛的数学概念，这一点已经越来越清楚。1975 年初，我请赛蒙斯为我的同事和我，做了有关微分形式和纤维丛的系列午餐报告。他友善地接受了这一邀请，我们由此学习了斯托克定理(Stoke's theorem)、德拉姆定理 (de Rham theorem) 等等。通过学习我们才懂得玻姆—阿哈罗诺夫实验 (Bohm-Aharonov experiment) 的数学意义，以及狄拉克电单极和磁单极的量子化规则。吴大峻和我后来还弄清楚了深奥而又普遍适用的陈—韦伊定理 (Chern-Weil theorem)。我们还明白了规范场具有整体几何内涵 (不能与物理学家的整体相因子混淆)，这种内涵用纤维丛概念可以自然而然地表述出来。

在论文【75c】里，吴大峻和我探讨了这些整体内涵。我们演示了规范相因子给予电磁理论一个内禀的和完善的描述。这种描述既不会**过分**也不会**不足**。一旦接受了这些描述，这篇论文的其他内容就只是介绍纤维丛概念而已，它们澄清了规范理论物理学中的一些含混的思想。

【76a】“在极化核和极化强子里的强子物质流分布”后记

Hadronic Matter Current Distribution Inside a Polarized Nucleus and a Polarized Hadron

Nuclear Physics **B107**, 1 (1976)

T. T. Chou and C. N. Yang

当一个非零自旋的核被极化时，它的内部有一个核子流。这是一个被人们普遍接受的想法。质子内部有强子物质，那么当它被极化时它的内部是否也有一个“强子物质流”呢？ 邹祖德和我认为一定会有，从几何模型看这是唯一可能的解释。我们相信，测量这种强子物质流分布非常**重要**。[所谓强子物质我们指的是组成强子的成分，即夸克、层子（straton）或者别的任何“组成成分”。]

论文【76a】展示这种测量可以采用 R 型极化参数实验完成。这里的关键点是随着总截面的增加，对一个抛射的强子来说，向着它运动的强子物质靶比起离开它的强子物质靶应该更“黑”一些。

因为莱恩（K. Lane）提出的一个问题，我们增加了一个附录。它的标题是“狄拉克粒子的自旋会涉及运动吗？”这个问题在20世纪20和30年代当人们讨论振颤运动（zitterbewegung）时，曾经做过深入的研讨。现在大体上已经被遗忘了。

【76c】“无弦的狄拉克磁单极子：单极子谐和函数”后记

Dirac Monopole Without Strings: Monopole Harmonics

Nuclear Physics **B107**, 365 (1976)

T. T. Wu and C. N. Yang

在写完论文【75c】之后，吴大峻和我明白了，数学家制定的概念将会消除已有四十多年之久的磁单极中存在弦的困难，并且会给出狄拉克磁单极物理里隐含的非平庸丛 (nontrivial bundle) 的真实特性。随着我们研究的进展，我们为这一优雅的结果感到高兴。结果写在【76c】里，这是我研究中最精巧雅致的一个。

这种精巧雅致的结果导致了更加深入的研究。【76c】介绍的单极子谐和函数，在〖77b〗里做了更多的讨论。一个狄拉克电子和一个狄拉克磁单极子之间的相互作用，在〖77c〗和〖77d〗里做了研究，在【78a】和〖78g〗里把狄拉克单极子推广到 SU_2，这儿不要与特霍夫特—波利亚科夫单极子 (t'Hooft-Polyakov monopole) 弄混淆了。

【76d】“无弦的狄拉克单极子：经典拉格朗日理论”后记

Dirac's Monopole Without Strings: Classical Lagrangian Theory

Physical Review **D14**, 437 (1976)

T. T. Wu and C. N. Yang

为了对电子、磁单极子和电磁场得到一个二次量子化理论，吴大峻和我试图借用【76c】的一些想法，写下一个经典的拉格朗日量。其结果在一定程度上令人十分满意。其中有一点是它帮助我们弄懂了1948年狄拉克的一个结论，即经典作用量积分定义中相差$4\pi eg/c$整数倍是相同的：

$$U = U_0 \pmod{4\pi eg/c}$$

很多年来，大家都觉得狄拉克早期的结果很合适，但是我们直到1976年才把它弄懂。当然，这是由于把费曼路径积分(path integral)与狄拉克$2eg/\hbar c$ = 整数这一量子化条件结合起来，我们才弄懂的（参见论文【76d】的Ⅵ.6节）。我们对这种关系十分满意，并且还想利用路径积分建立二次量子化理论。但是这一努力没有取得成效。参见论文【78e】的后记。

【76g】“访问中国对中国科学家的意义”后记

What Visits Mean to China's Scientists

In *Reflection on Scholarly Exchange with the People's Republic of China*, Ed. A. Keatley (Committee on Scholarly Communication with the Republic of China, 1976)

C. N. Yang

与中华人民共和国学术交流委员会（Committee on Scholarly Exchange with the People's Republic of China）是1966年由美国学术委员会（American Council of Learned Societies）、美国科学院（National Academy of Science）和社会科学研究院（Social Science Research Council）协同建立起来的。20世纪70年代中美能够开始建立友谊关系，这个委员会起了重要的桥梁作用。这个委员会让干练的秘书安娜·凯特莉（Anna Keatley）编辑一本小册子，安娜请我为这本小册子写一篇文章。【76g】就是这篇文章。

1971年春，从报纸上可以看出从1949年开始冻结的

中美关系开始有了解冻的迹象。当我得知美国国务院已下令解除美国公民到中国旅行的禁令以后，我感觉到这是我回到中国——我出生的故土的机会来了，我又可以见到我的家人、亲戚，我的老师和朋友。我感到时不我待，机不可失，因为我不清楚这个刚刚打开一个小缝的门，会不会因为越南战争和亚洲不断变化的地缘政治而重新紧闭。于是我立即向中国驻巴黎大使馆申请签证，接着在1971年夏我到中国访问了一个月。

这儿不是我细谈那次旅行的地方。但是到1972年夏第二次中国之行，我已经做出决定：作为一个华裔美国科学家，我有责任为这两个与我密切相关的国家之间，建立一座了解和友谊的桥梁。我也认为我应该帮助中国在科学技术发展上勇起急追。

1972年7月1日，周恩来总理邀请我出席在人民大会堂新疆厅举行的一个宴会。在一年前，我也受到一次邀请，这是第二次，因此我能够相当从容地和更加直接地讲出我心里想说的话。我已经观察到，中国实行片面的平等主义已经毁掉了中国的科学。所以我迫切地向他建议采取一个政策，以增加对基础科学的重视。虽然从国家的立场来看，这一政策似乎不可能很快见到效果。

显然，周恩来与毛泽东主席讨论过我的建议，他们都同意应该做进一步考虑。1972年7月14日，总理指示北京大学副校长周培源研究如何实施这一政策。[①]我曾经听

① 周培源，《人民日报》，1977年1月13日。

说此后发生的一些事件的确给予了中国基础科学研究一些机会，但是主要的一些努力在1976年末“四人帮”倒台以前，一直遭到他们的阻挠。

在那些年我并不十分了解“四人帮”在中国干了些什么，因此也不知道他们不喜欢我的建议。1973年，“四人帮”成员之一的张春桥表示出他对我的憎恶，对此我莫名其妙。事实上，他在一次讲话中明显地批评过我，但我直到1977年才知道。

【77e】“磁单极子、纤维丛和规范场”后记

Magnetic Monopoles, Fibre Bundles and Gauge Fields
Annals of the New York Academy of Science **294**, 86 (1977)
Chen Ning Yang

这是我为庆贺马沙克60岁生日写的一篇文章。为了准备写这篇文章，我考察了规范场早期的历史。非常有趣的是位相概念如何被引入物理学，以及这个概念又如何渗透到技术的许多领域。

【77h】“规范场理论的若干问题（Ⅱ）”后记

Some Problems on the Gauge Field Theories (Ⅱ)

Scientia Sinica **20**, 47 (1977)

Gu Chao-hao and Yang Chen-ning

1974 年当我访问上海复旦大学时，我问有没有想与我讨论微分几何的数学家或者物理学家。我这样问是因为我知道这所大学在这一领域里有很强的实力。我的询问，为我和复旦大学近 12 位学者建立了一个持续了好几年颇有成果的合作。它还为复旦大学和石溪分校之间达成一个对彼此有益的交流协议。

论文【77h】就是合作的成果之一。这篇文章讨论的主要是几何问题。文章第一页列出的参与者应该都是合作的作者。

论文【77h】里讨论的一些观点的近期发展，可参见 M. A. Mostow, *Communications in Mathematical Physics* **78**, 137 (1980)。

【77j】“纪念李昭辉专题会议上的讲话”后记

Speech at the Benjamin W. Lee Memorial Session

In *Unification of Elementary Force and Gauge Theories*, eds. D. B. Cline and F. E. Mills (Harwood Academic Publishers, 1977)

C. N. Yang

1977 年春末，我在费米实验室待了一个月，那时经常见到李昭辉(Benjamin W. Lee)。除了其他事务以外，我们常常讨论循环瞬子解 (cyclic instanton solution) 和他当时感兴趣的天体物理学。6 月中旬我回到石溪。几天之后他的秘书打电话告诉我，李在车祸中去世。我听了之后简直惊呆了。

1977 年 10 月将在费米实验室召开一个国际会议，讨论宇称不守恒、弱中性流 (weak neutral currents) 和规范理论等。李昭辉原来是这次会议的组织者之一，他去世以后，会议的名称非常恰当地改为“纪念李昭辉国际会议”。【77j】是我在这会议的一个纪念分会上的讲话。

我第一次见到李昭辉是 1960 年秋天，那时他是普林斯顿高等研究院的一位年轻的博士后。我对他的独立思考能力有很深的印象。在接着几年的交往中，我确信他是一位优秀的物理学家。1965 年秋，当我准备到石溪分校时，我邀请他与我一起去，当他接受我的建议时我非常高兴。这对我们都很幸运，因为他在石溪收获颇丰。此后几年，他做了很重要的研究，对石溪分校物理系做出了重大的贡献。[①]1973 年，他转到费米实验室任理论物理组长。 但是我们仍然保持密切的接触。他的去世对物理学界是一个打击，于我更加了一层个人的痛惜。

① 参见 B. Lee, in *Gauge Theories and Neutrino Physics*, ed. M. Jacob (Amsterdam: North-Holland, 1978), p. 147。

【78e】“电子、磁单极子和光子之间的相互作用 (I)”后记

Interaction of Electron, Magnetic Monopoles and Photons (I)

Scientia Sinica **21**, 317 (1978)

Tu Tung-sheng, Wu Tai-tsun and Yang Chen-ning

虽然在论文【76d】里，吴大峻和我为电子、磁单极和光子之间相互作用系统，发现了一个令人满意的经典拉格朗日量，但是在试图用路径积分的方法把这个动力学系统量子化时，却没有取得成功。1976 年夏，我们两人和杜东生都在 CERN 访问时，就一起再次研究这个问题。我们发现推广【76c】文中绘图的办法，可以把纵向和横向电磁场分离开，还可以利用相似于费米在通常量子电动力学中使用的正则程序 (canonical procedure)。由此在 1977 年末写出论文【78e】。

在原稿书名页上并没有带星号的脚注，这显然是编辑加进去的。收进选集时去掉了。

【78k】“BPST 赝粒子解的逐点 SO_4 对称”后记

Pointwise SO_4 Symmetry of the BPST Pseudoparticle Solution

In *Felix Bloch and Twentieth-Century Physics*, eds. M. Chodorow et al. (Houston: Rice University, 1980)

C. N. Yang

毕腊文、珀尔雅科夫（A. M. Polyakov）、施瓦兹（A. S. Schwartz）和提乌普金（Yu. S. Tyupkin）他们的赝粒子解，或者称为瞬子（instanton），在数学上与陈—韦伊定理有关。它具有一些值得注意的性质，在论文【78k】里对其中一个性质做了证明。

【79b】“旋转中子或者光学干涉仪里的相移”后记

Phase Shift in a Rotating Neutron or Optical Interferometer

Physical Review **D20**, 1846 (1979)

M. Dresden and C. N. Yang

1979 年春，当我访问密苏里大学时，维勒 (S. A. Werner) 把他们中子干涉仪完成的漂亮实验做给我看。我一直关注相位以及相干性的实验，而对他们的这一实验更有特别的兴趣。回到石溪以后，德雷斯顿和我研究了维勒和他的同事们测量出来的相移的理论推导，并写出论文【79b】。

【80a】“强子碰撞的几何模型”后记

Geometrical Model of Hadron Collisions

In *Proceedings of the 1980 Guangzhou Conference on Theoretical Particle Physics* (Beijing: Science Press, 1980)

T. T. Chou and C. N. Yang

选文【80a】是邹祖德在1980年广州会议上做的一个报告，它总结了几何模型与实验比较后的一些理论结果。在这个报告之后，又有几个实验证实了几何模型对K介子电荷半径[①]和$p\bar{p}$散射存在凹陷的预言[②]。

① E. B. Dally at al., *Physical Review Letters* **45**, 232 (1980).

② 参见〖81a〗。

【80b】“爱因斯坦对理论物理的影响”后记

Einstein's Impact on Theoretical Physics

Lecture Given at the Second Marcel Grossmann Meeting Held in Honor of the 100th Anniversary of the Birth of Albert Einstein

Physics Today **33**, 42 (June 1980)

C. N. Yang

1979 年是爱因斯坦百年寿诞，全世界各地都有纪念这一节日的会议。我参加了四个：普林斯顿、伯尔尼、耶路撒冷和特里亚斯特的。论文【80b】摘自我在特里亚斯特所做的报告。

爱因斯坦终其一生苦苦追求建构“一个完整的理论物理系统”。他寻找“一些概念和基本原理”，来实现对物理世界结构的巨大综合。这一综合的中心概念是力，或者相互作用，它们使物体聚集一起，产生各种构成自然现象的种种反应。

我相信我们今天离爱因斯坦梦想的巨大综合还很远，

但是我们确实掌握了这些关键因素中的一个，那就是**"对称性支配相互作用"**原理，这是爱因斯坦首先使用的一个原理。从历史的角度来看，这一原理的提出特别有趣，因为古代哲学家们就曾经把对称性和宇宙结构联系起来。在古希腊，提麦奥斯[①]和柏拉图把四种"基本"自然物质火、空气、水和土，分别与正四面体、正八面体、正二十面体和立方体联系起来。在古代中国，《易经》把三线和六线符号同自然现象联系起来。当然，现代科学里的对称性与古代哲学家所说的对称性不是一回事。但是它们之间在概念上存在着普遍的联系，这是难以否定的。

在我们面前仍然存在着严重的困难。这些困难之中有许多都牵涉两个有关联的问题：一是如何处理场论的发散性，二是选择哪一个理论。我们知道**对称性对消除发散很有好处**。但是我们还不充分理解对称性的**全部**含义。我们似乎还需要新的基本概念，而这又必须引进一些新的数学概念。[②]这是一些什么样的新数学概念呢，我们今天还不知道。可能是四元数，阶化李代数（graded Li algebras），或者是复流形（complex manifolds）。更可能是一些尚未命名或者未知的概念。1873 年麦克斯韦写道：

> 法拉第用他的力线的观念来协调电磁感应现象，这说明他是一位一流的数学家——未来的数学家可以

① 提麦奥斯（Timaeus，公元前 356—前 260），古希腊历史学家。——译注
② 作为后记，可参见〖79d〗。

从他的思想里获得有价值和富有成效的方法。

精密科学的发展依赖于精确恰当思想的发现和发展，而这些思想可以帮助我们将外界的事实转化为内在的表述。这些表述一方面要有足够的普遍意义，经受得起任何特殊案例的考验；另一方面它要足够精确，保证我们应用数学推理所导出的结果是正确的。

从欧几里得直线到法拉第的力线，这些概念都具有保证科学发展的特征。把它们任意运用到动力学或者几何学思想中，我们都可以期望科学会得到进一步的发展。数学计算的用途，是把计算的结果与实验测量出来的量进行比较。电学目前正处于这样一个阶段，测量和计算都极其重要。

我们很可能还不知道这门学科的名称，但是我们正在为其收集的资料将会促使这门学科脱颖而出……①

① J. C. Maxwell, *Scientific Papers*, Vol. 2, No. 61 (Cambridge: Cambridge University Press, 1890).

下 编

【71d】“关于长城的演讲稿”后记

Speech about the Great Wall

再印于《读书教学四十年》，香港三联书店 1985 年版

Chen Ning Yang

1971 年夏天我去中国的访问是我事业上的一个转折点。1945 年我 23 岁时离开了旧中国，四分之一个世纪后的现在，我所看到的新中国是一个发生了戏剧性变化的国家：仍旧贫穷，但是与四分五裂的旧中国非常非常不一样。8 月 4 日我弟弟振汉和妹妹振玉陪我去看长城。【71d】是我后来关于那次旅游的谈话。

【A71d】“对中华人民共和国的物理的印象”后记

C. N. Yang discusses physics in People's Republic of China

Gloria B. Lubkin

In *Physics Today*, Nov. 1971, pp. 61 – 63

格洛丽亚·卢布金 (Gloria Lubkin) 是《今日物理学》(*Physics Today*) 的编辑，1971 年 8 月我从中国返回美国后她对我进行了采访。【A71d】是她的采访记录。

【72d】“一个戴高乐式的行程”后记

A de Gaulle-Like Trip

Newsday, Feb. 21, 1972, p. 4

Chen Ning Yang

在尼克松总统抵达北京展开他的“改变世界的一周”的前夕，长岛的一家报纸《每日新闻》请我写篇文章。【72d】就是那篇文章。有几件事值得一提：

(1) 2012 年的今天重读 1971—1972 年的三篇论文：【71d】、【A71d】和【72d】，我不禁清晰地再度感受到我 1971 年中国之行时的那种情绪的激动和心情的纠结。那是一次对我有深刻影响的旅行。

(2) 在【72d】中我提到美国前国务卿杜勒斯广为人知的主张：美国应该援助中国人民从中国共产党统治下解放自己。不幸这种观点时至今日在美国仍然没有完全消失。

(3) 年届 90 岁的今天，我深深忧虑美中之间可能发生的危险的摩擦。我希望双方的领导人物应该从 1971—1972 年间国际外交史上所发生的重大变化中吸取教训。

（4）尼克松访华时，曾在人民大会堂参加国宴。这张照片是当时尼克松总统向杜聿明将军（1904—1981）敬酒时所摄，它刊登在次月的《生活》（*Life*）杂志上。杂志的编辑显然不知道杜将军为何许人。他曾经是蒋介石军中最高层的将军之一，于 1949 年被毛泽东的解放军击败和俘虏。十年囚禁获释后定居北京，为他的军旅生活和战争经历写回忆录。



杜将军其实是我岳父（我与他女儿杜致礼 1950 年在普林斯顿结婚）。我在 1972 年 2 月某日，在由华盛顿至长岛的班机上，翻阅一本《生活》杂志时偶然看到这张照片。我当时就想，我应该告诉女乘务员，这张相片中的杜将军是我岳父，我必须把这本杂志带回家，让我妻子看。然而我又想这位女乘务员一定不会相信我的话，于是我干脆偷偷把它塞进了我的公事包。

【77g】“在四维欧几里得空间中 SU (2) 规范场的自对偶条件”后记

Condition of Self-Duality for SU_2 Gauge Fields on Euclidean 4-Dimensional Space

Phys. Rev. Lett. **38**, 1377 – 1379 (1977)

Chen Ning Yang

这篇文章的重点是等式 (4)，它是允许自对偶积分一次的条件。这个想法是我在 1977 年的某一天想到的，我还清楚地记得，那是当我正举步走进我所喜欢的理发店的那一刻。那时这个店在 347 号公路边，靠近石溪。

我没有将这篇文章包括在我的第一本《选集》中，因为它没有产生有用的物理。后来丘成桐 (S. T. Yau) 告诉我，它对数学有用，所以我把它收进来。丘成桐的文章请参见《对称性和现代物理》(*Symmetry and Modern Physics*, ed. A. Goldhaber, et. al., World Scientific, 2003) 第 117 页，以及乌伦贝克 (K. Uhlenbeck) 和丘成桐的文章：*Comm. Pure Appl. Math.* XXXIX (1986) S257。

【78a】“把狄拉克磁单极推广到 SU_2 规范场”后记

Generalization of Dirac Monopole to SU_2 Gauge Field

J. Math. Phys. **19** (1), 320 (1978)

Chen Ning Yang

20 世纪 70 年代中我曾十分热衷于 BPST[①]在 S_4 上的无源 SU_2 规范场。它具有完美的 SO_5 对称和 E↔H 关联。如我在【78a】中所解释的，在某种意义上它是狄拉克磁单极 U_1 的直接推广。我尝试进一步将它推广到属于更高李群的规范场，但是没有成功。所以我没有将【78a】包括在我早先的论文选集中。

这个推广最近被 Van-Hoang Le 和 Thanh-Son Nguyen 发现了[*J. Math. Phys.* **52**, 032105 (2011)]。它是一个具有 SO_9 对称的 SO (8) 磁单极。[同时参见 B. A. Bernevig, J. Hu, N. Toumbas and S. -C. Zhang, *Phys Rev. Lett.* **91**, 236803 (2003)。]

---

① BPST 是四个人的名字的第一个字母的合并，这四个人是 A. A. Belavin, A. M. Polyakov, A. S. Schwartz, Yu. S. Tyupkin，他们合作的那篇经典文章是 “Pseudoparticle solutions of the Yang-Mills equations” *Phys. Lett.* **B59**, 85 – 87 (1975)。

【79d】“爱因斯坦和物理学的未来”后记

Einstein and the Physics of the Future

“Panel Discussion”, *Some Strangeness in the Proportion*, ed. H. Woolf

1979 年为了纪念爱因斯坦百年诞辰，普林斯顿高等研究院组织了一次座谈会。【79d】是座谈会讨论小组之一发表的记录。在预印本中我把小组讨论的全部记录都收集进去，而不仅是我个人的发言。因为这个座谈会恰好是在 20 世纪下半叶理论物理的一个转变时期。读到不同的理论家对“物理学未来”这个题目的不同看法是饶有趣味的。

1979 年元月，邓小平副总理和卡特总统在华盛顿建立双边外交关系。当时我是美籍华人全国协会（National Association of Chinese Americans，NACA）的主席，我们与几个其他美籍华人组织在华盛顿希尔顿饭店为邓小平举行了宴会。

也许因为我在美籍华人全国协会的活动，和我为新中

国所做的一些演讲，苏联《文学报》(*Literarurnaia Gazeta*)在1979年3月7日刊登了一则文章，指控我是"北京在美国的第五纵队"的一分子。幸而美国中央情报局(CIA)和美国联邦调查局(FBI)似乎没有把这个谣言当真，也没有追查下去。

【80d】“微观时间反演不变性的破坏有可能会导致出现熵减少现象吗？”后记

Does Violation of Microscopic Time-Reversal Invariance Lead to the Possibility of Entropy Decrease?

Trans. *N. Y. Academy of Sciences* **40**, 267 – 273 (1980)

Chen Ning Yang and Chen Ping Yang

在讨论微观时间反演非不变性（time reversal non-invariance）时，杨振平和我设想，我们可能设计一个能够创造负组合熵（negative combinatorial entropy）的机器。这个想法使我们十分兴奋，因而在这上面花了几天时间，最后却了解到无论有或没有时间反演不变性，仅仅幺正性就足够保证熵不会减少。后来范康姆彭（Van Kampen）告诉我们，这个问题早已在文献中彻底讨论过了。在【80d】中我们回顾了这个问题，并做了附加的评语。

【82c】“约瑟夫·梅耶与统计力学”后记

Joseph Mayer and Statistical Mechanics

International Journal of Quantum Chemistry: Quantum Chemistry Symposium **16**, pp. 21 – 24 (1982)

Chen Ning Yang

1982 年在佛罗里达举行了一个纪念约瑟夫·梅耶(1904—1983)的国际座谈会。我对这个座谈会的贡献就是【82c】。

在会上我有幸与老友马克·卡克晤谈。当时我不知道这是我们最后的一次会面。

【82c】的中译文见《曙光集》(2008)。

【82e】“磁通量量子化：个人的回忆”后记

Flux Quantization, A Personal Reminiscence

in *Near Zero New Frontiers of Physics*, eds. J. D. Fairbank et al., 1988, pp. 252 – 256

Chen Ning Yang

我认为磁通量量子化和迈斯纳效应（Meissner effect）的实验发现，绝对是诺贝尔奖水平的贡献。在这篇文章中我讲述了关于磁通量量子化早期理论上的推测，这是我为1982年斯坦福大学比尔·范尔班克（Bill Fairbank，1917—1989）纪念会所写的。同时此集中也有【92d】的预印本。

【82e】的中译文见《曙光集》(2008)。

【82g】“分立对称性 P，T 和 C”后记

The Discrete Symmetries P, T and C

Journal de Physique, *Colloque* **C8**, Supplement au No. 12, 439 – 451 (1982)

Chen Ning Yang

1982 年在巴黎召开的国际物理史会议上，我的演讲题目是“分立对称性 P、T 和 C 的历史”。后来发表为【82g】。多数现在的读者不知道当初为了解这三个分立对称性的困难。

如【82g】所指出，1930 年我们对 C 和 T 都还不了解，但是令人惊奇的是赫尔曼·韦尔（1885—1955）在他 1930 年新版的《群论》的序言中说：

> 质子和电子的基本问题，在讨论与其有关的量子定律中左与右，过去与未来，电荷的正与负的对称性时，已经被讨论过了。但是目前还见不到这个问题的答案：我想笼罩在这个主题上的这部分疑云，恐怕还

会聚集起来，形成量子物理学一个新的危机。

他已经**预言**了 *CPT* 定理！

韦尔是一位伟大的数学家，而且他也喜欢谈哲学和物理，如他自己所说：

> 苏黎世一匹孤独的狼，赫尔曼·韦尔，也喜欢在这个领域中忙乎，不幸他总是把他的数学和对物理与哲学的猜测混在一起。

但不像99%的外行热衷者，韦尔却取得**惊人的成功**，请参阅【85j】的后记。

我演讲后的讨论不是很有系统，但是还维持了维格纳、泰莱格迪等人演讲的风格。

会议上有一个关于裁军的讨论，那当然会是一个较为混乱的场面。但是使我惊奇的是西岛和彦[①]说：丢在日本的两颗原子弹最大的收获，是阻止了苏联对日本的入侵。

【82g】中译文见《曙光集》(2008)。

附：《曙光集》后记节选

关于群论早年不被物理学者重视的故事很多。在

① 西岛和彦（K. Nishijima，1926—2009），日本物理学家，粒子物理学中的盖尔曼—西岛公式是他最重要贡献之一。——译注

20世纪60年代维格纳在普林斯顿常说："在20世纪20年代，我的所有工作都被认为不重要。今天，我的任何工作都被认为重要。"我对于这个转变有一点贡献：

在20世纪20年代受了海森伯与玻尔的影响，又因为一班物理学家不喜欢太多的数学，所以韦尔和维格纳的工作都太不被重视。我在昆明的时候，为了写学士论文了解到了群论的重要，也了解到了维格纳与韦尔是两位引进群论到物理学中的大学者，所以对维格纳一直十分佩服。1957年我在诺贝尔演讲中特别提到维格纳是最早发现左右对称与"宇称"的关系的人。我说："这个基本观念很快就被吸收到物理学的语言之中。"

维格纳非常高兴我的这个说法，所以第二年他即提议普林斯顿大学给吴健雄、李政道和我荣誉学位。据江才健的《吴健雄传》说，这是普林斯顿大学第一次颁授荣誉学位给一位女科学家。

维格纳为人诚谨，不苟言笑。从他身上我们可以看到第二次世界大战前欧洲学人的风度，与今天许多美国科学家的盛气逼人的态度成鲜明对照。

【83g】“规范场、电磁理论和玻姆—阿哈罗诺夫效应”后记

Gauge Fields, Electromagnetism and the Bohm-Aharonov Effect
Proceedings of the International Symposium on the Foundations of Quantum Mechanics, Tokyo, 1983, eds. S. Kamefuchi et. al., 1984, pp. 5 – 9

Chen Ning Yang

这是我在新技术观点下讨论量子力学基础的国际会议（International Symposium on the Foundation of Quantum Mechanics in Light of New Technology, ISQM）上所做的报告，这一系列的讨论会是由日立公司研究实验室主持，每三年一次，直到最近。外村彰（Akira Tonomura）是这一系列有益而令人兴奋的讨论会的发起人和组织者。

在《对称性与现代物理》（*Symmetry and Modern Physics*, ed. A. Goldhaber et al., World Scientific, 2003）的一篇文章里外村彰描述了他和我如何在 1981 年一起商谈，以及这个讨论会后来又如何筹划。

我认为阿哈罗诺夫—玻姆实验是基本实验之一，它

建立在量子力学中电磁理论的真正拓扑意义。这个理念在1959年第一次在理论上被提出来时，许多著名物理学家还不相信它。

非常有趣的是当麦克斯韦写下他的方程式时，他特意用了矢势（vector potential）。四十多年后希维赛德（Heavyside）和赫兹（Hertz）指出麦克斯韦方程式可以不用矢势写出。希维赛德很得意地宣扬这个简化的优点。**“可以这么说，Ψ 和 A 都被干掉了，在确定性和简化上带来大好处。”**［A. C. T. Wu and C. N. Yang, *Int. J. Mod. Phys.* **A21** 3235 (2006)］随后所有研究生课本都用希维赛德形式表达麦克斯韦方程组。应该归功于阿哈罗诺夫和玻姆，1959年他们指出电磁理论在量子力学中有额外的意义，而且矢势不能完全删去。其特殊的重要性是因为，它牵涉到规范观念作为所有相互作用基础的内在含义。

在1984年以前，我都将阿哈罗诺夫—玻姆论文称为玻姆—阿哈罗诺夫论文，这有几个原因：玻姆是个非常好的物理学家，曾经是我在普林斯顿的朋友之一，后来在麦卡锡时代受到迫害逃亡巴西，而且我知道阿哈罗诺夫是他的研究生。1983年ISQM会议中阿哈罗诺夫问我，为什么不用他们文章发表时所用的名字顺序阿哈罗诺夫—玻姆。我就告诉了他我的多重理由，并且说，如果玻姆告诉我，我错了，那我就会改变我的习惯。一段时间后，玻姆真的写信告诉我，那篇论文的理念的确是阿哈罗诺夫首先想出的。自此以后我就遵守我对阿哈罗诺夫许下的承诺。

【85g】“电子自旋、强子和原子核”后记

Spin of Electrons, Hadrons and Nuclei

Proceedings of Sixth International Symposium on Polarized Phenomena in Nuclear Physics, Osaka, 1985, *J. Phy. Soc. Jpn. Suppl.* 55, 53 – 57 (1986)

Chen Ning Yang and T. T. Chou

这是我在1985年日本大阪一个会议上所做的报告。包括两个部分：第一节主要是历史性的，在规范理论范畴内，我们何以需要一个有**自旋**电子的引力理论的推测。今天我仍然相信，这是未来征服量子广义相对论的一个关键的组成部分。

接下来两节的讨论，是源于邹祖德和我对用几何图像处理强子碰撞现象的偏好。

【85j】“赫尔曼·韦尔对物理的贡献”后记

Hermann Weyl's Contribution to Physics

"A Hermann Weyl 1885 Centenary Lecture", ETH, 1985, *Hermann Weyl* (1885 – 1985), ed. K. Chandrasekharan, 1987, pp. 7 – 21

Chen Ning Yang

这篇论文是我为1985年在苏黎世召开的赫尔曼·韦尔百年诞辰纪念会所写的。

韦尔是20世纪伟大的数学家之一。用他自己的话说，他也是“通过哲学的推测”于1918年首创了规范的理念，后来这一理念完全转变了基础物理学。在韦尔于1955年去世时，这个转变还没有发生，规范理念在物理中没有什么影响力。但是他对它仍然很执著：如这篇论文所引用，在死前六个月他在写作中再次提到。

在写这篇论文时我才发现，爱因斯坦对韦尔1918年的想法很有预见性的反对意见，以及这一反对意见与1959年阿哈罗诺夫—玻姆论文之间的关系。

【85j】中译文见《曙光集》(2008)。

又及：

(1) 近几年我曾经反复问自己，为什么泡利没有发表他在1954年计算的规范理论，而米尔斯和我却发表了。我想答案是我们的价值判断非常不同：

(A) 规范不变的美和力量，和

(B) 规范玻色子的质量问题。

对米尔斯和我来说，主要的驱动力是 (A)。规范不变性精确的叙述见米尔斯和我发表在《物理评论》**95**，631 (1954) 上简介一文里，后来在【85j】又引用过：

> (规范不变性) 与 (1) 电磁场运动方程、(2) 电流密度的存在和 (3) 在电场与电磁场之间可能的相互作用密切相关。我们曾经试图把这种规范不变性的概念推广应用到同位旋守恒上。

至于 (B)，米尔斯和我探索过各种可能性，然后在我们1954年的文章里写道："因此我们不能对 b 量子的质量做出任何结论。"这就是说，(B) 是未来需要研究的问题。

对于泡利，规范不变性的美明显不足以使人信服。此后他对这整个想法都一直持否定态度。可参见【85j】的注释34。因此，(B) 中质量对泡利来说是中心的和决定性的问题。

(2) 在【85j】里我提到钱伯斯实验 (Chambers' experiment)。这一实验因为缺乏磁通量，现在认为不具有决定性。决定性和定量验证的阿哈罗诺夫—玻姆实验，由外村彰和他的同事们完成，见 *Phys. Rev. Lett.* **56**, 792 (1986)。

附：《曙光集》后记节选

韦尔是20世纪一位伟大的数学家。他学术贡献极多，眼光远大，可是对日常生活中要做的决定却经常犹豫不决。最近出版的 *Pursuit of Genius* (Steve Batterson 著，A. K. Peters Ltd.) 详细描述了普林斯顿高等研究所早年的历史，其中讲到韦尔怎样到该所做教授。1932年10月高等研究所宣布聘任头两位教授：爱因斯坦与维布伦。爱因斯坦又极力推荐韦尔，所以所长弗莱克纳斯(A. Flexner) 开始与韦尔商讨。韦尔那时是德国哥廷根大学的有名教授。1933年1月3日他打电报给弗莱克纳斯表示接受高等研究所的聘书。第二天他再打电报说对不起，他改变了计划。第三天他再打电报说他又改变了，这回是“unwiderruflich”(不可逆转地) 接受聘请。可是弗莱克纳斯还没有来得及通知董事会说韦尔接受了聘任，又于1月11日收到韦尔的电报说他无法搬家到美国。

与韦尔的商讨不成功，弗莱克纳斯转而聘请了年轻的匈牙利人冯·诺伊曼 (1903—1957)。冯·诺伊曼

后来对美国的原子弹与氢弹，以及“二战”后的计算机发展都有极重要的贡献。假如没有韦尔的反复不决，也许冯·诺伊曼不会去普林斯顿。

1933年1月30日希特勒就任为德国总理。4月7日他宣布新法令禁止犹太人任大学教授。韦尔的太太是犹太人，所以他在德国的前途变得十分暗淡。他痛苦地寄信给维布伦希望可以到高等研究所来“访问”。可是高等研究所已经聘请了年轻的冯·诺伊曼，董事会中有人不赞成再请韦尔为教授。后来几经周折，幸亏维布伦、弗莱克纳斯和一位董事艾德洛特（后来成为第二任高等研究所的所长）的努力，才于9月7日再度向韦尔发出聘书。这一次韦尔高兴地接受了。

韦尔于那年10月就任为高等研究所教授。后来在Mercer街284号盖了一所住宅，是Art Deco式的建筑——平顶、直线与弧线交错。1955年他逝世后，房子卖回给高等研究所。1957年我买了此住宅，在里面住了九年，直到1966年搬去石溪为止。恰巧那年奥本海默自高等研究所所长任上退休，要搬离所长住宅，所以就搬进了此房子。翌年他病逝于此房子中。

【86c】“负1的平方根、复相位与埃尔文·薛定谔”后记

Square root of minus one, complex phases and Erwin Schrödinger

In *Schrödinger, Centenary Celebration of a Polymath*, ed. C. W. Kilmister, Cambridge University Press, 1987, pp. 53 – 64

Chen Ning Yang

这是我为1987年纪念薛定谔百年诞辰所写的。纪念会从3月31日到4月3日在伦敦的帝国学院举行。文章发表在《薛定谔，一位通才的百年纪念》(*Schrödinger, Centenary Celebration of a Polymath*) 上。在执笔时我很高兴地深入了解到，1926年薛定谔最后被迫在他的基本方程式中接受了负1的平方根之前的内心争斗。那是如何煎熬的一段时间啊！又是怎样一个伟大的创造良机啊！

两个笔误：(1) 在方程式 (2.3) 之前，开始是“关于(a)”，“1926f”应该是“1926c”。(2) 在5.4节前“杨，1986”应该是“杨，1983”。

有两本书对这篇文章的写作大有帮助：《薛定谔：波动力学文集》(*Collected Papers on Wave Mechanics*, Chelsea 1978) 和《关于波动力学的信件，爱因斯坦、薛定谔、普朗克和洛伦兹》(*Letters on Wave Mechanics by Einstein, Schrödinger, Planck and Lorentz*, Philosophical Lib. 1967)。

【86c】中译文可见《曙光集》(2008)。

20 世纪 80 年代早期我曾多次访问香港中文大学。1986 他们邀请我出任该校杰出无任所教授 (Distinguished Professor at Large) ①，我接受了。这是我与这所大学和香港长期联系的开始。

① 香港中文大学把这一教授称为“博文教授”。——译注

【87a】“施图尔姆—刘维理论推广到一类有狄拉克型能谱的常微分方程”后记

Generalization of Sturm-Liouville Theory to a System of Ordinary Differential Equations with Dirac Type Spectrum

Commun. Math. Phys. **112**, 205 – 216 (1987)

Chen Ning Yang

我一直对施图尔姆—刘维理论的优雅印象良深，曾经多次想把它推广到二维理论来获得有关本征函数节线数(nodal lines)的结论，可是只得到一些不完整的结果。在20世纪70年代末人们对磁单极是否存在发生很大的兴趣。卡扎马(Kazama)、哥德哈伯和我研究了由一个磁单极和一个狄拉克电子组成系统的物理。我们发现这系统可能有束缚态存在。在这个研究中我们需要将施图尔姆—刘维理论推广到类似狄拉克方程的系统，也就是能谱没有下限的系统。这个推广在1981年特里亚斯特(Trieste)会议上简短地报告过，后来作为【82c】发表。【87a】是一个更完整的报告，发表于1987年。

施图尔姆—刘维理论中优雅的比较定理(comparison

theorem)，对控制波函数的摆动非常有效。因此当马中骐访问石溪时，我建议他试探用施图尔姆—刘维理论来证明相对论性和非相对论性的莱文森定理 (Levinson's Theorem)。这一研究成果颇丰，他发表了好几篇文章：*Physical Review* **D31**, 1482 (1984); D32, 2203 (1985); *Journal Mathematical Physics* **26**, 1995 (1985)。还可参见最近他对莱文森定理历史的评论：*J. Phys.* **A39**, R625 (2006)。

【87b】“赵忠尧与正负电子对之产生和湮灭”后记

C. Y. Chao, Pair Creation and Pair Annihilation

Int. J. of Math. Phys. **A4**, 4325 (1989)

Bing An Li and C. N. Yang

我在20世纪70年代访问中国的研究机构时，听到过关于赵忠尧（1902—1998）对基础物理曾经做过很重要的实验上的贡献，但是没能够找到任何细节详细的资料。这种对年长科学家们的早期贡献的评估，在当年中国的学术界似乎是一种普遍现象：谣传、传闻，有时还出现奇怪的名称，如“康普顿—吴效应”。于是我决定与李炳安做一次认真的调查，弄清楚赵忠尧在安德森发现正电子之前到底做了些什么。

我们发现，在1929—1931年赵忠尧做了绝对是诺贝尔奖水平的工作。在两个简单而漂亮的实验中，**他发现了正负电子对的产生和湮灭，这一实验发现应该被认为在实验上证实了狄拉克空穴理论和量子电动力学的真实性**。不

幸的是：(1) 另外两个实验小组在类似的实验中产生了错误或不准确的结果；(2) 布莱克特 (Blackett) 和奥卡利尼 (Occhialini) 在 1933 写了一篇关键而非常有影响的文章，把这两个没有结论的实验与赵忠尧的正确而有结论的两个实验混作一谈，误导了这个领域的物理学家们，以致赵忠尧的伟大贡献没有得到应有的公认。

【87b】发表后，我们听说赵忠尧从其中发现有些让他不解的东西，但是他已经不愿意再去核查和澄清了。

【87b】的中译文可见《曙光集》(2008)。

【88b】“具有因子化 S 矩阵的一个一维 N 体费米子问题”后记

A One Dimensional N Fermion Problem with Factorized S Matrix

Commun. Math. Phys. **122**, 105 – 116 (1989)

C. H. Gu and Chen Ning Yang

论文【67e】是杨—巴克斯特方程首次出现的文章。在那篇论文里对一些关键的方程我没有给出证明的细节。详细的证明后来由冯明康（M. K. Fung）给出，发表于 *J. Math. Phys.* **22**, 2017 (1981)。

在【88b】里，谷超豪和我用【67e】的方法为一维费米子建构了一个可解的格气模型。在这个模型里，明确地给出了束缚态和 S 矩阵。这个模型在很多方面类似低能、少体核物理学，其中 p↑、p↓、n↑和 n↓满足近似的 SU (4) 对称性。由这模型可以得到一个众所周知的结果，就是存在近似的束缚态：H^2，H^3，He^3和 He^4，但是没有 He^5的束缚态。我们的模型重现了这些性质，而且在这个模型里，人们可以**明确**写出这些反应的 S 矩阵

元素：

$$p + H^3 \rightarrow n + He^3,$$

$$p + p + H^3 \rightarrow p + n + He^3.$$

（参见正文表 1 和该文第 8 节末的讨论。）

【88d】“在统计力学领域中的历程”后记

Journey Through Statistical Mechanics

Int. J. Mod. Phys. **B2**, 1325 (1988)

Chen Ning Yang

【88d】中译文见《曙光集》(2008)。

附《曙光集》后记

这篇文章里所提到的1955—1959年所做的工作，主要是研究玻色硬球的低温特性。当时这是一个纯理论的研究，没有任何实验的可能。近十年来用了激光设施，超低温实验变成了显学，竟能研究玻色硬球系统中的声速等性质[*Phys. Rev. Letters* 98 040401 (2007); 93 200404 - 1 (2004)]，所以沉寂了四五十年的理论工作又热闹了起来。

1992年李炳安为了写一篇关于我的文章，曾问我应该用什么原则选择研究的题目。我说：“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。”玻色硬球就是这样的一个题目。

【89c】“现代物理学和热情的友谊”后记

Modern Physics and Warm Friendship

In *Lattice Dynamics and Semiconductor Physics*, eds. J. B. Xia et al., World Scientific, 1990

Chen Ning Yang

2002 年黄昆（1919—2005）在接受由中国国家主席江泽民颁发的中国最高科学奖之时，我写了一封信给他，下面是那封信和他的回复。

亲爱的黄昆：

朱邦芬寄给我他写的关于你的一篇长文，文章写得很好。我第一次知道了过去二十年来你在英国和中国物理学工作的详情。文章中的故事给人印象极深。

祝贺中国今天授予你的巨大荣誉。我知道你的学生和朋友们比你更高兴。仪式是重要的，因为它深有含义。

并对你和李艾扶致亲切的中国新年祝贺。

杨振宁

2002 年 1 月 31 日

亲爱的振宁：

谢谢你祝贺我获奖的邮件，恐怕这封致谢信有点晚了。你可能已经正确地概括了我对这件事情的感受，而你的评语引发了我在这些日子里的思考。我开始明白，我实在应该一起为我们所能做到的事情更高兴一些，包括我自己，也包括我周围的人们。

不知道这是否你心中所想，无论如何，这样想对我有益。

黄昆

2002 年 2 月 5 日

【89c】中译文见《曙光集》(2008)。

【90b】“哈巴德模型中的 SO_4 对称性”后记

SO_4 Symmetry in a Hubbard Model

Mod. Phys. Lett. **B4**,977 (1990)

Chen Ning Yang and S. C. Zhang

随着 1986—1987 年高温超导的发现，人们对哈巴德模型有了很大的兴趣。【90b】是我和张首晟 (S. C. Zhang) 关于这个模型的合作论文。他在我 1999 年退休座谈会上描述了这篇论文的起源，后来写成文章发表在《对称性与现代物理》(*Symmetry and Modern Physics*, ed. A. Goldhaber et al., World Scientific, 2003)。

我对他进入凝聚态物理领域有些影响，自然会对他近来在这个领域取得显赫的成就感到非常高兴，他预言了“拓扑绝缘体”(topological insulators) 不寻常的性质。

珂瑞平 (V. Korepin) 和他的合作者们在【90b】中更进一步发展了这个理念。参见 F. Essler, V. Korepin and K. Schoutens, *Phys. Rev. Lett.* **67**, 3848 (1991)，以及随后的论文。

【90e】“对称性与物理学”后记

Symmetry and Physics

The Oskar Klein Memorial Lectures, Vol. 1, ed. Gosta Ekspong, World Scientific, 1991

Chen Ning Yang

奥斯卡·克莱因（Oskar Klein，1894—1977）是在20世纪20年代中期的量子力学诞生时期的一位重要物理学家。20世纪50年代他访问普林斯顿高等研究院的时候，我开始与他熟悉起来。我记得他讲话声音很温和。1988年埃克斯朋（Gösta Ekspong）设立克莱因纪念讲座时，他邀请我做开头的两个报告，【90e】是第一个报告。

1938年在华沙召开的一次会议上，克莱因提出一个场论[①]，其中包含一些类似于非阿贝尔规范场论中的非线

① O. Klein, *New Theories in Physics*, International Institute of Intellectual Cooperation, Paris (1939). ——译注

性项。在塞西莉亚·加尔斯科格[①]于20世纪70年代或80年代“发现”这篇论文以前，克莱因的文章一直很少受人重视。由于加尔斯科格的“发现”，有很多文章试图解释为什么克莱因的理论以前没有受到重视。我想我在【90e】里的讨论非常中肯和有说服力。

① 塞西莉亚·加尔斯科格（Cecilia Jarlskog，1941— ），瑞典理论核物理学家，隆德大学教授。——译注

【91e】“陈省身先生与我”后记

S. S. Chern and I

S. S. Chern: A Great Geometer of the Twentieth Century, ed. Shing-Tung Yau, 1992, pp. 63 – 68

Chen Ning Yang

当我在抗战期间在西南联大求学时，陈省身（1911—2004）和华罗庚（1910—1985）两位都是杰出的年轻数学教授，后来都享誉全世界。我和他们两人都很熟悉，也了解一些他们的数学。

以赛亚·伯林[①]曾经对希腊两种不同类型哲学家的思想做过著名的比喻：**“狐狸知道许多东西，但是豪猪知道一个大东西。”**我想，用这个比喻来描述华罗庚和陈省身之间的区别非常合适：华罗庚的兴趣很广，曾经在几个不同的数学分支里做出重要贡献；而陈省身却仅专

① 以赛亚·伯林（Isaiah Berlin，1909—1997），英国哲学家、观念史学家和政治理论家，20世纪最杰出的自由思想家之一。——译注

注于一个分支：微分几何。可是他改变了这个分支，而且这个改变后来对20世纪所有主要数学分支都产生了重大的影响：几何、代数、分析和拓扑学；而且对过去四十年来理论物理的发展有很大的影响。请参见本书中的【11a】。

【92c】"关于理论物理发展的若干反思"后记

Reflections on the Development of Theoretical Physics

Proceedings of the 4th International Symposium on the Foundation of Quantum Mechanics in the Light of New Technology, *Jpn. J. of Appl. Phys.*, 3 - 9 (1993) Applied Physics

Chen Ning Yang

【92c】是我为1992年第四届量子力学基础国际讨论会 (International Symposium of the Foundation of Quantum Mechanics, ISQM) 所写的。这个非常有价值的讨论会系列，由日立实验室的外村彰[①]发起。1981年宫泽 (Miyazawa) 邀请我访问东京大学时，我第一次遇见外村彰。在外村彰的安排下，我去国分寺市 (Kokubunji) 的时候拜访了他的实验室，也开始了我们关于阿哈罗诺夫—玻姆效

① 参见《对称性和现代物理》(*Symmetry and Modern Physics*, *Yang Retirement Symposium* 1999), Ed. Goldhaber, Shrock, Smith, Sterman, van Nieuwenhuizen and Weisberger, World Scientific, 2003。

应、流量子化、电子全息术等的多次讨论。[①]

在写这篇文章的时候，我非常愉快地回顾法拉第和麦克斯韦如何发现/创建麦克斯韦方程的历史。这个方程组对人类的重要性是无法估量的，怎么评价都绝不会过分。

① 参见《庆贺杨振宁85寿诞会议纪要》(*Proceedings of the Conference in Honor of C. N. Yang's 85th Birthday*, 2007), eds. Ge, Oh and Phua, World Scientific, 2008。

【93b】“邓稼先”后记

最初的中文见《二十一世纪》1993 年第 6 期。后选入《曙光集》，生活 · 读书 · 新知三联书店 2008 年版

杨振宁

这篇文章原来是用中文写的，在中国被多次转载。累次被选为高中读物，想必有数以百万计的读者。目前的这篇是由翁帆和我翻译的。

直到 20 世纪 80 年代中期，中国一直不对外公布对原子弹、氢弹做出实质性贡献的科学家们的名字。80 年代中期的一天，在邓小平为我举行的晚宴上，我恳请他改变这个政策。他坦诚而直率地问我为什么。我说，公开的认可不仅仅让这些科学家得到他们应有的荣誉，也鼓励年轻人进入国防研究领域。在那个年代的中国，这种工作要求个人和家庭付出很大的牺牲。也许因为那次谈话，邓稼先的名字在他 1986 年去世前常在中国的报纸上出现。

【95b】“尤里安·施温格”后记

Julian Schwinger

In *Julian Schwinger, The Physicist, The Teacher, and the Man*, ed. Y. Jack Ng, World Scientific, 1996

C. N. Yang.

这篇文章是为1995年4月美国物理学会（American Physical Society，APS）和美国物理教师协会（American Association of Physics Teachers，AAPT）联合召开的施温格纪念会所写的。它发表在《尤里安·施温格：物理学家、教师和一个人》（*Julian Schwinger, The Physicist, The Teacher, and the Man*）一书里。

施温格（1918—1994）和费曼（1918—1988）是我那代人中两位杰出的理论物理学家。他们两位都因为对重整化做出的不同贡献而出名。然而在性格上两人大不一样。我比较喜欢施温格，因为费曼太活跃了。但是我肯定科学史将会对费曼更好，因为他的路径积分思想很清楚地抓住了**量子力学的精髓**。虽然对这思想既缺乏精确的数学公理

化体系，又缺乏深刻的物理认识，这一切需留待未来继续做重要的发展。

【95b】的中译文见《曙光集》(2008)。

【95d】“与拉尔斯·昂萨格的过往”后记

Path Crossings with Lars Onsager

In *Collected Works of Lars Onsager*, eds. P. C. Hemmer, H. Holden and S. Kjelstrup Ratkje, World Scientific, 1996

Chen Ning Yang

这篇文章是我为《拉尔斯·昂萨格文选》(*The Collected Works of Lars Onsager with Commentary*, 1996) 所写的。请参见本书【82e】。

【95d】的中译文见《曙光集》(2008)。

【97d】“碳 60 分子振动问题的精确解”后记

Exact Solution of the Vibration Problem for the Carbon-60 Molecule

Phys. Lett. **A235**, 97–104 (1997)

T. T. Chou and Chen Ning Yang

1942 年吴大猷教授教我用群论去了解分子的振动谱，这对我后来的事业**非常重要**。那时候还没有人梦想到会存在具有这么复杂对称性的分子，如碳 60 分子。在花了很大的努力后，邹祖德和我解出了碳 60 分子的振动能谱。

【97f】“父亲和我”后记

Father and I

Twenty-First Century, December 1997

Chen Ning Yang

1929 年我 7 岁，我父亲受聘为北平（现称北京）清华大学数学系教授，我们在校园一所房子里度过了八年。许多年之后的 90 年代中期，清华校长王大中邀请我回清华来创建一所高等研究院。中国正在快速地现代化，我欣然接受这个邀请。可是我还没有从石溪退休，所以研究院开始时进展很慢，头几年都致力于在美国和香港地区筹募资金。

1997 的 11 月 15 日早晨，我感觉胸部有点不舒服，稍后似乎又过去了。幸好致礼坚持开车把我送到石溪大学医院去。在急救室我被告知，刚才的胸部不适是一次轻微的心脏病发作。11 月 18 日我接受了四根心脏血管的搭桥手术。手术非常成功：13 年后的夏天我在北京协和医院进行心脏核磁共振（MRI）检查时，我可以看到心脏周围的四根桥全都通畅无碍。太棒了！

【A99j】“惊闻米尔斯去世”后记

部分内容发表于2003年《今日物理》(*Physics Today*)

Chen Ning Yang

鲍伯·米尔斯于1999年10月27日去世。我深感悲凄，不仅因为他是我的好友，不仅因为我尊敬他，喜欢他，而且因为他工作过三十余年的俄亥俄州立大学从未公平地对待过他。鲍伯自己从未抱怨，但是据我所知，当他在世时，甚至身后，该校从来没有恰当地认可他对科学的伟大贡献。我是由我弟弟杨振平的电话中得知鲍伯去世的，他与鲍伯是俄亥俄州立大学的同事。【A99j】是我得知讣闻后的短文。后来以简化形式在2003年10月的《今日物理》讣文栏登出。

【01f】“恩里科·费米”后记

Enrico Fermi

In *Proceedings of the International Conference on "Enrico Fermi and the Universe of Physics"*, Rome, 2001, pp. 390 – 393

Chen Ning Yang

人们常说，在所有20世纪伟大的物理学家当中，恩里科·费米（1901—1954）是唯一的在理论和实验上都做过一流的贡献的物理学家。我钦佩他的贡献，也钦佩他的人格。他从不有意或无意地去试图超出现实和他真实自己地扩张他的声望和影响力。为了强调这一点我选了莎士比亚的第94首十四行诗中的八行作为【01f】的引文。不幸当这篇文章在2004年《费米回忆录》出版时，最后一行被排版工人遗漏了。①与费米相比，奥本海默（1904—1967）和爱德华·特勒（1908—2003）就都乐于追求权力

① 《曙光集》第311页有这八行诗：
力能加害而不屑，
最显能为而不为；

和影响力。我相信这是导致他们之间的冲突，以及他们很不相同的悲剧性命运的主要原因。

当我在【01f】中写到费米时说：

> 他总是可靠而可信赖的。他的双脚总是稳稳地踏在实地上。他拥有极大的实力，但从不随意滥用。他不哗众取宠，也不试图表现高人一等。在我心中，他是一位完美的儒家楷模。

我认为这样的人品在今天的美国是不多见的。美国社会似乎将她的杰出人士推向相反的方向。奥本海默、特勒、费曼、托马斯·库恩（T. Kuhn）等人，各有自己的一套取悦观众、标榜自己的方法。

美国的科学在突飞猛进，而成功的美国科学家们常常是极端进取而锋芒毕露的。难道这两件事是相关的吗？我不能回答。但是我知道中国儒家的楷模，即使是在今天，也非常具有活力。中国科学院前院长周光召作为一个普通人和物理学家，我写了下面的一段话（参见《物理》第38卷，2009）：

（接上页）能动他人己如石，
坚定冷静不为移；
如彼允宜得天厚，
自然丰赐不浪掷；
如彼诚彼美颜后，
他人糜耗为美役。

周光召是一位顶尖的物理学家。他视野开阔，影响力深远，并且能够快速地洞悉新思想。他做物理研究的风格让我想起了朗道、萨拉姆和特勒。但是从我个人角度看，周光召是一个完美的儒家思想践行者，而不像美国、欧洲和俄罗斯的许多物理学家那样咄咄逼人。

【01f】中译文见《曙光集》(2008)。

【01g】“沃纳·海森伯”后记

Contribution to the centennial celebration in 2001 of the birth of Werner Heisenberg on December 5, 1901

Chen Ning Yang

沃纳·海森伯出生于1901年12月5日，2001年12月在慕尼黑为他举行了百年诞辰纪念会。【01g】是我在纪念会上演讲的原稿稍做修改。纪念会的记录显然从未被发表。

从德国以外来参加纪念会的物理学家很少，除我之外，我只认识来自日本的西岛和彦。我只能形容整体的气氛很压抑，反映了海森伯后半生陷入深深的不愉快之中。

海森伯年仅24岁时的一篇论文，**“带来了人类历史上最伟大的智力成就之一”**（参见【01g】），而且也促成了半导体工业、现代的计算机、互联网，换言之，现代的世界的发展。称他为**人类历史上最伟大的物理学家之一**毫不为过。

海森伯热爱德国。他爱她的山川和湖泊，倾心于她的

音乐和文学。在他灵魂的深处存在着一种原始的情感，蒙蔽了他对纳粹政权真实面目的认识，而使他没有在1939年以前离开德国。这就注定了他在战后极大的不幸。

【01g】中译文见《曙光集》(2008)。

【02c】“八旬杏满清华园”后记

The Speech at the Banquet on June 18, 2002
Published in *AAPPS Bulletin* **12**, 2, p. 30 (2002)
Chen Ning Yang

2002 年 6 月 17 日至 19 日，清华大学为庆祝我的 80 岁生日举行了一个科学前沿国际讨论会。【02c】是我在讨论会的宴会上的演讲。

在宴会上熊秉明拉开了一幅巨幅立轴“八十”作为我的生日礼物。早先他在我 70 岁生日时也送给我一幅立轴“七十”。我们最初在 1929 年认识，那时我们都 7 岁。我们很快成为儿时的玩伴，后来更是毕生的知己，虽然他选择了哲学和艺术，而我选择了科学。

7 月我在巴黎时到熊家拜访，我们一起去参观了凡高的墓。由巴黎我去伦敦开会，在那儿我参观了一个很精彩的马蒂斯—毕加索（Matisse-Picasso）画展，这个画展凸显出他们彼此间的影响。当马蒂斯很老时，毕加索写信给

他说：**我们要赶快，相谈的时间已经不多了。**我急忙将毕加索的话抄下寄给熊，不幸他还没来得及回信就在五个月后中风去世。

【02i】“量子化、对称、相位因子：二十世纪理论物理学的三个主旋律”后记

Thematic Melodies of Twentieth Century Theoretical Physics: Quantization, Symmetry and Phase Factor

Int. J. of Mod. Phys. **A18**, 3263 (2003)

Chen Ning Yang

(1) 2002 年我被邀在联合国教科文组织巴黎总部所主办的国际理论物理大会上演讲。听众大都是各国的科学家和教育界人士，他们各有不同的背景。我将如何向这样的听众表达我对 20 世纪理论物理学戏剧性的革命进展的感受呢？ 最后我决定用一种印象派的方法，尽量不用数学公式。我的演讲似乎受到听众的欢迎。

费尔·安德森也在会上做了一个凝聚态物理的特约演讲。他在开始时放了一张幻灯片（如下页图），是 1953 年东京—京都会议上照的，那是在战后破败的日本举行的第一次国际科学会议。这次会议，费尔和我都带了我们的妻子和第一个孩子，那时都只有 2 岁。

这次会议的组织人明显是颇有眼光的物理学家：与会



前数第三排左三为杨振宁，他前面是杜致礼和大儿子杨光诺

者当中有超过 12 位**未来**的诺贝尔奖得主。

(2) 21 世纪理论物理学的主旋律是什么呢？ 在充分明白其中可能涉及的风险后，请允许我做如下的一些猜测：由于人类面临大量的问题，21 世纪物理学很可能被各种应用问题主导。这些当然非常非常重要，但是与 20 世纪的主旋律相比较，它将缺乏诗意和哲学的品质。

有一个领域将会发生重大的基础性革命，我相信那将是天文物理学领域。诸如暗物质、暗能量的迷惑将会被美丽的新概念所替代，非常类似于一个世纪以前菲茨杰拉德的收缩假说 (Fitzgerald contraction hypotheses) 被爱因斯坦的狭义相对论代替。

【04c】“规范不变性和相互作用”后记

Gauge Invariance and Interactions

Reproduced from *50 Years of Yang-Mills Theory*, ed. G. 't Hooft, World Scientific, 2005

Chen Ning Yang

1997 到 2003 年是致礼和我的多事之年。我的心脏搭桥手术成功，但是致礼的健康问题复杂，需要多次手术。1999 年我自石溪退休后，我们曾考虑举家迁往北京。但是三个孩子都不太乐意，最后只好作罢。

致礼于 2003 年 10 月 19 日去世后，我在 12 月迁往北京清华大学。这次迁移对我来说是一个重要的事件，我曾经在〖04b〗里讲述过我当时的情感。〖04b〗的中译文见《曙光集》(2008)。

【05b】“阿尔伯特·爱因斯坦：机遇与眼光”后记

Albert Einstein: Opportunity and Perception

Reproduced from *Int. J. of Mod. Phys.* **A21**, 3031 (2006)

Chen Ning Yang

2004 年 11 月 7 日我写信给几位好友，宣布了我和翁帆女士（帆帆）的订婚。我形容她是

上帝的最后恩赐
给我年迈的灵魂
一个快乐的新生

2004 年 12 月 24 日我们结婚。

【05b】显示了我是爱因斯坦的一个忠诚的仰慕者：他对当时物理上重要问题的深切认识，是人类智力史上非常独特的。但是拉格朗日（Lagrange，1736—1813）的话也没有错[①]，

① 杨振宁在正文中引用了拉格朗日的话：“虽然牛顿确实是杰出的天才，但是我们必须承认他也是最幸运的人：人类只有一次机会去建立世界的体系。”——译注

爱因斯坦特别幸运，出生在一个有很重要的问题需要解决的时代。假如他出生在今天，我怀疑他是否还能够像他那样深刻地改变了物理的历史。

【05b】中译文见《曙光集》(2008)。

【06b】“克莱因—仁科公式与量子电动力学”后记

The Klein-Nishina Formula & Quantum Electrodynamics

Nishina Memorial Lecture Series, NKZ-45

Chen Ning Yang

这是我在2005年10月13日所做的仁科纪念演讲。为了准备这次演讲，我主要参考了我的论文【87b】、D. F. Moyer, *Am. J. Phys.* **49**, 1055 (1981) 和钱德拉塞卡的《真理与美》，第23页。①

① 钱德拉塞卡 (S. Chrandrasekhar, 1910—1995)，印度裔美国物理学家，1983年获得诺贝尔物理学奖，他的著作《真理与美》(*Truth and Beauty*) 是一部极好的科普著作，中译本为《莎士比亚、牛顿和贝多芬——不同的创造模式》，杨建邺等译，湖南科学技术出版社1996年版。——译注

【08d】“赝势方法和在2，4和5维稀薄硬‘圆球’玻色气体”后记

Pseudopotential Method and Dilute Hard “Sphere” Bose Gas in Dimensions 2, 4 and 5

Euro. Phy. Lett. 84, 40001 (2008)

C. N. Yang

在20世纪50年代早期，阿姆斯特丹的德布尔访问高等研究院的时候，做了一个有关 He^4 的系列报告。我对 λ 跃迁有极大的兴趣。开始与黄克孙和鲁丁格，后来又与李政道合作，我得到对直径为 a 的硬球稀玻色子系统的每一个粒子基态能量的表达式：

$$\left[\frac{2m}{\hbar^2}\right]\frac{E_0}{N} = 4\pi a\rho\left[1 + \frac{128}{15\sqrt{\pi}}\sqrt{\rho a^3} + \cdots\right] \qquad (A)$$

在式中 ρ 是粒子的密度。[①]我对第二项（涉及分数幂 $\sqrt{\rho a^3}$）非常有兴趣，因为它巧妙地应用了费米和布赖特

① 实际上我们可以用两种完全不同的方法获得这个结果，如在我的1983年《选集》中【57h】和【57i】的后记中所说。

提出的赝势（pseudopotential）的概念。但是在20世纪50年代，不可能用实验检验方程（A），所以在60年代我放弃了这一研究方向。

现在，令人惊讶的是，技术可以做这样的实验了。[①] 所以我再次回到用赝势把〖08d〗的研究扩大到其他维度。

① 以下一些论文可供参考：

A. Altmeyer et al., *Phys. Rev. Lett.* **98**, 040401 (2007);

Y. Shin et al., *Phys. Rev. Lett.* **101**, 070404 (2008);

S. B. Papp et al., *Phys. Rev. Lett.* **101**, 135301 (2008);

N. Navon et al., *Science* **328**, 729 (2010);

N. Navon et al., *Phys. Rev. Lett.* **107**, 135301 (2011);

Y. -R. Lee et al., *Phys. arXiv*: 1204.4229 v.1 (April 19, 2012).

【09f】“在一维势阱中具有 δ 函数相互作用的费米子的基态”后记

Ground State of Fermions in a 1D Trap with δ Function Interaction

Chin. Phys. Lett. **26**, 12, 120504 (2009)

C. N. Yang

这篇论文我先在2009年6月29日投到《物理评论快讯》(*Physical Review Letters*，简称 *PRL*)，被拒；于是改投到《中国物理快讯》(*Chinese Physics Letters*)，后来被发表。

20世纪60、70和80年代，我在 *PRL* 发表过数篇论文，其中有几篇是相当重要而且著名的文章。在那些年代，*PRL* 的编辑政策和程序是合理而高效的。在今天的互联网时代，有了 pdf、tex 和其他一些方便的工具，而 *PRL* 的编辑程序似乎反而大不如前了。这是一件有点重要的事情，因而我在下面详述 *PRL* 拒绝这篇论文时发生的**怪异**和**令人不安**的步骤。

第一步

2009年6月29日。因为多年没和 *PRL* 打交道，我在

投递【09f】时附了一封信：

亲爱的编辑先生：

我在20世纪60年代曾在这个领域工作过。我的论文

C. N. Yang, *PRL* 19, 1312 (1967),

C. N. Yang & C. P. Yang, *Journal of Mathematical Phys.* **10**, 1115 (1969)

最近很受人关注。我现在再次回到这一领域，并完成这篇投稿的文章。

第二步

8月18日。*PRL* 寄来一封拒绝信，附有审稿人A的回复：

手稿中所有的结果实际上都已经被20世纪60年代与作者同名人的文章 C. N. Yang, *PRL* **19**, 1312 (1967) 以及许多此后发表的文章所得到了。

对精确可解的二体相互作用的多体问题，一个广泛而完整的群论分析都已经在一本经典的书里讲述过[M. Gaudin, *La Fonction d'one de Bethe* (Paris: Masson, 1983)]

对于这个“报告”，我不知道该笑还是生气。审稿人A显然既没有看题目，也没有看摘要，更没有看稿子的正文。正文给出的是**有约束势阱**的一维问题解。

“同名”，这是个笑话吗？ 还是一个重要科学杂志的一位评论员极端不负责任的一种表现？

第三步

8 月 20 日。*PRL* 送来第二封拒绝信，附有审稿人 B 的“二次回复”：

> 杨教授曾经在一维量子系统问题上写过很多有历史意义的论文。他关于有 δ 函数相互作用的一维费米气体的解，强烈地影响了自 60 年代以来的一维物理研究。杨教授的解析能力具有传奇性。
>
> 在这篇论文里，杨教授用群论方法研究了一维系统波函数的性质。就我所知，所有结论都是正确的。虽然如此，这篇论文仍不适合在 *PRL* 上发表，理由如下：
>
> 1. 缺乏广泛性：
>
> 这篇论文仅考虑了六个粒子。这系统的性质如何推广是不清楚的；从这篇文章的结果中，我看不出对数学物理有什么有意义的贡献。
>
> 2. 缺乏物理内涵：
>
> 从这个六粒子系统的数学结构里，作者没有努力发掘出有用的物理结果。因此这篇文章对一维物理系统没有任何新的启示。
>
> 由于这些原因，虽然对杨教授充满了敬爱，我仍然不能推荐发表这篇文章。

第四步

8 月 20 日，我给高级助理编辑回了一封信：

我收到你们 8 月 18 和 8 月 20 日的两封信。最起码说，事情的确是**非常非常奇怪**。

审稿人 A 显然没有看过我的文稿，它所讨论的问题与我理所当然出名的 1967 年论文**完全不同**。

至于审稿人 B，第一，请读我文稿的最后一句；第二，请读我文稿的最初两句。另外，为什么写这么多恭维话？

我建议你们**尽快**发表我的文稿。

第五步

8 月 21 日，很快有一个回复：

谢谢您的复信。

您的回信不会让我们把手稿转发给审稿人。如果要求对您的论文重做考虑，我们需要您对审稿人的批评提供更详细的反驳。**我们可能聘用原来的审稿人，如果需要的话，也可能聘用别的审稿人**。

非常感谢您的合作。

这明显是一种惯用的**骄横而官僚式**的答复。

【10a】“在新加坡庆祝默里·盖尔曼80岁生日大会上的演讲”后记

Banquet Speech at the Singapore Conference in Honour of Murray Gell-Mann on His 80th Birthday

Proceedings of the Conference in Honour of Murray Gell-Mann's 80th Birthday. Quantum Mechanics, Elementary Particles, Quantum Cosmology and Complexity, eds. H. Fritzsch et al., World Scientific, 2011

Chen Ning Yang

2010年潘国驹在新加坡举办了一个庆祝默里·盖尔曼80岁生日的会议。【10a】是我在会议的宴会上的短篇演讲。这儿我要补充两个趣事：

1954年秋天默里在哥伦比亚大学做访问教授。他和我飞到芝加哥去看望住在比林斯医院（Billings Hospital）的费米。我在1961年出版的《选集》中【61a】一文里写过这次看望的事。那篇文章中我由于谦虚，没有提及下面一件事：看望结束后默里和我走到门口时，费米从后面说了一句：“现在我得把物理交给你们俩了。”

20 世纪 50 年代末，在普林斯顿高等研究院一次物理教授会议上，奥本海默似乎不经意地说他想邀请默里加入研究院。下次会议时我对他说：默里很棒，但是如果他来我就会走。奥本海默以后再也没提这事了。

【10e】“在一维谐振势阱中粒子间具有排斥δ函数相互作用的自旋1/2费米子”后记

Spin 1/2 Fermions in 1D Harmonic Trap with Repulsive Delta Function Interparticle Interaction

Chin. Phys. Lett. **27**, 8, 080501 (2010)

Ma Zhong-Qi and Chen Ning Yang

2009—2010年，马中骐和我发表了一系列文章，讨论束缚在谐振势阱或非谐振势阱中的一维玻色子和费米子的行为。该系列文章中最有兴趣的结果是【10e】中的图3，它显示由局域置换对称[即杨表 (Young Tableau)]的突变引起的相变。这种相变有希望在不久之后被实验所证实。

【10h】“有排斥 δ 函数相互作用的一维 w 分量费米子和玻色子”后记

One-Dimensional w-Component Fermions and Bosons with Repulsive Delta Function Interaction

Chin. Phys. Lett. **28**, 2, 020503 (2011)

Chen Ning Yang and Y. Z. You

1963 年，莱布（Lieb）和利宁格（Lininger）用贝特拟设（Bethe's Ansatz，BA）发现有排斥 δ 函数势相互作用的一维无自旋玻色子的基态波函数。但把这个惊人的结果推广到费米子却十分困难。在和这个问题纠缠了几个月后，我终于在 1967 年用一个**推广**的 BA 找到了答案。这个结果发表在【67e】中，这是我被引用最多的论文之一。萨瑟兰和高桥（Takahashi）随后几年间进一步的推广列在下页表中。

早期一维系统的理论论文

	玻色子（B）或费米子（F）	分量数	相斥（R）或相吸（A）
1963①	B	1	R
1967②	F	2	R
1968③	F	>2	R
1970④	F	任意	R & A

表中明显缺失的是分量大于 1 的玻色子。1967 年我曾研究过这个问题，在我的论文中第 16 节，做了一个没有详细解释的短评，声明我已经解答了 2 分量玻色子问题。后来发现这个声明是错的。2010 年我和尤亦庄(Y. Z. You) 回到这个问题上，我们**绕道**研究相斥的无限分量费米子问题，解决了相斥的多分量玻色子问题，其结果就是【10h】。后来魏勃勃 (B. B. Wei) 解决了相吸的玻色子问题。⑤

① E. Lieb and W. Lininger, *Phys. Rev.* **130**, 1605 (1963).

② C. N. Yang, *Phys. Rev. Letters* **19**, 1312 (1967).

③ B. Sutherland, *Phys. Rev. Letters* **20**, 98 (1968).

④ C. N. Yang in *Proceedings of the VII Winter School of Theoretical Physics* (February 1970) in Karpacz, Breslau (University of Wroclaw, 1970); Reprinted in C. N. Yang, *Selected Papers* (Freeman, 1983), p. 430; M. Takahashi, *Prog. Th. Phys.* **44**, 899 (1970).

⑤ B. B. Wei, *Chin. Phys. Letters* **28**, 090508 (2011).

【11a】“量子数、陈氏级与菩萨”后记

Quantum Numbers, Chern Classes, and a Bodhisattva

In *Physics Today*, Jan. 2012, p. 33

Chen Ning Yang

此文为陈省身的百年诞辰纪念会而写。

陈是韦尔[①]很少的几位终生朋友之一。韦尔是一位伟大的数学家，但也是一个很难相处的人。下面是他的两则故事：

在1966年我到石溪去之前，韦尔和我在60年代同时在普林斯顿高等研究院。研究院不大，总共只有大约二十位教授。数学家们组成了最大的一群，大概有八到九位教授。韦尔领导这组人，在每次教授会上都和院长奥本海默作对，使得这些会议变得如此不愉快，我都不太愿意参加了。奥本海默（1904—1967）于1966年退休，经济学家卡

① 韦尔（Andre Weil，1906—1998），法国数学家，是法国布尔巴基学派的骨干成员、20世纪有影响的数学家之一。1979年获沃尔夫奖。——译注

尔·凯逊（Carl Kayson，1920—2010）被聘任为他的继任者。韦尔与凯逊的冲突比他从前与奥本海默的冲突更糟，甚至传到《纽约时报》上去了，变成了美国学术界一则大新闻。

陈夫人告诉我，陈老年时有一次被某一个日本基金提名为一个奖的候选人，该奖奖金颇丰。基金会写了一封信给韦尔，征询他对陈的工作的评价。问卷中问题之一是，奖金是否会对陈未来的工作有帮助。韦尔说他没有选择忽略这个问题，而是很诚实地回答了这个问题。

陈没有得到这个奖。幸运的是他在2004年去世前几个月，得到了第一个数学科学的邵逸夫奖（Shaw Prize）。

【11a】的中译文见《物理》第40卷第10期(2011)。

【11b】“我的学习与研究经历”后记

My Experience as Student and Researcher

Int. J. Mod. Phys. **A27**, 1230009 (2012)

Chen Ning Yang

与此文稍有不同的中译文，在2012年1月《物理》上发表。

【12a】“费米的β衰变理论”后记

Fermi's β-Decay Theory

Int. J. Mod. Phys. **A27**, 1230005 (2012)

Chen Ning Yang

此篇无后记。

【12d】“拓扑学和物理学中的规范理论”后记

Topology and Gauge Theory in Physics

Int. J. Mod. Phys. **A27**, 1230035 (2012)

Chen Ning Yang

法拉第和麦克斯韦不会预料到向量势在20世纪数学中所扮演的重要角色，**这是由数学家在完全没有涉及物理学的考虑下所创造的。**但是麦克斯韦很欣赏法拉第直觉的内在数学含义。1867年8月25日法拉第逝世，麦克斯韦在写给他的讣文中说：

> 法拉第利用力线的观念阐述电磁感应现象，这显示他实际上是一位高水平的数学家——未来数学家们将会从他的概念繁衍出丰富而有价值的方法……
>
> 从欧几里得的直线到法拉第的力线，具有促使科学取得进步的思想上的特征，而这种力学和几何思想的充分利用，可以让我们期盼未来有更多的进展。

译后记

杨振宁教授在出版他的两册《选集》——第一册是1983年出版的《杨振宁论文选集（1945—1980）》，第二册是2013年出版的《杨振宁论文选集Ⅱ》[①]——中为选出的每篇文章都写了一篇后记。杨振宁在1982年对他写的后记写过一段话：

> 各篇后记主要是追寻我个人作为一个物理学家的发展过程，同时清理一下我从当研究生以来的兴趣和想法。本书并不是我对自己研究工作的评价。科学家不希望对自己所有的论文做面面俱到的评价，但最懂得自己每一篇文章故事的，莫过于作者本人。

杨振宁教授还援引杜甫的一句诗："文章千古事，得失寸心知。"

---

① 《杨振宁论文选集Ⅱ》的初稿我在2012年4月就得到，此后杨振宁教授又修改过很多次，到2013年5月才收到杨振宁教授寄来的正式出版物。

每次看到这些后记时，就会想起吴健雄教授在读过这些后记时写给杨振宁的一封信：

> 一方面，您对近代物理发展的历史，作了明晰有条理的简介；同时，您把最近和过去，心头不如意事也坦白地布开，使人读了非常感动。

也不会忘记美国物理学家戴森对这本书的后记写的一段话：

> 1983年弗兰克为庆祝他的六十岁生日出版了《杨振宁论文选集附后记》，这是我最喜爱的书之一。书中的后记是他自己写的，用来解述各篇文章写作时的情景。书里只收录了他的文章的三分之一，都是他自己选的。这比由一个专家委员会来挑选更能揭示他自己的思路和个性。所选的文章中有些是重要的，有些是不重要的；有些是专业的，有些是通俗的。可是每一篇都是瑰宝。他不是试图在五百页中塞进尽量多的、艰深的科学，而是试图揭示一位伟大科学家的精神。他做得十分成功。他选的这些文章既揭示了个人的奋斗，也揭示了他的科学成就；它们揭示了他的成就的深远源泉，揭示了他对培育他的中国文化的骄傲，也揭示了他对在中国和在美国的老师的崇敬；它们还揭示了他对数学形式美的热爱以及同时掌握缤纷的实验物理世界和抽象的群论与纤维丛世界的能

力。他巧妙地将八十页后记结集一起放在书的开始部分，而不是附在各篇文章的后面。这样，后记可以连续地读，成了他的科学自传，一部极好的自传。它以清楚而简练的词句描述了他的一生，朴实地描述了他工作背后的强烈感情和始终不渝的忠诚。换言之，它描述了杨振宁之所以成为杨振宁。

由上面引用的三段话我们可以认识到，这两册《选集》的后记是极为重要的史料，对20世纪物理学历史有非常重要的价值；而且对于了解和研究杨振宁教授对物理学的贡献、他的科学思想、品味、风格，以及个人某些情感经历，也具有十分重要的意义。我相信，这些后记还将是未来研究科学学、科学心理学乃至科学哲学等等学科的重要资料。

早在《杨振宁论文选集Ⅱ》出版之前，三联书店的徐国强先生就写信给我，希望把两册《选集》中全部后记翻译出来，结集成册。取得杨振宁教授的同意后，我立即着手翻译。因为杨振宁教授有很高的英语修养，我的英语水平又时有捉襟见肘之处，因此在翻译的时候请我的大哥杨建军合作翻译了《选集Ⅱ》的后记，并请中科院高能所马中骐教授审查《选集Ⅱ》的译文。结果马中骐教授不仅审查了《选集Ⅱ》的每一篇文章，还主动帮助审查了1980年《选集》后记中的每一篇文章，为此他投入了巨大的精力，认真阅读了全部两册后记的中译文，提出了许多非常宝贵的修改意见。中科院武汉分院余永乐研究员也给予了

很大的帮助。在此，我向他们，尤其是马中骐教授表示由衷的感谢！

徐国强先生在编辑的过程中提出了许多宝贵的意见，并制作了本书的索引，在此向他表示感谢！还要感谢三联书店的工作人员，他们为这本书的出版做出了积极的努力。

杨振宁先生的这两本英文论文选集，都是由新加坡世界科技出版公司（World Scientific Publishing Company）出版的。在此感谢世界科技出版公司主席兼总编辑潘国驹教授对本书的关心协助，以及积极的编辑建议。为了便于港台地区、东南亚及欧美的中文读者从中受益，世界科技出版公司下属的中文出版机构——八方文化创作室，还与三联书店一起推出了本书的海外版。

杨建邺

华中科技大学宁泊书斋

初稿 2011 年 12 月 15 日

终稿 2013 年 7 月 28 日

人名索引

A

阿尔戈 (H. V. Argo) 10

阿格纽 (H. M. Agnew) 10

阿里森 (Samuel Allison) 10,11,16

阿诺德 (W. R. Arnold) 10

阿斯金 (Ashkin) 25

埃克斯朋 (Gösta Ekspong) 219

爱因斯坦 (Albert Einstein) 7,30,108,129,130,161,179,180,191,202,204,207,241,243,244

安布勒 (E. Ambler) 62,72

安德森 (P. W. Anderson) 141,210,239

昂萨格 (Lars Onsager) 23-26,29,33,104,114,228

奥本海默 (J. R. Oppenheimer) 16,21,22,40-42,71,100,125,129,130,138,205,232,233,253,257,258

奥尔巴赫 (R. Orbach) 133

奥卡利尼 (Giuseppe P. S. Occhialini) 211

奥克斯 (R. J. Oakes) 116

奥克斯利 (C. L. Oxley) 37

奥里尔 (J. Orear) 51

B

巴丁 (J. Bardeen) 105

巴尔丁 (A. M. Baldin) 148

巴克斯特 (Rodney J. Baxster) 26,144

巴特勒 (S. T. Butler) 115

拜耶斯 (N. Byers) 104-106,115,127

鲍威尔 (W. M. Powell) 122

贝尔 (E. T. Bell) 45,47

贝尔 (J. S. Bell) 115

贝特 (H. A. Bethe) 131-133

毕腊文 (A. A. Belavin) 144,176

玻恩 (Max Born) 141

波利亚 (George Polya) 31

波利亚科夫 (Polyakov) 166

伯恩斯坦 (J. Bernstein) 74

伯格 (R. W. Birge) 122

伯林 (Isaiah Berlin) 221
布拉特 (J. M. Blatt) 64,115
布莱克特 (Patrick M. S. Blackett) 211
布赖特 (G. Breit) 77,246
布朗 (G. E. Brown) 128
布鲁德曼 (S. A. Bludman) 96
布洛赫 (F. Bloch) 105,106,131
布洛克 (M. Block) 52
布斯 (E. T. Booth) 121

C

朝永振一郎 (S. Tomonaga) 17,136
彻里德里克 (I. V. Cherdnik) 144
陈省身 (S. S. Chern) 221,257,258

D

达利兹 (K. Dalitz) 51
达罗 (K. K. Darrow) 75
戴森 (Freeman J. Dyson) 12, 17, 40,136
丹科夫 (S. Dancoff) 141
德埃斯帕纳特 (B. d'Espagnat) 102
德布尔 (J. de Boer) 34,246
德雷斯顿 (Max Dresden) 126,177
迪弗 (B. S. Deaver) 103-106
迪克森 (L. E. Dickson) 9
狄拉克 (Paul A. M. Dirac) 7,154,167
杜东生 (T. S. Tu) 167
杜卡斯 (Helena Dukas) 129
杜致礼(Chih Li Tu) 21,59,90,188, 230,242

E

厄姆 (Reinhard Oehem) 59,63,65, 66,68,72,74,80,122

F

法贝热 (Tatiana Fabergé) 87
法捷耶夫 (L. D. Fadeev) 144
法拉第 (Michael Faraday) 106,180, 181,224,261
法亭 (V. A. Fateen) 144
法维尔 (G. W. Farwell) 10
范德瓦尔登 (Van der Waerden) 25
范德瓦尔斯 (Van der Waals) 30
范尔班克 (Bill Fairbank) 195
范尔班克 (W. M. Fairbank) 18, 104-106
范霍夫 (L. Van Hove) 124
范康姆彭 (Van Kampen) 193
费尔德曼 (David Feldeman) 20
费雷蒂 (L. Ferretti) 87
费曼 (Richard Feynman) 52,89,136, 149,167,226,233
费米 (Enrico Fermi) 6,7,11,13,14-16,18,19,21,22,34,42,77,85,99, 100,147,175,232,233,246,252,260
费希尔 (M. Fisher) 26
冯·诺伊曼 (Von Neumann) 31,204, 205
冯明康 (M. K. Fung) 212
福勒 (R. H. Fowler) 3

福勒 (W. B. Fowler) 122
福尔科 (J. Fulco) 93
福尔科夫 (G. Volkoff) 139
富兰克林 (A. Franklin) 61
弗雷泽 (W. Frazer) 93
弗里德曼 (J. Friedman) 63,72
弗罗斯特 (Robert Frust) 120

G

盖尔曼 (Gell-Mann) 15,51,89,101,102,121,252
哥德伯格 (M. L. Goldberger) 11,51
哥德哈伯 (M. Goldhaber) 59,89,90,208
戈德斯坦 (H. Goldstine) 36
戈德斯通 (J. Goldstone) 141
格拉肖 (S. L. Glashow) 96,102,142
格里菲斯 (R. B. Griffith) 133
格罗金斯 (L. Grodzins) 89
谷超豪 (C. H. Gu) 212
古德 (M. L. Good) 122
古德 (R. H. Good) 122,147

H

哈代 (Hardy) 31
哈德逊 (R. P. Hudson) 62,72
哈尔斯曼 (Philippe Halsman) 129,130
哈密尔顿 (W. R. Hamilton) 45-47,122
海森伯 (Werner Heisenberg) 7,198,235
海沃德 (R. W. Hayward) 62,72
海尤特 (F. Hayot) 156
赫根霍尔兹 (N. Hugenholtz) 80
赫兹 (Hertz) 200
胡尔滕 (L. Hulthén) 131,133
胡宁(Ning Hu) 141
华罗庚(Loo Keng Hua) 221
怀特利 (Hassler Whitney) 134
怀特曼 (A. Wightman) 18
黄克孙 (Kerson Huang) 77,79-81,246
黄昆 (K. Huang) 216,217
霍夫斯塔特 (R. Hofstadter) 138
霍普斯 (D. D. Hoppes) 62,72

J

基布尔 (T. Kibble) 102
吉布斯 (Josiah W. Gibbs) 153
加尔斯科格(Cecilia Jarlsk) 220
加尔温 (R. Garwin) 72

K

卡恩 (B. Kahn) 30
卡克 (Mark Kac) 26,31,33,194
卡诺夫斯基 (M. Karowski) 144
卡普鲁斯 (R. Karplus) 17
卡扎马 (Kazama) 208
凯克 (Barbara Keck) 59
凯斯 (K. Case) 17,72
凯特莉 (Anna Keatley) 168

凯逊 (Carl Kayson) 258
考夫曼 (Bruria Kauffman) 23,24,30
考克饶夫特 (J. D. Cockcroft) 108
柯蒂斯 (R. C. Curtis) 59
柯克尼 (G. Cocconi) 124,147
柯立芝 (Mary Coolidge) 119
柯林斯 (G. B. Collins) 34
柯伊克 (P. Coik) 147
珂瑞平 (V. Korepin) 218
克茨 (J. Kerz) 148
克拉默斯 (H. A. Kramers) 26
克赖因 (M. G. Krein) 134
克莱因 (Oskar Klein) 219,220
克劳尔 (N. Kroll) 17,40
克里斯蒂安 (R. Christian) 36
克里斯奇 (A. D. Krisch) 124
克罗宁 (J. W. Cronin) 82
克罗伊奇乔 (J. des Cloiziao) 133
库珀 (L. N. Cooper) 105
库恩 (T. Kuhn) 233
库朗 (E. Courant) 34

L

拉格朗日 (Lagrange) 243
拉姆齐 (Norman Ramsey) 60
莱德曼 (L. M. Lederman) 72,74,75,122
莱恩 (K. Lane) 165
赖特 (Wright) 68
兰德 (K. Lande) 121
兰姆 (Willis E. Lamb) 25
朗道 (L. Landau) 61,73,234
雷吉 (Tullio Regge) 138,269
楞兹 (W. Lenz) 79
黎振球 (C. K. Lai) 133
李昭辉 (Benjamin W. Lee) 173,174
李政道 (T. D. Lee) 12,29,30,32,33,48,51,52,54-63,65,70,72-75,77,79-82,84,85,88,90-92,95,97,101,110-114,118,122,198,246
里陀 (W. Little) 117
利布 (E. H. Lieb) 132
利宁格 (Lininger) 255
利文斯顿 (S. Livingston) 34
林里格 (W. Liniger) 133
卢布金 (Gloria Lubkin) 186
鲁比 (S. L. Ruby) 89
鲁比亚 (C. Rubbia) 155
鲁丁格 (J. M. Luttinger) 17,21,23,24,77,79,246
鲁斯达德 (B. M. Rustad) 89
吕德斯 (Lüders) 69,85
伦敦 (F. London) 104,105,115
罗尔斯查敕 (H. E. Rorschach) 105
罗普斯 (J. L. Lopes) 96
罗萨里奥 (L. del Rosario) 10
罗森布鲁斯 (M. N. Rosenbluth) 11-13
罗森塔尔 (J. E. Rosenthal) 8

罗斯 (M. E. Rose) 23
洛 (F. Low) 116

M

玛戈特 (Margot) 129
马克斯坦 (Markstein) 97
马库斯 (W. C. de Marcus) 26
马沙克 (R. E. Marshak) 89,171
马仕俊 (S. T. Ma) 5,110
马特森 (R. P. Matsen) 122
马歇尔 (Leona Marshall) 76
马中骐 (Z. Q. Ma) 209,254
麦克科伊 (B. M. McCoy) 33
麦克奎伊尔 (J. B. MacGuier) 132
麦克斯韦 (J. C. Maxwell) 106,180,200,224,261
梅耶 (Joseph Meyer) 29,30
梅耶 (M. E. Mayer) 160
蒙特茹尔 (E. Montroll) 26
米尔斯 (Robert L. Mills) 40-42,135,136,160,203,231
莫瑞塔 (M. Morita) 59
墨菲 (G. M. Murphy) 8
默兹巴彻尔 (E. Merzbacher) 23
穆勒 (F. Muller) 122
穆纳罕 (F. D. Murnaghan) 5

N

南部阳一郎 (Y. Nambu) 93,141
内埃曼 (Y. Néeman) 102
倪光炯 (G. J. Ni) 6

P

珀尔雅科夫 (A. M. Polyakov) 176
珀塞尔 (E. M. Purcell) 60
帕尔 (Y. Pal) 156
派尔斯 (R. Peierls) 108
派斯 (Abraham Pais) 19,40,42,50,121,122
派因斯 (D. Pines) 80
庞德 (T. A. Pond) 126
泡利 (Wolfgang Pauli) 17,20,39,40-42,62,69,72,74,85,141,159,203
彭罗斯 (O. Penrose) 114
蓬泰科尔沃 (B. Pontecorvo) 95
皮尔斯 (Benjamin Pierce) 46
皮尔逊 (J. J. Pearson) 133
皮乔尼 (O. Piccioni) 87,122
普莱斯 (P. Price) 79

Q

钦诺夫斯基 (W. Chinowski) 122,144
丘 (Geoffrey F. Chew) 11,93
丘成桐 (S. T. Yau) 189

S

萨克尔 (H. B. Thacker) 144
萨拉姆 (A. Salam) 72
萨瑟兰 (Bill Sutherland) 133,143,255
萨瓦达 (K. Sawada) 80
塞格雷 (E. Segré) 99

赛蒙斯 (Jim Simons) 159,162
桑德斯 (C. H. Sanders) 26
瑟伯 (R. Serber) 35,36
瑟尔伯格 (Selberg) 31
瑟罗夫 (Walter Selove) 58
森雅 (A. W. Sunyar) 89
施瓦兹 (A. S. Schwartz) 176
施瓦兹 (M. Schwartz) 95
施温格 (J. Schwinger) 11,12,22,59,85,96,102,136,141,226
舒特 (R. P. Shutt) 54
斯查福若斯 (M. R. Schafroth) 115
斯汀罗德 (Steenrod) 159
斯尼德 (H. Snyder) 34,139
斯诺 (G. A. Snow) 37,41,55
斯派瑟 (A. Speiser) 8
斯派瑟 (D. Speiser) 101
斯坦伯格 (J. Steinberger) 11,54,73,87
斯特恩海默 (R. M. Sternheimer) 37,41,55
松田博嗣 (H. Matsuda) 132
松原武生 (T. Matsubara) 132
宋李瑞芳 (Betty Lee Sung) 118
苏达山 (E. C. G. Sudarshaan) 89
苏克哈特米 (U. P. Sukhatme) 156

T

塔克塔占 (L. A. Takhtadzhan) 144
塔斯基 (J. A. Tarski) 101
泰莱格迪 (Val Telegdi) 63,68,72,74,75,197
特霍夫特 (G. t'Hooft) 142
特勒 (Edward Teller) 9-11,15,16,31,81,140,232-234
特利菲尔 (J. S. Trefil) 156
提奥穆诺 (J. Tiomno) 18,44,56,88
提麦奥斯 (Timaeus) 180
提乌普金 (Yu. S. Tyupkin) 176
托尔 (John S. Toll) 126

W

瓦滕伯格 (Al Wattenberg) 60
外村彰 (Akira Tonomura) 199,204,223
万尼尔 (G. H. Wannier) 26
王大中(D. Z. Wang) 230
王竹溪(J. S. Wang) 3,30,84,85
韦尔 (Andre Weil) 257,258
韦尔 (Hermann Weyl) 39,72,196-198,202,204,205
韦尔特曼 (M. Veltman) 142
韦斯科夫 (V. Weisskopf) 62,74,77
威尔金森 (D. J. Wilkinson) 144
威尔柯克斯 (H. A. Wilcox) 10
维恩斯坦 (R. Weinstein) 51
维拉斯 (Villars) 75
维勒 (S. A. Werner) 177
魏因里希 (M. Weinrich) 72,73
温伯格 (S. Weinberg) 142

温特勒 (Wintner) 31
文策尔 (Wentzel) 11
沃德 (J. Ward) 33,96,102
沃尔芬斯坦 (L. Wolfenstein) 37
沃克尔 (L. R. Walker) 133,147
沃克尔 (W. D. Walker) 54
乌伦贝克 (G. E. Uhlenbeck) 30
乌提亚马 (R. Utiyama) 102
吴大峻 (T. T. Wu) 33,80,112,121-124,127,132,134,135,140,141,147,156,162,163,166,167,175
吴大猷 (T. Y. Wu) 8,84,85,110,229
吴健雄 (C. S. Wu) 59,62,71,72,74,75,77,91,198
吴期泰(A. C. T. Wu) 140

X

西岛和彦 (K. Nishijima) 197,235
希尔莱 (Shirley) 60
希格斯 (P. W. Higgs) 141
希福尔 (J. R. Schrieffer) 105
希维赛德 (Heavyside) 200
辛顿 (J. Hinton) 10
薛定谔 (Erwin Schrödinger) 7,41,42,159,206,207

Y

严爱德 (E. Yan) 147
杨光宇 (Gilbert Yang) 126
杨又礼 (Eulee Yang) 126
杨振平(C. P. Yang) 94,117,131-134,143,193,231
伊万宁科 (D. Ivannienko) 102
因费尔德 (L. Infeld) 141
因佩杜利亚 (J. Impeduglia) 121
樱井纯 (J. J. Sakurai) 19,89,101,102
尤德赫 (G. B. Yodh) 156
尤里 (C. Urey) 15
约斯特 (R. Jost) 17,85

Z

扎莫洛契科夫 (A. B. Zamolodchikov) 144
扎莫洛契科夫 (Al. B. Zamolodchikov) 144
张承修(C. H. Chang) 25
张守晟 (S. C. Zhang) 218
张守廉(Sheldon Chang) 126
赵忠尧(C. Y. Chao) 210,211
周培源(P. Y. Chou) 169
朱邦芬(B. F. Zhu) 216
邹祖德(T. T. Chou) 137,138,147,149,155,164,178,201,229