

# 宇称问题侧记\*

J. 伯恩斯坦 (Jeremy Bernstein)

自从第一颗原子弹爆炸的巨响震动人寰以后,物理学在人们的心目中就彻底变了样子。物理学作为几乎是纯科学由学者们在大学和研究所里进行研究的时代已经过去,而且很可能永远不会再返回。物理学家被要求去研究炸弹和火箭以及各式掩体,现代战争的所有各种可怕的装置。一般说来,他们并不很情愿去担负这些责任,但是他们觉得总要有人去考虑既是高技术通常又是非常复杂的事情。因为,如果物理学家不去做,又有谁去做这些事情呢?人人知道原子弹和火箭,一方面,使物理学家在社会上有了崭新的地位(正如一则旧笑话所云:“救命呀!救命呀!我的做医生的儿子就要淹死了!”今天,也许应该说:“……我的做核物理学家的儿子……”);另一方面,则几乎完全把物理学真正是什么弄得模糊不清了。本来,物理学应该是一门发现自然界规律或者说发现自然界基本原理的科学。实际上,即使制造原子弹和火箭所使用的技术是非常先进的,但并没有采用什么新的物理原理。说真的,把火箭技术与物理学相混同,就犹如把发明长时间录音唱片技术与写作一首交响乐混为一谈一样。当然可以这么说,政府与物理学之间交互作用,对物理学是有益的(即,发现自然界的基本原理),同时对政府也是有利的(即,发明火箭技术)。

政府对基础科学,或者说对纯科学研究的支持一向是物理学发展的最重要的因素。像位于长岛厄普顿(Upton)的布鲁克海文国家实

---

\* 原文见 Jeremy Bernstein, *A Question of Parity*, *New Yorker*, Vol. 38, 49—104, May 12, 1962 (《纽约客》第38卷 49—104, 1962年5月12日出版)

实验室(Brookhaven National Laboratory),她是那种纯粹搞基础科学研究的实验室,是通过多所大学与政府的合作成立的。战后,事情很清楚,某些科研项目太大,由某一所大学来承担是不可能的。于是便有九所大学联合起来成立了一个研究中心。1947年,他们建立了布鲁克海文实验室。这所实验室用一个旧军事基地,也就是厄普顿军营,来访问的人们很容易感觉到一些建筑物的军事特色。实验室的经费来自原子能委员会,但是由实验室的成员大学来管理。在那里有两台非常大的粒子加速器,AGS(交变梯度同步加速器)和Cosmotron(高能同步稳相加速器),后者于1953年建成,前者在去年(1961年—译者)才完成;一座核研究反应堆;一所研究医院;还有许多其它科学装置。实验室的任务是进行纯粹科学的几乎每一个领域的研究。建造一座像AGS那样的粒子加速器大约需要3000万美元。原子能委员会提供了这笔经费,让来自这九所大学的物理学家来使用AGS。但是,单独的某项实验需要使用许多专门的仪器,如,电子计算机、泡室等,也许要几十万美元的投资。这些经费也是来自原子能委员会。没有政府的支持,任何一所大学都没有能力支持现代物理研究的巨大开支。由于仪器和经费的庞大,势必会改变单个物理学家的心理。一位负责使用价值约百万美元大型科研仪器,如泡室的科学家,他跟仪器的关系,不会也不可能跟那种在家里自己动手制造的小型仪器一样了。阿瑟·罗伯特(Arthur Robert)博士,现在在位于芝加哥郊区的阿贡国家实验室(Argonne National Laboratory)工作,是一位音乐家,一位诗人,同时也是一位优秀的物理学家。他感觉到了那些在战前或者说“细绳一封腊”时代成长起来的物理学家被新物理学所引起的一点沮丧和怀旧的心情。但是,在他写了下面这首打油诗之后,他自己继续用那大加速器做实验。

“……在一座古老的军营,

世界上最高级的电子-核机器，  
它身价十亿美元，  
它产生电压百亿伏，  
它要用五千位学者，  
七年才能把它建成。

.....

它只是个模型，  
当然是为了建造更大的机器。  
这就是物理学的未来，  
我想你们都会赞同。

.....

拿走吧，你的十亿美元！  
拿走吧，你的肮脏的黄金！

.....

噢，还是拿来那十亿美元吧，  
让我们重新做物理学家。”

像布鲁克海文那种的实验室，为了开展工作，那里实际需要有三种物理学家。第一种是理论物理学家，他们从事数学物理的工作，如使用数学计算的技巧去尝试预言或解释实验的结果，犹如当年牛顿用引力定律去分析行星运动的观察结果那样（当然通常成功的可能性很小）；第二种是实验物理学家，他们实实在在做实验。第三种可以称他们为仪器学家。他们设计并制造许多实验用的复杂装置，如 AGS。在牛顿时代，实际上，直到不久以前，一位单个的物理学家自己可以完成上述三种人的工作，而现在，什么事情都变得复杂起来。通常，一位实验物理学家，没有时间，或者缺少数学的训练让他去做理论工作。而一位理论物理学家，不太懂做实验的电子学技术，等等。当然，

界线并不是绝对的。但是，一位物理学家能够成功地横跨另一门就十分难能可贵了。事实上，只有已故的恩瑞柯·费米(Enrico Fermi)是唯一的一位现代物理学家，既能够在实验物理又能在理论物理上做出众多的第一流的贡献。费米 1901 年生于罗马，1939 年来到美国，基本上在现代物理学的各个不同领域都工作过。1938 年，他因他在中子物理方面的实验工作获得了诺贝尔奖。但在当时他在理论物理的一些领域也做出了开创性的工作。很难说在这些领域中哪个方面的贡献更重要。在战争年代，费米在研制原子弹和核反应堆方面工作。战后，他成为芝加哥大学的教授直到 1954 年去世。费米同时是理论物理和实验物理学家，又是一位卓越的物理学教授。他吸引了战后整整一代物理学人才来到芝加哥，他们现在都在物理学界起着骨干作用。费米对于实验设备和数学计算方面都是十分精通的。他在他的时代是独一无二的。在他去世后，随着物理学变得越来越复杂，看起来，在未来再也不会出现像费米这样的物理学家了。

对于物理学所有优秀的工作，实验和理论之间有着不断的交流。理论提出做实验的建议，或者反过来。在现代，有关理论和实验关系的最好事例就出现在 1956 和 1957 年。由此导致纯粹物理学发生了非常大的进展。尽管现在任何一个人都能指出，这一进展没有任何技术应用。这个发现是由两位物理学家，即杨振宁和李政道共同做出并且于 1957 年 10 月一起获得了诺贝尔物理学奖。瑞典皇家科学院称：“他们关于对称定律的深入探索，导致有关基本粒子的重大发现”。杨振宁当时 35 岁，李政道 31 岁，是最年轻的诺贝尔奖获得者中的两位；他们至今还是唯一的两位得此重奖的中国人。这项奖金的颁发，确实是战后物理学最令人振奋的岁月的高峰。

在现代物理学中，没有什么可与李杨合作相比美的了。的确，在

实验物理学中需要合作，由于实验的复杂性，合作是不可缺少的。因此，有的实验团队的人员多年合作。然而，理论物理学家喜欢单干是众所周知的。某些人从不与人合作。一些人偶然与人合作(两个人独立做同一项计算要比一个人做两次同一项计算的效率要高得多),但是往往经常改变合作对象。李和杨是理论物理学家，却不在此例。(杨作为一名研究生曾在芝加哥大学艾立逊教授(S.K. Allison)的实验室做过一些实验工作。但是，根据我从他的同学那里得到的说法，他在实验室里工作并不是那么得心应手。当时实验室里有一则顺口溜说：“哪里有响声，哪里有杨(Where there is a bang, there is Yang)”，于是不久后他就改做理论工作去了。李则完全没有参加过实验工作(虽然他和杨两人在理解有关实验设备的工作原理方面很有兴趣)。他们都独自做出过出色的工作，前后也和其他人合作过，然而大量的工作，包括他们获得诺贝尔奖的工作，都是由他们两人一起完成的。

1945年，李和杨都是中国昆明西南联合大学的学生，在数月之内(杨在当年，李在次年)他们两人都是靠奖学金来到美国当研究生。杨，23岁，已取得了物理学硕士学位。他的父亲，杨武之，是一位数学家。杨是在数学和物理的熏陶中成长的。在他到美国的时候，他在数学和物理两方面都有充分的准备。事实上，他在芝加哥大学发现自己比其他研究生水平要高得多。当杨还在中国的时候，他读了本杰明·富兰克林(Benjamin Franklin)的自传。作为一个人，作为一个科学家，富兰克林都给杨留下了深刻的印象。因此，当他要来美国的时候，杨决定要取名富兰克林。因为他不喜欢本杰明这个名，他给自己取名富兰克林，或富兰克，在芝加哥大学的研究生们都这样称呼他，现在物理学家非正式地称他为富兰克。物理学家亲切地把李称作“T. D.”(政道英文拼音的第一个字母)。杨经由印度、苏伊士运河、大西洋，于1945年11月到达纽约。他当时已是费米的崇拜者，猜想

费米仍在哥伦比亚。费米在他因原子弹工程而被调往洛斯·阿拉莫斯(Los Alamos)之前，一直是哥伦比亚大学的教授。杨直接到了哥伦比亚大学的普平(Pupin)实验室，想见一见在那里讲课的费米。杨曾追忆过当时的情形：“我记得有一天，在刚刚到达纽约之后，我立刻来到哥伦比亚，登上了普平实验室的第八层去打听费米教授是不是就要在这里讲课。秘书们十分茫然地看着我。我才知道，传闻要在芝加哥建立一个研究所，费米要去那里工作。于是我就去了芝加哥，在大学里登记注册。但是，直到1946年1月我亲眼目睹费米开始讲课时我才确信无疑。”大致可以说，不久杨便成了费米的助手。有些时候，费米出差，他便代课。杨得到了中美庚款奖学金的资助，这是他在中国通过全国考试得到的。中美庚款奖学金的来历很有意思，杨在获得诺贝尔奖金的宴会上曾简要地说过：

“尊敬的陛下、尊敬的殿下，女士们、先生们！”

“首先，请允许我感谢诺贝尔基金会和瑞典科学院，由于他们的亲切款待，杨夫人和我过得极其愉快。我还特别要感谢卡琼(Karlgren)教授，听了他用中文说的引述和一段话，我感到心中格外温暖。

“颁发诺贝尔奖金的制度开始于1901年，在这同一年里，另一个具有历史重要性的大事件发生了。凑巧，这个事件对于我个人的生活历程有决定性的影响，并对于我现在出席1957年度的诺贝尔贺宴是有关联的。借着您的允许，我想花几分钟就这件事说几句。

“在上一世纪下半叶，西方文化和经济体系扩张影响的冲击给中国人带来了剧烈的矛盾和冲突。人们激烈辩论的问题是：中国应当在多大程度上引进西方文化。然而，在答案得出之前，理智被感情所压倒，

在 1890 年代兴起了在中国称之为义和团的民团,在英语里称作 Boxers, 他们声称能赤身抵挡现代武器的攻击。他们对于在中国的西方人所采取的愚昧无知的行动促成了 1900 年许多欧洲国家, 和美国的军队进占北京, 这个事件被称之为义和团战争。其特点是双方的野蛮的屠杀和可耻的掠夺。归根结底, 这个事件起因于骄傲的中国人的愤怒的感情: 他们遭受着外来的日益加重的压榨和内部的腐化与堕落。同时, 这个事件在历史上可被看作是加速地解决了中国应当在多大程度上引进西方文化的这场大辩论。

“这个战争在 1901 年结束, 当时签订了一个条约, 条约中的一项规定, 中国要赔偿列强总数为五亿盎司的白银, 这在当时是一个惊人的数目。大约 10 年后, 以一个典型的美国姿态, 美国决定把赔款总数中其分享的部分归还中国。这笔钱用来建立了一项基金, 创建一座大学, 即清华大学; 另外还设立了留美研究生奖金。我是这两个项目的直接受益者。我成长在一个与世隔绝的、学院气氛浓郁的大学校园里, 我的父亲是这所学校的一位教授, 我享受着宁静的童年。这一切, 与我同时代的大多数中国青少年不幸是享受不到的。后来, 就在清华学校里, 我接受了出色的头二年的研究生教育。而后, 又得到留美研究生奖金的资助到美国继续我的学业。

“今天, 我站在这儿向你们叙述这一切时, 我以沉重的心情体会到这一事实: 从不只一层意义上说, 我是中国和西方两种文化共同的产物, 二者既有冲突, 也有协调。我想说, 我既为我的中国根源和背景感到骄傲, 也为我献身于现代科学而感到满意, 现代科学是人类文明起源于西方的一部分——对于它, 我将继续奉献我的努力。”\*

政道是走另一条路来到芝加哥的。他出生在上海, 是一位商人六

---

\* 译注: 杨振宁的这段讲话的译文摘录自《杨振宁文集》, 华东师范大学出版社, 第 76—77 页。

个孩子中的第三个。战争打断了他受的教育。1945 年他去了昆明，被录取进了西南联合大学。杨振宁当时已经取得了他的硕士学位。李和杨那时只有点头之交，在来芝加哥之前，实际上互相并不了解。在昆明，李受教于中国著名物理学家吴大猷教授。吴教授现在加拿大渥太华国家研究中心工作。他是广东人，1933 年在密歇根大学获得博士学位，然后回到中国教书。战后他重新回到美国，带着两个研究生从事研究工作。其中之一就是李政道。当时，李大学还没毕业。吴的选择极具远见。在吴稍后写给他在密歇根大学时的老师、现在在布鲁克海文实验室工作的高德斯密特教授(S. Goudsmit)的信中写到李政道时说：“李在中国只念了三年大学，但他是一个非常聪明的孩子。思想敏捷，看法尖锐，工作勤奋。如果好好引导他，我相信他能成为一个出色的物理学家。”回头看来，对李的这番描述并没有言过其实。当李到达美国时，他得悉芝加哥大学是唯一一所大学允许没有大学学位的学生去读博士学位的。所以他就在芝加哥大学注了册。

这样，在 1946 年，富兰克和政道一起住进了芝加哥大学的国际学生宿舍。他们最早的一次合作并没有做物理学方面的研究。那是芝加哥的一家报纸举行的字谜竞赛活动。字谜是类似联字猜想。第一名的奖金大约要超过五万美元。这个数目极具吸引力。于是他们便取得了另外几位研究生的帮助去参加这一竞赛。竞赛的参加者之一是咖温博士(R. L. Garwin)。他当时在费米指导下从事实验物理工作，现在是 IBM 公司的华生实验室(Watson Laboratory)的副主任、哥伦比亚大学的物理学教授。他后来在 1957 年宇称实验中发挥了重要作用。参加竞赛的报名费约现金 8 美元。他们这个小组后来又花了四十美元买了两卷未删节的韦伯新国际字典，因为它是此次竞赛的正式指定字典。他们正确地解答了第一组难题，进入“加赛”难题。他们彻底研究了“加赛”，发现了竞赛规则中有一个模棱两可的地方，提出了两



组解，各解一组。几天后，他们气愤地得知，他们因为提出了过多的解而丧失了竞赛的资格，虽然他们比获奖者多若干分，但是毫无用处。

这时，杨和李已开始认真地讨论物理问题。在这一段时间里，李向杨学习了许多物理学知识，因为杨比李搞物理要早三到四年。在芝加哥大学，一般说来研究生都尽量自己教育自己，或者互相帮助。大学里设有各种课程，但是大家认为要深入学习就不能太依靠它们。当学生感到自己已经准备好了，便去参加严格的考试去获取准予撰写博士论文的许可，一般在一位教授的指导下准备论文。李于 1948 年通过了考试。他在费米指导下写了有关天体物理的论文(有关白矮星的理论)。杨是在爱德华·泰勒教授(Edward Teller)的指导下研究核反应问题。杨于 1948 年获得了他的博士学位。李是在 1950 年。他们第一篇合作写的论文发表在 1949 年。合作者还有当时芝加哥大学的一位研究生罗森布鲁斯(M. Rosenbluth)。他现在是加州大学拉霍亚(La Jolla)分校教授，通用原子的研究物理学者。在芝加哥的几年里，杨和李听了一系列费米为某些研究生开的非正式的夜间讲座。费米总是带着一大堆笔记，里面写的是他对于有关物理学很广泛的问题的见解。晚间讲课，要么费米或者一位学生提出一个讨论的题目，然后从笔记里去寻找，费米总是能在里面找到他要提出的有关见解。他的讨论总是带有基本和直觉的色彩，十分着重简明的原理，作为数学推导的基础。讲座的高质量和多样性给这两位年轻人留下了深刻的印象。杨写了：“我们了解到，物理学并不只是专家的事；物理学要从基础建起，一块砖一块砖，一层又一层地建造。我们了解到抽象概念来自详尽的基础工作之后，而不是在先。我们还从这些课中学习到，费米不厌恶计算，而喜欢用台式计算器进行简单的数字计算。”

1950 年，李到加州大学伯克利分校物理系任讲师。前此一年，

杨去普林斯顿高等研究院工作，1952 年成为该研究院的永久工作人员。通常该研究院大约有一百位是临时工作人员，而只有二十位永久工作人员，后者来自各个学科，只有五位是物理学家。李和杨一块在这个研究院工作了两年，即从 1951 到 1953 年，之后李在哥伦比亚大学得到了一个职位。纽约和普林斯顿之间的距离不远，他们制订了一个计划，每周互访一次。在他们互访时讨论当前物理学中看来重要的问题。1953 年，杨开始在布鲁克海文实验室过夏天。每年，该实验室都举行非常活跃的暑期讨论会。来自全世界各地的访问学者在办公室或者在实验室和附近海滩进行讨论。布鲁克海文实验室的夏天给分隔各地的物理学家提供了一个见面并讨论共同感兴趣的问题的机会。许多非常好的物理思想都源出于暑期讨论会，有一些就是在海滩上产生的。1956 年，杨在四月回到布鲁克海文，于是他和李就在厄普顿或纽约之间互相访问。在此之前，他们的研究方向各不相同，但是现在他们两人都在研究同一个问题，到六月份李便到布鲁克海文与杨一起工作。

那年春天，杨和李全神灌注的是“ $\theta - \tau$ ”之谜”。它使研究基本粒子的物理学家感到迷惑不解。基本粒子是构成所有物质的基材。大体说来，从希腊人直到 1911 年恩内斯特·卢瑟福(Ernest Rutherford)发现原子核之前，几乎每一个人都认为原子是基本的粒子；事实上，“原子”这个词的意思是“不可分割的”。1911 年以后，人们发现原子是可以分割的，里面是质量很重的叫原子核的东西，外面是很松散的带电荷的东西，现在人们称它为电子云。最初，人们认为原子核是由质子和电子组成的。质子是相对较重，带正电荷的粒子，原子核的质量主要就是它的质量。然而，认为电子是存在于原子核内部的想法是站不住脚的。随后，1932 年查得维克(J. Chadwick)发现了中子，它是质量较重的质子的电中性的伙伴，并且弄清楚了，原子核实际上

是由质子和中子组成的。同样，在 1932 年位于帕萨迪那的加州理工学院的安德森(C. D. Anderson)证实了一项由英国理论物理学家狄拉克(P. A. Dirac)提出的光辉理论预言，发现了电子的带正电荷的伙伴，名叫正电子。电子和正电子是通过在实验室做实验而找到的第一个粒子和反粒子对的例子。现在大家知道，每一种粒子都有一个反粒子，质量相等。当二者碰到一起时它们就互相湮灭，变成各种类型的能量。这种湮灭就是爱因斯坦发现的质量和能量是等价的， $E=mc^2$  这一公式的一个证明。在 1932 年年底，已经知道有五种基本粒子，这第五种就是光子，光就是由它组成的(某些粒子，如光子，它们的反粒子和它完全相同)。现在已知的基本粒子有三十到五十种。这多少取决于人们对“基本”一词的理解，一点也不清楚这个名单是否已经是完全的了。许多基本粒子是在战后发现的。主要原因是实验技术的不断改善。像 AGS 这样的大加速器建造起来了，加速器的能量增加到能够产生质量越来越大的粒子。安德森是在宇宙线实验中发现了正电子。宇宙线是指从外空间来的小数量的天然辐射(光子除外)。显然，对实验物理学家来说，用加速器产生的某种想要的粒子流来做实验，这比坐等偶然从宇宙线中来的一个粒子的效率要大得多。当然，安德森事先并不知道他就会发现正电子，宇宙线是一种发现未知粒子的丰富源泉。

在五十年代中期，发现了一批全新的基本粒子。任何理论对它们都未曾预言过；但这些粒子就是在那里存在着。因此，就叫这些粒子为“奇异粒子”。研究这些奇异粒子就成了当代物理学的一个最活跃的分支。第一批奇异粒子是在 1947 年在宇宙线中发现的。英国物理学家罗彻斯特(G. D. Rochester)和波特勒(C. C. Butler)在云室里观察到了它的轨迹。但奇异粒子和通常物质之间的联系实际上是非常少的。通常的物质是由质子、中子和电子组成的。然而，当物质被高能

量的粒子，譬如质子来轰击时，奇异粒子就在撞出的碎片中产生了。由于在碰撞中一次又一次地产生同一种奇特的东西，这个事实使物理学家相信这些东西一定是存在的。实验物理学家看一张粒子碰撞的照片，就可以按照轨迹的不同告诉你产生了哪一种粒子。他通常已经成十上百次观察到了这些相同的轨迹了。

$\theta$  介子和  $\tau$  介子是，或者至少看起来是两种奇异粒子。它们同时自发地衰变—就是分裂—为比较熟悉的粒子，叫  $\pi$  介子，或者简称为  $\pi$  子。令人迷惑不解的是， $\theta$  和  $\tau$  具有明显相同的性质，特别是质量和寿命，但是其中之一， $\theta$  衰变成两个  $\pi$  介子，另一个， $\tau$  则衰变成三个  $\pi$  介子。在自然界会存在这么两种如此相似的粒子，而仅仅衰变的情况不同。这是非常奇怪的。如果假设一种粒子有两种衰变方式似乎更合理。事实上，物理学家们是乐意看到  $\theta$  和  $\tau$  是同一粒子。但是，现在在芝加哥大学工作的澳大利亚物理学家达立兹博士(R. H. Dalitz)在 1954—55 年详尽地分析了  $\tau$  衰变，看起来上述想法是不可能的。达立兹的分析根据当时都接受的物理学原理。其中之一就是叫做宇称守恒定律。这个定律在当时看起来是一条十分确定的定律，是不会轻易改变的。在达立兹的分析指出这里有问题后，许多物理学家，包括杨和李都去研究它。最初，有希望证实  $\theta$  和  $\tau$  的质量稍有差别。这样就可以较为简单地去解释这两种衰变方式。但在 1955 年的秋冬，对  $\theta$  和  $\tau$  的质量的测量越来越精细，结果越来越证明了在实验允许的误差内， $\theta$  和  $\tau$  的质量是完全相同的。这样，任何一种简单的解释都不能成立。1956 年春，物理学家就很明确地认识到他们面临着一个名符其实的佯谬。

那年四月，当第六届罗彻斯特高能核物理年会在纽约州北部罗彻斯特大学举行的时候，在会议日程上， $\theta - \tau$  之谜列为重要议题跃然

纸上。在会议中，提出了许多解决这一难题的建议，但是都不能令人满意。在杨对奇异粒子的讨论做了一个小结之后，有一段时间讨论。讨论的纪要中有一段值得一提：

“杨感到，只要我们对于  $\theta - \tau$  的简并还不太清楚，我们对于这个问题最好思想开放。沿着这开放的思路，费曼 (Feynman) 代波洛克 (Block) 提出了问题：是不是  $\theta$  和  $\tau$  是同一粒子的不同宇称态，这一粒子没有确定的宇称；也就是说，宇称是不守恒的？这就是说，自然界是不是有一种明确确定右手或左手宇称的途径？杨指出，他和李研究过这一问题，但未得到任何确定结论。……因此，或许存在一种粒子具有两种宇称。……或许可以说宇称守恒……是可以被破坏的。可能弱相互作用都是来自这同一来源，即空间—时间对称的破坏。”会议进行了更多讨论和猜测。最后，就在会议结束之前，奥本海默教授 (J. Robert Oppenheimer) 担任主席，指出：“事情很清楚， $\tau$  介子要么具有内部的要么具有外部的复杂性。”这是一个预言。

那时，总的感觉是迷惑和挫折。杨后来写到：“那时物理学家的处境就好比一个人在一间黑屋子里摸索出口。他知道，在某一个方向一定有一个门能让他从困境中出去。但是在哪个方向呢？”他和李回去后就开始工作。最后，没有别的出路，他们决定要对宇称守恒的实验基础进行细致的研究。出人意外，这确实让他们找到了从黑屋子里出去的门。

什么是宇称守恒，为什么物理学家们如此不情愿去怀疑它？宇称守恒，或者有些时候称它为镜像对称，是一个物理系统和它镜子里的形像的对称。大家都知道，当一个物体在镜中显现的时候，镜子就把它右变成左，反过来也是一样。在物理学中，一切经验，直到认识

$\theta$  -  $\tau$  之谜之前，看来都显示，一个物理系统的行为和它的镜像的完全一致，都遵从同样的定律。这种一个物理系统的行为和它的镜像的完全一致，叫做镜像对称。然而，用复杂的数学推理，可以证明，如果  $\theta$  和  $\tau$  是同一粒子，这就意味着在描述它们的衰变时要抛弃镜像对称。也就是说，要抛弃宇称守恒定律。杨在他获诺贝尔奖金的致词中试图去解释一下这一规律的某些内涵。他说：

“对称原理之一，即左右对称，是与人类文明一样古老的观念。自然界是否具有这样一种对称性，过去的哲学家们一直争论不休。当然，在日常生活中，左右是明显可分的。例如，我们的心脏处在身体左侧。我们的语言甚至还有这样的内涵：不论在东方还是西方，右边都意味着美好，而左边意味着邪恶。然而，物理定律过去却一直显示出左右之间的完全对称性。日常生活中的不对称性被归咎于周围环境或有机生命体初始条件的偶然的不对称性。为了再进一步解释这一点，假定存在这样一个镜中人，他的心脏在身体的右侧，其他内脏也处在同我们相反的一侧，而构成他身体的分子(例如糖分子)也是我们身体分子的镜像，再假定他所吃的食物也是我们所吃食物的镜像，那么，按照过去的物理定律，他的身体机能就应该和我们的完全一样有效地进行。”

1956 年李和杨给他们自己提出的问题是，我们怎样知道这一定律是对的？他们的发现使他们大为惊奇。过去实验所证实的这一定律，只适用于强相互作用力，也就是把原子核聚在一起的那种作用力，以及起化学反应的那种作用力；没有任何一个实验去检验这一定律对弱作用力究竟如何，例如那种让  $\theta$  和  $\tau$  粒子，或者让众所周知的放射性同位素进行衰变的力。有许多有关弱作用力的实验，但是没有一个是有一个非常的例外，当时李和杨以及大多数物理学家都还不知道)是

与宇称守恒问题有关的。杨曾描述过当时他们对这一问题的见解的感受：“事实上，关于在弱作用中宇称守恒，在没有实验支持的情况下，为人们长期相信，这是令人吃惊的。但是更令人吃惊的是，物理学家所熟知的空间—时间对称定律很可能要被破坏掉。这一前景我们过去没有想过，而是在做各式各样的努力去解  $\theta - \tau$  之谜遭受失败之后强迫我们得到这一结论的”。

回顾过去，像李和杨做出的发现，看起来容易，但对发现者来说就不一样了。最近我和杨讨论了这一问题。他试着描述了一个人在这种情况下的心理过程。他说，当一个人处理像  $\theta - \tau$  之谜这样的问题时，因为他还没有一点概念到哪里去寻找答案，因而要集中到任何一个单独的途径上是困难的。一旦当他有了解决问题的思路，他就可以集中他的全部努力去把它攻克。但是在这之前，一个人的思想会东一槌子西一棒子，没有任何明确的目标。杨已记不准他和李要去检验过去有关弱作用实验的想法是怎样得来的了。但是他却记得是什么时候、在什么地方。那是五月初，他刚刚驾车从厄普敦到纽约访问李。他把李从哥伦比亚大学的办公室接上车，但在哥伦比亚大学附近很难找到一个停车的地方。他和李一边驾着车到处找停车位，一边谈话。他们终于把车暂时停在靠近 125 街和百老汇街交叉角的一个中国餐馆前面。餐馆还未开门。他们便去附近的白玫瑰咖啡馆。他们坐下，开始讨论。这时，他们忽然有一想法。突然，他们明白了，应该去检查一个又一个弱作用实验的结果，去看一看有没有任何有关宇称不守恒的信息。

这样，杨和李一连三个星期进行了紧张的工作，杨在布鲁克海文，李在哥伦比亚。他们的方法是对一个一定的实验，允许宇称可以不守恒，做出有关它的理论计算。举例说，他们计算了各种弱衰变过程的

衰变率。在这些衰变率的数学公式中，那些可能反映宇称不守恒的项正好都被消除掉。这样，测量衰变率的实验，不管它是做得多么好，没有一个能够反映出宇称不守恒的效应。如此继续检验在 1956 年前做的所有其它一些实验。几周里，他们没能找到一个指导性的原则，使他们能够在做详细的计算前说出，哪个实验会对宇称不守恒灵敏，哪个实验不灵敏。六月初，他们发现如何去做这件事。随后就比较简明地列出了一些实验名单，原则上这些实验可以指出宇称守恒被破坏的效应。

六月下旬，杨和李在布鲁克海文写了一篇论文：《弱相互作用中的宇称守恒质疑》，现在这篇论文成了经典。在开头部分，论文总结了当时的情况，被视作科学论文的典范。文章写着：

“最近，实验显示  $\theta$  和  $\tau$  介子的质量和寿命几乎完全一样。另一方面，基于角动量和宇称守恒，对  $\tau^+$  的衰变产物的分析强烈建议  $\tau^+$  和  $\theta^+$  是不同的粒子，这就形成了一个相当令人迷惑的局面，并引起了广泛的讨论。

“摆脱这种困境的一种方法是，假定宇称不严格守恒， $\theta^+$  和  $\tau^+$  是同一粒子的两种不同的衰变模式，它们的质量和寿命就必须相同。在本文中，我们想在已有的宇称守恒的实验证据的基础上分析这种可能性。我们的分析清楚显示，在强作用和电磁作用中，现有的实验以很高的精确度表明宇称守恒；但是，对弱相互作用（即，介子和超子的衰变作用和各种费米相互作用<sup>1</sup>）宇称守恒至今仍只是外推的假设，并没有实验证据的支持。（人们甚至可以说，现在的  $\theta$ - $\tau$  之谜也许可以视为弱作用中宇称守恒破坏的迹象。但是，这个论点没有被认真对待，因为，我们目前对于奇异粒子的性质了解得太少。倒不如说，这

---

<sup>1</sup> 作者 Bernstein 注：费米于 1934 年提出了关于弱衰变的基本理论。



提供了一个检验宇称守恒问题的动机。)要明确地认定宇称在弱作用中是否守恒,我们必须通过实验确定弱作用能否分出右和左。下面将讨论一些可能的这类实验。”

在论文的其余部分,他们给出了需要做的实验的详细介绍。

在让实验物理学家们去做工作之前,李和杨除了等待之外不能做什么事。就在他们等待的时候,他们就在布鲁克海文实验室,在物理学的一个完全不同的分支——统计力学方面开始工作。统计力学是研究一种系统,诸如气体,它是由数目非常巨大的粒子组成的。为了描述这种系统,人们不去试图描述某单个原子或分子的行为,而是尝试做出大量粒子的统计理论。这是物理学很有兴趣的一支,而李和杨在不同时期曾为它做出过重要的贡献。在这一等待期间留下了一份奇妙的文件,这就是李在布鲁克海文的草稿本的一页。另一位在该实验室工作的物理学者发现了这一页,决定把它留作纪念,而且在下一年秋冬季发生的令人激动的事情之后,登在1957年12月的《今日物理》杂志的封面上,这个杂志是由美国物理学会出版的行业杂志。在这一页上李整齐地写满了符号和公式,偶而可见墨水的污渍。有趣的是它的内容。大约有一半公式是有关统计力学的,而另一半是有关弱相互作用以及宇称不守恒的。对于理论物理学家,在实验物理学家进行测量的时候,只能等待和即兴随写,而李就是在等待和即兴随写。

我想这样说是公正的,在1956年夏天和秋天,多数物理学家认为宇称不守恒的可能性很小。他们觉得,如果真有不守恒的效应,也是非常之小的。杨和李在他们的论文中提出来的观点是无可质疑的。但很难理解,为什么单单弱作用不具有守恒的宇称(顺便提一下,现在这还是很难理解的)。在那些接受挑战的实验物理学家小组中,有一个组是哥伦比亚大学—国家标准局的合作小组。他们认为,即使预

期得到最大成果的几率很小，按照物理学的优秀传统，用实验去检验一个普适的原理永远是必须做的。因此，他们全力以赴去做这项实验。在参加这项实验的物理学家中，有一位与杨和李有密切的工作关系，那就是吴健雄女士，哥伦比亚大学教授。吴女士(袁家骝的夫人)，与李和杨一样，出生在中国。她的科学事业也跟他们一样，是在美国进行的。她是他们两位的老朋友，也是李在哥伦比亚大学的同事。她由于做了极为精确的弱相互作用实验而闻名世界。正是她组织了与华盛顿国家标准局一批实验学家的合作，后者都是极低温技术的专家。实验中需要这种技术。实验论文最后完成的时候，在上面署名的有：吴女士，代表哥伦比亚大学；安布勒(E. Ambler)，海沃德(R. W. Hayward)，霍普斯(D. D. Hoppes)，赫德逊(R. P. Hudson)，代表标准局。与哥伦比亚大学—标准局实验几乎同时，芝加哥大学的一个小组，在泰勒格第教授(V. L. Telegdi)的领导下开始按李和杨在他们论文中建议的另一个方案做实验。十二月，哥伦比亚大学—标准局的实验数据明显地显示，在弱相互作用中宇称是不守恒的。这个小组是由极出色的、也是十分严谨的实验学家组成的，他们意识到他们可能正处在二十世纪物理学的一项重大发现的边缘。他们非常想在发表他们的结果之前，确定他们所做的每一件事都是极为正确的。同时，杨和李差不多每天都与吴女士保持着接触，而实验数据的积累使他们相信宇称守恒是不存在的。

一月四日，星期五，哥伦比亚大学的物理学家们聚集在一起共进“中国午餐”。“中国午餐”是哥伦比亚大学物理系自1953年李来到之后开始的一个传统做法(即使他不在时，他们也是这么做)。星期五是各个系举行学术讲座的日子，这种午餐会通常是在星期五在哥伦比亚大学附近几家好的中餐馆中的一家中举行，点十或十一道菜。李是一位美食家(这可能是由于他在二战期间在难民营里呆过。他在那里

一年只有米饭和辣椒)。所以，他在哥伦比亚大学时，总是由他点菜。在这个具有特别意义的星期五，李带来了重要的消息，他刚从吴女士那里得知，看来大概有把握说，哥伦比亚大学—标准局的实验证明宇称是不守恒的。他介绍了他和杨的思路。哥伦比亚大学的一位实验物理学家莱德曼(L. Lederman)教授也是周五中国午餐的积极分子。他在那时正在研究另外一种弱衰变，即  $\pi$  介子衰变。 $\pi$  介子衰变成另外的介子， $\mu$  子，后者又衰变成一个电子和两个中微子(中微子是一种没有质量的粒子。许多弱衰变都放出中微子。它与一般的物质的作用非常弱，直到 1953 年两位洛斯阿拉莫斯 (Los Alamos) 的科学家莱纳斯(F. Reines)和科万(C. L. Cowan Jr.)在汉福德 (Hanford) 完成他们的美妙实验之前，中微子与物质的作用事实上没有被观察到过。)莱德曼想到，如果宇称是不守恒的，他可以设计一个实验，如果运气好的话，可以证明在两种衰变中宇称都是不守恒的。那天晚上九点钟，他与伽温博士联系，伽温那时起就在哥伦比亚大学工作。他们两人便开始研究这一问题。十点一刻，他们想出如何去做这一实验。凌晨二时，便开始在哥伦比亚大学的加速器上取数据。事实上，他们认为已经看到了他们想看的现象，但在当时，设备中的一个部件烧了。周末使用来修复损坏(伽温使他的同伴吃惊，竟能自己动手在车间用车床把新的部件做好)。星期一下午实验设备又运转起来。在星期二清晨，他们的实验毫无疑问地证明了宇称守恒在弱相互作用中是不存在的。星期二上午六时，莱德曼打电话给李，宣布了这一消息。这是当时物理学家们之间很多这样的电话中的第一个。我想并不言过其实，如果说，到这一周的周末，美国每一位活跃在高能物理研究的物理学家，都听到了有关实验的情况。我记得，在星期三或星期四，我和一组物理学家在哈佛大学讨论一个从国家标准局传出的传闻(我们与这些实验组的任何一组没有直接的接触)。施温格教授(Julian Schwinger)是哈佛大学的首席理论物理学家，劝告我们，在最后的結果未知晓前，

不要轻易地去做结论。接着，一个电话打来。来自哥伦比亚大学的拉比教授(I. I. Rabi),告诉了他最后的结果。施温格回来就说：“先生们，我要向大自然致敬！”

接下来一月十五日，星期二，哥伦比亚大学物理系做了一件没有先例的事：为这一新发现举行了一次新闻发布会。拉比说道：“在某种意义上，一个相当完整的理论结构已从根本上被打碎，我们不知道这些碎片将来如何能再聚在一起。”这是一个清楚的宣告。于是宇称不守恒现在就正式被承认了。次日，《纽约时报》写了一篇编辑部文章，标题是《外表与真实》。文中解释了这项实验的巨大重要性。文章最后的一段话实在使现在在基本粒子领域内工作的每一个人感到了不小的讽刺；理论与实验间的鸿沟，如果有的话，在多数领域里，从1957年起扩大了。《纽约时报》写道：“人们相信，这件事(宇称不守恒的发现)移开了通往建立一个关于构成物质宇宙的基本单元的统一理论的主要路障。理论会是什么样子,也许还要化上二十年时间，但是物理学家们现在感到有信心，他们至少从现在的‘宇宙丛林’里找到了一条出路。”

迟在一月十七日，苏黎士理工学院(Eidgenössische Technische Hochschule)的泡利教授(Wolfgang Pauli)在一封给麻省理工学院韦斯可夫(V. F. Weisskopf)的信中表达了他关于宇称不守恒的怀疑。泡利生于维也纳，是二十世纪贡献极大的理论物理学家之一(他死于1958年)，是已故物理学家中最尖锐的理论物理批评家之一；然而在1931年，就是他第一个提出了中微子的存在的假设，来解释当时存在的弱作用力中的神秘，牵涉到能量的守恒。弱作用力是物理学中新思想的金矿。另一位维也纳人，韦斯可夫，自从希特勒在德国上台后，就在美国作教授，现在是日内瓦欧洲核子研究中心(CERN)的主任，他是

三十年代泡利的得意门生，与他的老师一直保持着经常的通信联系。泡利写道：“我不相信，上帝是个弱的左撇子。我准备拿一大笔钱打赌，实验一定会得出对称的结果。”一月二十七日，在实验的结果到达苏黎士之后，泡利又写信给韦斯可夫，这封信或许比任何东西都深刻地反映出，宇称守恒的观点已是多么深地嵌入到物理学家们的头脑中了。他写道：“在第一次冲击过去之后，我开始整理自己的思想。是的，这是非常戏剧性的。在二十一日，星期一，我准备在晚八时做一个有关中微子理论的讲座。五时，我收到了三份实验报告(两份是哥伦比亚大学的，另一份是差不多同时完成的芝加哥大学的)。……我并没感到那么震惊，上帝可能是左撇子。然而，当他强烈地表现他自己时，他仍然是左右对称的。简言之，现在现实的问题看来就是：为什么强相互作用是右左对称的呢？”

美国物理学会每年的年会都在一月底，在秋春学季之间召开。学会日程上的题目事先都要公布出来。通常是物理学家当时最感兴趣的问题，每一位会员可以做十分钟的报告，但事先要把报告的摘要交给学会秘书，而那些做出特别出色工作的物理学家则被邀请做较长时间的报告。然而，如果回头看看 1957 年会议的日程，一月三十日开幕，却完全没有关于宇称不守恒的内容；从 1957 年年会的日程看来，确实是十分一般的。宇称不守恒的题目之所以未被包括进日程，简单的原因是，所有的内容在十一月底的时候就定下来了，而那时不守恒的实验仍在进行之中。事实上，除此之外并没有别的原因。当会议开始的时候，第一批实验结果已经知晓。实验者们，和任何人一样，非常希望把实验结果公之于众。虽然传闻已经传开，而新闻发布会也在这之前不久开过，但是在其它领域工作的物理学家还没有了解到某些细节。此外，几乎每天还有新的结果出来。因此，就在会议的最后一天，星期六，组织了一次专门的会议，在纽约饭店举行，它创造了一个记

录，大约有三千位物理学家参加。学会常务秘书达罗博士(Karl K.Darrow)通常都是用他的文学风格去处理较难表达的物理学会的公报。他写道：“正式注册的到会人数是 3110 人，接近了 3206 人的记录，这是由美国物理学协会（American Institute of Physics）和我们以及它的创建办学会在一年前共同创造的。”达罗博士继续写道：“更令人吃惊的是，在专门报告在接受报告申请截止期后的论文的会议上，参加的人数创造了惊人的历史最高记录。会议期间，就在星期六下午，通常我们安排的那个最大的报告厅，被那么多听众占满，以致某些会员用尽除了把自己吊在吊灯上以外的方法挤在里面。这是因为黑板和谣传已把消息传开，说截止期后的几篇文章将要报导宇称不守恒的问题，而这一问题早在两周之前已经闯进了公众的视野。”这是一件大事。这次会议预定在两点钟召开，但在一时十五分的时候，饭店的大厅已坐满物理学家。我在十二时三十分到达，带着我的午餐，找到了一个座位。李并不那么幸运，过了好一会，看来他连报告厅都根本没法进去。这时，某些物理学家认出了他，让开了路。杨、莱德曼、泰勒格第(Telegdi)和吴女士发了言。有一些实验数据很新，在图表上，点和曲线只是很粗略地画上。推翻宇称守恒的证据就这样集中在这一个地方，在这么一间报告厅里被描绘出来，绝对令人信服，使人得到一种见证的感觉。科学的历史转折点就在这里。会间没有可能提问，之后在饭店前厅，我瞥见李和杨一眼，他们被热心的物理学家们团团包围，都想得到更多的信息。

在新的实验结果激励下，李和杨把统计力学完全放下，去研究事情会进一步发展成为什么样子。从一月份起，这方面的工作进展迅速，整整一年他们没有一个人再提出有关统计力学的任何想法。有一次李曾对我说起过，那年冬天，他有了一次奇特的经历，他和杨被邀参加一次统计力学的会议。在霍波肯（Hoboken）斯涕汶学院(Stevens

College in Hoboken)。其间，韦斯可夫问了李一个有关公式的问题，公式是由李和杨推导出来的。李说，他竭力回想，但还是一点也想不起来这个公式。正如他说：“什么印象都没有了。”那时，他和杨完全投入了弱相互作用的研究，关于统计力学的想法都消失了。事实上，在物理学会论文报告申请截止期后的专场会议之后，物理学家都承认宇称守恒是不对的了，在物理学方面，人们了解了所发生的事情，也就不会再有另外的想法了。

物理学会在复活节假日里举行的春季会议开会时，“宇称”已是一个被公认的领域。这次会议，日程上安排了一次宇称研讨会，发言人是李，吴女士，伽汶，泰勒格第和克劳(K. M. Crowe)。克劳的名字被加在发言人的名单里是很有趣的，因为他是来自斯坦福大学，他的名字的出现说明，在 1957 年春天美国各主要实验室，以及其它地方的实验室，都在努力地做宇称和弱相互作用的实验工作。李指出：“这是一个雪崩效应。”一旦发现宇称在某些弱衰变中被破坏，很明显，所有的弱衰变都要从这个观点出发去研究。因此，各种规模的实验室都有工作可做。像伯克莱 (Berkeley) 和布鲁克海文实验室，它们有加速器，能够产生奇异粒子，通过它们的衰变研究宇称不守恒，而那些习惯于用通常的放射性同位素的，则去研究放射衰变中的宇称不守恒问题。接下去的几个月，对物理学来说是愉快而富有成果的时期。1957 年 10 月，李和杨被授予诺贝尔奖。在下一期纽约物理学会时，也就是 1958 年 1 月，不光知道，而且确信无疑，宇称在所有确定的弱衰变中都是不守恒的。1955 年达立兹文章中关于  $\theta - \tau$  之谜的第一点细微的墨迹现在变成了丰硕的成果。

有关宇称的故事，值得一提的趣闻是由随后在布鲁克海文实验室工作的物理学家格劳金斯博士(L. Grodzins)最近提供的。他在翻阅某

些较老的物理学文献时，发现实际上早在 1928 年，在一项用放射性同位素做的实验中就已经观测到了宇称不守恒的效应。那年，三位在纽约大学工作的美国物理学家考克斯(R. T. Cox)，马克阿埃拉斯(C.G.McIlwraith)和库瑞梅耶(B.Kurrelmeyer)在他们有关镭衰变的一种放射性同位素的衰变数据中发现了一种效应，用今天的概念说，就是很清楚的宇称守恒的破坏。之后，考克斯的一位学生查斯(C. T. Chase)沿着这个线索进行了进一步的实验，但是使用了改进的技术。在 1930 年，他得出了结论，“不仅是在每一轮实验，而甚至每一轮的所有实验数据，除少数例外，都表现出了这个效应。”然而，那时，弱相互作用的研究是处在初期，没有理论需要这些结果。事实上，也就是早在 1927 年，匈牙利出生的物理学家维格勒(Engene Wigner 现在是普林斯顿大学的教授)提出了第一个在量子理论里有关宇称守恒的真正的数学公式。因而，这些实验结果没能去挑战一个已建立的、充分理解的理论。倒不如说，他们就像在真空中的宣言。只是在实验和理论物理各分支进行了几近三十年透彻的研究之后，最重要的，有了李和杨的工作，才使物理学家能够准确地理解那些早期实验的意义。

所有这一切，对物理学来说意味着什么呢？现在还是有问题，但是某些事情已经清楚。在哥伦比亚—国家标准局的实验里，所发现不仅只是宇称不守恒。另一个长久以来公认的原理，物理学家称之为“电荷共轭不变性”的原理也被证明不能成立。“电荷共轭不变性”是关于粒子变为反粒子的数学运算，例如，电子变成正电子。直到 1957 年，物理学家还相信，譬如说，一个由反物质构成的星系，其所有的物理特性(如光发射)与正物质构成的星系完全一样。如果这两个星系相撞，物质和反物质就互相湮灭成辐射(这样的过程已经多次在实验室中小规模地被观察到)。然而，当物质和反物质分开时，某个从星系外观察这两个星系的人说不出哪个是哪个。人们就是这样相信的。



新的实验证明这是不正确的。原则上，弱作用力可以区分粒子和反粒子。这是一个原先想不到的结果，而也不是由  $\theta - \tau$  之谜所提出的。在这两个看来已经十分确定的对称原理被推翻后，问题是：弱作用力是不是完全不能显示出一点对称？实际上，在 1956 年的夏天，杨和李曾设想一种可能性，在同一个时间可以有多个的对称被弱作用力所破坏。他们的这种想法是受到了欧米(Reinhard Oehme)给他们的一封信的启发而产生的，欧米是芝加哥大学的一位理论学家。他提出的问题是，在李和杨的第一篇论文中的某些概念是否可以在更普遍的情况下来考虑。在较深入地研究了这一问题之后，李和杨推测，原则上是可以想像有一种状态，如果首先用系统的镜像替代它（即宇称变换  $P$ ），随之又用它们的反粒子替代正粒子（即电荷共轭变换  $C$ ），或者先做  $C$  变换，再做  $P$  变换，至今所有的实验数据似乎都表明这一系统是守恒的。弱作用分别地破坏宇称和电荷共轭，但是这两种对称变换在一起，即两者的乘积  $CP$ ， $CP$  对称在所有的过程里都是守恒的。 $C$  和  $P$  仅在强作用中，如核力，分别是守恒的。正如泡利在 1957 年清楚地预见到的那样，对称性跟强作用力或弱作用力的关系已成为一个主要的理论问题，但是至今为了解决这个问题所取得的进展还是太少。

在宇称之年显现出来的另一项十分重要的结果是中微子理论的澄清和简化。泡利假定这个粒子的存在是为了拯救弱作用过程中的能量守恒理论。1929 年，以故韦尔教授(H. Weyl)，德国出生的数学家和物理学家(他在 1933 年至 1955 年在普林斯顿高等研究院工作)指出，已经有一个用在中微子上的极为简单和漂亮的数学理论，但就是要放弃宇称守恒。多年来，这个理论没被承认。在 1956 年的发现出现后，这项理论被李和杨以及俄国学者朗道(L. Landau)和巴基斯坦学者萨拉姆(A. Salam)所复活，他们都是独立做的工作。现在这项理论通过

了所有为此而做的实验的检验，于是成为大家都接受的中微子的数学描述。韦尔有一次亲自对戴森教授(F. J. Dyson)(另一位高等研究院的永久性成员)说，“我的工作一直是想把真实与漂亮的数学公式联系起来，当我要选择一个公式时我总是选择那个漂亮的。”遗憾的是，他在 1955 年 9 月 9 日去世，恰是在事情的发展复活了他的理论之前。由于 1956 和 1957 年的激动，许多在其它领域工作的物理学家的注意力都集中到弱相互作用的研究上去了。因此做出了许多重要的进展。但是，弱和强相互作用之间的关联依然像过去那样是个不解之谜。

纵然这一年是物理丰收之年，但是它并没有使李和杨的生活发生什么大的变化。1960 年，李从哥伦比亚大学转到位于普林斯顿的高等研究院工作。他和杨现在的办公室相邻，合作更为方便。在这几年里他们曾一起研究过各种各样的问题。他们两人都是说中国话和英语两种语言，但当他们一起工作的时候，他们几乎总是说中国话。虽然有时他们不知道某个物理名词的中文说法，中国话中夹杂英语，弄得旁听的人莫明其妙；还有，有时他们说英文：“噢，是这样。”作为一个物理学者，我曾多次无意中听到他们讨论工作的对话。如果谁的办公室靠近他们在普林斯顿或布鲁克海文的办公室，那不太可能听不到他们的讨论。他们做每一件事都十分热情，投入全部精力。他们感到极大愉快，互相比着进行计算，他们两位思维都极为敏捷，看他们或听他们讨论工作是一件令人兴奋，或者说是一种无穷享受。

今天他们在普林斯顿与自己的家庭平静地生活着。每一个人都有了一位可爱动人的妻子。杨的夫人，杜致礼，是他 1945 年在中国教书时的一位学生；李是在 1948 年遇到他的夫人秦惠的。当时秦正在芝加哥访问。李有两个儿子，一个九岁，一个五岁；杨有两个儿子，一个十岁，一个三岁。还有一个女儿。他们想尽可能多地把他们丰富

的中国传统传给他们的孩子们。尽管孩子们在摆满了珍贵的中国艺术品的家庭里长大，但当他们长大的时候，他们仍然强烈地倾向于美国儿童通常的兴趣。秦惠的父亲是一位画家，住在中国，李在普林斯顿的家中墙上的许多装饰品，如鸟啦，花啦，都是他们画的。李非常喜爱中国艺术。他对艺术的热情，仅次于物理学，如果你真想了解李就要去听他谈论艺术，这会使你感到极大愉快。我特别记得，1961年夏，我们在欧洲核子研究中心餐厅的一次讨论。那是在清晨，餐厅里几乎空无一人。李刚听说大都会博物馆就要举行一次中国博物馆若干收藏品的展览，那是1948到1949年从北京运到台湾去的。我对中国艺术的历史一无所知，于是他开始给我介绍。很快我的笔记本就记满了有关中国书法的重要年代和例子。当他讲话时，他很富表现力地使用他的双手(他和杨，在他们做计算时，如果没有黑板和纸笔，就用手指在空中写字；李告诉我，这是在战争时期养成的习惯，当时中国纸张非常缺乏)。而当他谈得越来越深入的时候，我们逐渐地吸引了一小批物理学者，大家从他那兴奋的表情上还以为他是在宣布一个新的发现呢。我们随后讨论了东方艺术的不同领域，并进行了争论，谈谈停停，几乎花了一天时间。杨也是一个钟情于中国艺术和中国哲学的人，偶然他也乐意做一些户外运动。他试过登山和滑雪。登山运动险些造成灾难。那是在1952年夏天，他在西雅图华盛顿大学访问，在那里登山。大学里的物理学家们许多都是有经验的登山者，他们说，杨天生的体质和平衡能力能使他成为一位出色的登山运动员；但在那次攀登中，小组里的一位成员，是位女性，在一个险峻的冰坡上滑倒，把杨也带着滑下去。幸运的是，他们被大学里知名的理论物理学家，一位熟练的登山者乌林(E. A. Uehling)拉住。这次事件未酿成大祸。

然而，说到底，杨和李是献身物理学的。当他们研究一个问题时，他们昼夜不停地工作，没有时间去别的事。普林斯顿的高等研究院

是他们工作的极好地方，因为他们在那里没有教学任务，能够把任意多的时间用在研究工作上。一次又一次，他们在普林斯顿大学和其它地方做了许多专门的讲演。他们的讲演极为清晰，极具魅力。杨曾写过，他把费米讲演的风格直接用在他自己的讲演中，李也是这样。杨写：“大家都知道，费米的讲演极为清晰。这是他的风格。每一个专题，他都是从头开始列举许多事例，尽量避免‘公式主义’（他常嘲笑那些复杂的公式是‘高级传教师’的）。他的论点极端简明给人以不费力的印象。但是这种印象是错误的。他的简明是充分准备的结果，也是仔细权衡各种不同表达方式的结果。”

像李和杨所做的那样水平的科研工作，要求相当强的自信。同时，所研究的问题本身就要求想要去解决问题的人极其谦虚。李在诺贝尔奖授奖仪式上也用同样的方式表达了在所研究的问题的复杂性和深刻性面前要具有的谦虚态度。这一仪式通常都是在晚餐和舞会时达到高潮。瑞典几所大学的学生被邀请参加。按照惯例，应有一位获奖人对大学生们讲话。大学生们决定，因为李与他们的年龄很接近，要听李的讲话。李在事先未被告知，也没有十分确定要讲什么。随后，他想到一个有趣的中国寓言，他说：

“我想给你们讲一个小故事，是取自中国的小说‘西游记’。讲的是一只猴子。这只猴子与其它猴子不同，是从石头里生出来的，因此他非常非常聪明。他自己碰巧对此也很清楚，于是整个故事就这样开始了。他雄心勃勃，自命不凡。开始他想当猴王。这一点他很容易就做到了。但是很快他就厌倦当猴子，甚至连猴王也不愿当了。现在他想当人了。经过年复一年地学人的习性，他穿得像人，说话像人，甚至，连他的外表都和人一样了。但是，他仍然不满足。现在他想学着当神仙了。他到了神山，经过了几百年又几百年的刻苦学习和研究，

他学会了做神仙。事实上，他学到了很大的魔法。譬如，他能一跳就走十万八千里。于是他要跳到天堂上去，而他只半跳就到了天堂。他要在那里当神仙。玉皇大帝开始不答应，但是这只猴子坚持不退让，玉皇大帝让步，封他当一个神仙，封号是‘齐天大圣’。然而，这只猴子仍然不满意。这一次他不光想当神仙，还要当玉皇大帝。玉皇大帝没有办法，只好与猴子打仗，真打了。可是这只猴子把整个天兵都打败了。玉皇大帝的最后一着，只好向如来佛求救。如来佛来了。他告诉这猴子，要想当玉皇大帝，就要有一定的资格。如来佛张开他的手，对猴子说，‘假如你要当玉皇大帝，你就要能跳进我的手掌，然后再跳出去’。猴子看着如来佛，它有大约 30 米高，心想，‘我一跳能走十万八千里，这样做很容易就可以当上玉皇大帝了’。于是他就跳进了如来佛的手掌，然后跳了一大跳想跳出手掌。为了保险，他跳了又跳。在跳了百万又百万年之后，这猴子觉得有点累了。最后他跳到一个地方，有五根巨大粉红色的柱子。他想这可能就是宇宙的边界了，柱子说明宇宙大小有限。他感到非常高兴，就在中间那根柱子上涂写，‘齐天大圣到此一游’，他非常轻松，非常愉快，开始往回跳。跳了很长时间，他回到了开始跳的地方，于是他自豪地要求当玉皇大帝。这时如来佛用他的另一只手把这猴子提起来指着那只张开的手掌，指给他看，在它中指根部，有猴子写的几个非常细小的字‘齐天大圣到此一游’。此后，在中国就有一个说法：‘纵有千头六臂，也跳不出如来佛的手心’。

“我们研究知识，可能会做出很大的进展。但是我们要记住，即使到了如来佛手指根部，我们离绝对真理还是非常远的。”

物理学家对于基本粒子物理的未来的看法各不相同。某些人觉得，可能要过一百年才能达到下一次真正的突破。他们指出，在牛顿力学和量子力学之间有将近三百年的时间间隔，其间曾有过各种各样

的数学和技术的发展；例如，用来描述量子理论的大多数数学直到十九世纪才发展出来。其他一些物理学家有这样的看法，二十世纪物理学的发展中发生的巨大加速，能够缩短突破之间的等待时间。现在在工作的物理学家的数目大概要比 1900 年前整个科学历史中的都多。自牛顿之后，相对论和量子力学这两项最伟大的概念的进步，发生在二十年之内，前者是在 1905 年，后者是在二十年代后期。这种现象恐怕不是偶然的。

杨和李不断地思考着这一问题。为了解决这些问题，他们极乐意从极其深奥的东方智慧的源泉《易经》中探根求底。此书最早的版本的年代是公元前 2000 年。从此它一直在发展中，代代东方的学者们，继续不断地对它进行阐释。该书现在的版本大概包括了孔夫子所做的许多工作。他在公元前 400 年前就对它作了重大阐释。易经包含有一系列抽象的预言诗句，有些地方还有注释，书中文字都伴有数学符号。使用易经的人要提出一个问题，然后取三个金属硬币(更古老的传统，是用五十根白蓍草。把一根蓍草放在一旁不动，其余的就排列成极为复杂的形式，成为一种算卦的形式)。在过去，用的都是中国传统的中间有一个方孔的青铜币，但是在普林斯顿则用美国的各种零用硬币并设计了正背系统，正面为阴，数值为 2，背面为阳，数值是 3。掷过三个钱币之后，把所有的数值加起来，可以是 9，8，7 或 6。这些数字与书中的符号相应，这些符号包含有长的和短的线，排成六边形，一共有六十四种基本的形状，是了解预言的钥匙。通常，结果都是相当美好的，偶然也有一些令人吃惊的。李有一次告诉我：“一些预言有时会使你的思想改变到新的方向。” 1959 年 11 月 26 日，他和杨查询易经，“在今后二十年里，基本粒子物理会不会有突破呢？”他们得到了以下部分答案：

“渐。女归吉，利贞。

山上有木，渐；君子以居贤德，善俗。

鸿渐于陆，夫征不复，妇孕不育，凶；利御寇。

鸿渐于逵，其羽可用为仪，吉。

鸿渐于陵，妇三岁不孕，终莫之胜，吉。”

1961年6月21日佩斯教授(A. Pais)，荷兰人，李和杨在高等研究院的同事，经过对占卜方法的仔细研究，查询易经，“存在着一个能把强、电磁和弱作用统一起来的原理吗？”他得到的部分答案是：

“需，须也；

.....

“需有孚，光亨，贞吉。

.....

“利涉大川，往有功也。

.....

“云上于天，需；君子以饮食宴乐。”

“注：当云彩在空中升起，那是要下雨的先兆。现在无所是事，只能等着下雨。与生活中的情形相似，只能由命运指使。在时机未成熟的时候，我们不能担忧并试图去干予事情的发展，去勾画未来。我们要静心地用食物、饮料增强体魄，用欢乐和愉快的心情增强头脑。这样，当命运注定来临时，我们就有所准备。”

李和杨就是怀着欢乐和愉快的心情在等待和工作着。

《纽约客》，1962年5月12日，  
第38卷，49—104。