

2016年诺奖得主索利斯的故事

施 郁

(复旦大学物理学系 200433)

2016年的诺贝尔物理学奖的一半授予华盛顿大学荣休教授索利斯(D. Thouless), 另一半授予普林斯顿大学教授霍尔丹(F. Haldane)和布朗大学教授科斯特利茨(J. Kosterlitz), 以表彰他们关于拓扑相变和物质拓扑相方面的理论发现。关于他们的获奖理由和科学背景已经有不少介绍。在这篇文章中, 作者在多方面资料的基础上, 重点讲述索利斯教授的故事, 探寻他的人生和学术道路以及历史传承。

少年索利斯

索利斯1934年出生于苏格兰的贝尔斯登, 在英格兰的剑桥长大, 因为他的父亲是剑桥大学的心理学家。索利斯就读于著名的温切斯特公学。这所学校有着六百多年的历史, 是英国历史最为悠久、具有最好的学术传统的预科学校。

索利斯当时的一位同学回忆说, 索利斯很聪明, 特别在数学方面, 当时数学考试卷上有加星号的难题, 意思是如果不能很快看出怎么做, 就不必在上面浪费时间。多数同学都不做, 而索利斯却总能做出来。

1952年从温切斯特公学毕业后, 索利斯进入剑桥大学三一学堂念本科。1955年取得学士学位后, 索利斯来到康奈尔大学攻读博士学位。

索利斯的导师贝特和派尔斯

索利斯在康奈尔大学的导师是贝特(H. Bethe, 1906~2005)。贝特1928年获得博士学位。他早期在德国工作时, 为固体物理的发展做过奠基性的工作, 包括一维量子反铁磁模型(霍尔丹得奖的一部分工作就是有关这个模型)。希特勒上台后, 贝特因为是犹太人, 所以1933年去了英国, 两年后赴美国康奈尔大学任教。他1938年提出恒星能源的原子核反应理论, 由此于1967年获得诺贝尔物理学奖。这是历史上天体物理成

就首次获得诺贝尔奖。贝特也是第二次世界大战期间美国研制原子弹的曼哈顿计划的关键科学家之一, 在制造原子弹的洛斯·阿拉莫斯实验室任理论部主任。

贝特的一位好朋友是同为犹太人的派尔斯(R. Peierls, 1907~1995), 他后来成为索利斯的博士后导师。贝特和派尔斯都是索末菲(A. Sommerfeld)的学生。索末菲是德国近代理论物理鼻祖之一, 另一位是玻恩(M. Born)。索末菲是历史上获得最多诺贝尔物理学奖提名的人, 一生获得84次提名, 但终究没有得奖。不过, 索末菲培养了很多人才, 其中有几位诺贝尔奖得主, 包括量子力学的创始人海森伯(W. Heisenberg)和泡利(W. Pauli), 以及德拜(P. Debye), 还有贝特。

1928年, 索末菲因为要去美国学术访问一年, 就建议派尔斯去跟随莱比锡的海森伯。一年后, 派尔斯在莱比锡取得博士学位, 随后到剑桥大学留学。鉴于德国的政治局势越来越排斥犹太人, 派尔斯便留在了英国。其中有一年派尔斯与贝特在曼彻斯特大学同事。原子核的裂变发现之后, 1940年, 派尔斯与流亡到英国的另一位犹太人弗里希(O. Frisch, 核裂变的发现就有他的贡献)计算表明, 只需要1千克的铀235即可实现原子弹, 纠正了之前认为需要几吨铀235的误解。后来英国参加美国曼哈顿计划, 派尔斯也到洛斯·阿拉莫斯实验室工作。

贝特和派尔斯都对二十世纪物理学作出了很多贡献。二战以后他们分别回到康奈尔大学和伯明翰大学, 继续理论研究和人才培养事业。他们还形成一个“伯明翰-康奈尔管道”, 互相输送博士后和青年学者。这些人中包括著名科学家戴森(F. Dyson), 以及索利斯。

贝特笔下的索利斯

贝特与派尔斯一生保持着亲密的友谊和频繁的通

信。1958年，贝特在一封给派尔斯的信中写道：“索利斯发展了一个实际的单粒子能量的理论，发现单粒子能量比布吕克纳 (Brueckner) 理论中所用的高。”这个工作就是索利斯的博士论文“微扰方法在原子核物质理论中的应用”。在1972年出版的《多体系统量子力学》一书的序言中，索利斯特别感谢贝特激发了他对这个领域的兴趣。我们知道，物质由原子组成，原子由原子核和电子组成，原子核有质子和中子组成。氢原子核就是一个质子，但是一般的原子核有若干个质子和中子。它们是怎么相互作用，怎么组成原子核的，这就是原子核的多体问题。多体，顾名思义，就是多个粒子的意思，多体问题就是关于大量微观粒子组成的系统的问题，其研究工具就是多体系统量子力学，因为微观粒子服从量子力学这一基本物理规律。这个领域就是索利斯当时研究的领域。

派尔斯笔下的索利斯

1958年获博士学位后，索利斯在美国加州的劳伦斯·伯克利实验室工作了一年，然后作为博士后研究员来到派尔斯处。他与派尔斯合作，研究原子核中核子的集体运动。索利斯还研究了原子核的转动，给出了变形原子核的转动惯量公式。

在1985年出版的自传中，派尔斯曾写道，索利斯“在原子核物理方面作了重要工作，特别是多粒子问题的严格结果，这个问题很多称职的理论家因为想得不够深入而做不出来。他后来将他在多体问题上的特长用到固体物理。我尊重他的判断，因为当我们关于某个问题意见不一时，经验告诉我大概他是对的”。

正如派尔斯提到的，索利斯的研究兴趣逐步转到固体物理领域。固体物理主要是从微观粒子角度，用量子力学原理研究金属、绝缘体、超导体等，现在更多地被称作凝聚态物理，因为这一学科也研究液体、超流体等。

派尔斯还有很多关于索利斯的有趣回忆：“他很害羞和笨拙，动手能力不是很强。一个典型例子是他搬来伯明翰时的经历。他和妻子从他岳父母处借了些旧家具，放在一个旧拖车上，用小汽车拖。在路上拖车翻了，他好不容易采取紧急措施收好家具。还有，

他的妻子生孩子前，他将汽车停在房子前，准备随时送她去医院。但是这个时刻到来时，车子却发动不了，他只好叫醒邻居开车。”索利斯在伯明翰时期的老同事斯汀康比 (R. Stinchcomb) 认为，这些描写都是索利斯生活中的典型事例。

科斯特利茨与索利斯的首次相遇

科斯特利茨1942年生于苏格兰的阿伯丁，其父为阿伯丁大学的著名生物化学家科斯特利茨 (H. Kosterlitz)。

1962年，科斯特利茨进入剑桥大学冈维尔与凯斯学院。他一年级第一次上“数学物理方法”课时，课前发现有个孩子模样的人走进教室，觉得这孩子太年轻了，不适合听这个课。结果这孩子走到讲台上讲起来！

原来，这个孩子模样的人就是任课老师索利斯。他1961年已经从伯明翰来到剑桥大学做讲师。

科斯特利茨1965年和1966年在剑桥大学分别获学士和硕士学位，1969年在牛津大学布雷齐诺斯学院获得高能物理方面的博士学位，后去意大利都灵做博士后研究。

索利斯与伊辛模型

1965年，索利斯又回到伯明翰大学，担任数学物理学教授，也就是接任了派尔斯的职位。派尔斯已经于1963年离开伯明翰，去了牛津大学。

1969年，索利斯发表了一篇论文，是有关伊辛模型 (Ising Model) 的。伊辛模型是一种磁体模型。磁体模型是描述相变的常用模型。

1966年，康奈尔大学的默明 (D. Mermin) 和瓦格纳 (H. Wagner) 以及贝尔实验室的霍恩伯格 (P. Hohenberg) 证明，如果物理特性 (比如磁性方向) 可以连续变化，那么只要温度不是绝对零度，二维或二维以下不发生相变，因为这时混乱程度总能战胜能量的改变。但是伊辛模型是一种特殊的磁体模型，其中每个原子的磁性方向不是空间或平面上的任意方向，而只能是上下两个方向。对于伊辛模型，上面关于相变的结论有所改变，一维没有相变，但是二维有相变。

这正是索利斯的博士后导师派尔斯在 1936 年证明的。

索利斯 1969 年这篇关于伊辛模型的文章中，所署的工作单位是纽约州立大学石溪分校理论物理研究所，但注明是暂时离开伯明翰，说明他当时在石溪做了较长时间的访问。这个研究所是杨振宁 1966 年创办并主持的。杨先生曾告诉笔者：“索利斯是布朗 (G. Brown) 的好朋友。”原子核与天体物理学家布朗是这个研究所的教授，也曾在派尔斯指导下在伯明翰工作多年。1968 年，他被杨先生聘到石溪。后来他与贝特长期合作研究。

1969 年索利斯在石溪的时候，去贝尔实验室访问了安德森 (P. Anderson)。安德森是凝聚态物理的大师，1977 年与他的导师范弗利克 (J. van Vleck) 及英国物理学家莫特 (N. Mott) 分享诺贝尔物理学奖。他 1967 至 1975 年在剑桥大学任兼职教授期间，把固体物理理论组改名为凝聚态物理理论组，这就是“凝聚态物理”这个名词的来源。

索利斯访问安德森时，安德森正在研究金属中掺了带磁性的杂质的行为，发现可以等效于一维伊辛模型的一种变体，其中原子之间的耦合不局限于最近的邻居，而是与距离的平方成反比。当时人们知道，存在比这种耦合衰减快的情况，没有相变；也有比这种耦合衰减慢的情况，有相变。安德森问索利斯是否了解这种中间情况。

索利斯回到石溪后解决了这个问题。他用的方法是考虑磁畴壁的影响，磁畴壁是磁性方向都朝某个方向的若干相连的原子与磁性方向朝另一个方向的一些相连原子之间的分界。考虑所有可能的磁畴壁带来的总能量和总的熵，索利斯发现，这个模型在绝对零度之上有相变。

这项研究为此次获得诺贝尔奖的拓扑相变工作打下了基础。可惜诺贝尔奖官方材料里没有提这个工作，笔者认为它可以作为索利斯得奖的成就之一。

科斯特利茨与索利斯重逢

1971 年，科斯特利茨来到伯明翰做第二期博士后。在这里，他与索利斯重逢了。他决定从高能物理转到凝聚态物理方面，于是开始与索利斯合作。

索利斯在 2013 年曾回忆：“伯明翰之前没有对超导超流作出特别重要的贡献，直到我和科斯特利茨合作的我最著名的工作。对我来说，科斯特利茨来做博士后来得正是时候。”

科斯特利茨说索利斯最喜欢解决别人解决不了的难题，他还有一些有趣的回忆：“伯明翰的大多数同事都害怕索利斯，觉得难以与他打交道，因为以他的标准，其他人都是傻瓜，而他并不乐于容忍傻瓜。有一次我在他办公室里，他对我讲某个东西。我鼓起勇气说，大卫，对不起，我不得不打断你，我真的一点都听不懂，您能不能回到一开始？”终于，他们不但开始合作研究，两个家庭还建立起了友谊。

索利斯的家庭情况是怎样的？1958 年与比他小三岁的英国同胞玛格丽特 (Margaret) 结婚。玛格丽特是学病毒学的，他们在康奈尔认识。索利斯和玛格丽特有 3 个小孩，麦克 (Michael) 生于 1960 年，克里斯托弗 (Christopher) 生于 1961 年，海伦 (Helen) 生于 1972 年。他们家里没有电视，索利斯喜欢给孩子们念儿童书，比如兰塞姆 (A. Ransome) 的《燕子与亚马孙》(Swallows and Amazons) 系列，通常是每天一章，在孩子们的请求下可以是两三章。家庭度假往往与索利斯参加会议重合在一起。有趣的是，如果是在欧洲，他们开着行卧两用汽车去，夜间在里面过宿，从来不住旅馆。

索利斯与科斯特利茨提出拓扑相变

1971 年科斯特利茨来到伯明翰时，索利斯正在伯明翰开一门关于超流与超导的研究生课程。超流是没有粘滞的流体现象，液态氦在极低温时就是超流体。超导是电子的超流，因为带电，所以是电阻为零的导电。虽然超流和超导的微观机制要用到量子力学，但是相变行为可以用前面所解释的能量与混乱度的竞争来描述，不需要量子力学。

索利斯开的课程介绍了理论上的超流薄膜，也就是二维超流，它的相变性质与二维 XY 模型是类似的。根据上面说的相变对维度的依赖以及韦格纳 (F. Wegner) 专门的严格证明，二维 XY 在绝对零度之上没有相变。

索利斯在解释理论上超流薄膜的涡旋能量时，意识到与两年前研究伊辛模型变体的方法可以用到这里。

于是，索利斯和科斯特利茨合作研究了二维系统相变的可能。他们发现，涡旋扮演关键角色。涡旋是绕着一个点或者一个轴的流动，或者某种物理性质（比如 XY 磁模型中不同原子的磁性方向）随角度变化。有两种可能的相，高温相是有自由的涡旋，低温相是旋转方向相反的涡旋两两束缚成对。随着温度的不同，这两个相的自由能谁高谁低会发生变化，导致在绝对零度之上的某个温度发生相变。

这个研究工作就是今年诺贝尔奖所嘉奖的拓扑相变，又以他们的姓氏首字母命名为 KT 相变或被称为科斯特利茨 - 索利斯相变。

在索利斯和科斯特利茨发现拓扑相变前一年，苏联的贝热津斯基 (V. Berezinskii, 1981 年去世) 提出 XY 模型中涡旋激发的重要性。大概由于有些科学家对贝热津斯基工作的强调，KT 相变还被称为 BKT 相变。但是，其实贝热津斯基没有得出相变的结论。

完成 KT 相变研究后，科斯特利茨在康奈尔大学工作了一段时间，1974 年回到伯明翰大学任教。

索利斯来到美国

20 世纪 70 年代，由于科研经费的原因，英国有很大的智力流失，不少人才流往美国。1970 年末，索利斯得到美国的职位。当时索利斯觉得有不离开的理由，去见校长，校长却说：去吧，您很幸运。

1979 年，索利斯去了美国，在耶鲁大学担任了一年的应用科学教授后，前往西雅图的华盛顿大学任教授，一直到 2003 年成为荣休教授。夫人玛格丽特在同一所大学的病理生物学系任教。1983 至 1985 年，索利斯还曾经在剑桥大学做过两年皇家学会研究教授。笔者听说，当时剑桥大学想把索利斯留下长期任教，但是因不能给他夫人提供合适职位而作罢。

科斯特利茨 1982 年也去了美国，任布朗大学教授至今。

20 世纪 80 年代，索利斯与合作者提出，量子霍尔效应的量子化起源于拓扑，对应的整数是所谓陈省身数。这就是索利斯获得诺贝尔奖的另一部分成就。

荣誉

索利斯是个谦虚的绅士。他的一位英国老同事说，索利斯对于关系网毫无兴趣，而这可能推迟了他受到足够的重视，人们慢慢才认识到他的天才和他对物理的深刻理解。

索利斯 1979 年当选为皇家科学院院士，1995 年当选为美国科学院院士。1990 年，索利斯因为无序和低维系统的研究成就获得沃尔夫奖 (Wolf Prize)，这是仅次于诺贝尔奖的物理学奖项。2000 年他“因为拓扑相变以及对理解无序系统和自旋玻璃的贡献”获得美国物理学会的翁萨格奖 (Lars Onsager Prize)，这是统计物理学的大奖。科斯特利茨“因为拓扑相变以及对它的重整化群分析”，也于 2000 年获得美国物理学会的翁萨格奖。

因为 2016 年 3 位科学家获得诺贝尔物理学奖，剑桥大学校友或教师的获奖人数增加 3 人而达到 95 人；伯明翰大学增加 2 人而达到 8 人；华盛顿大学达到 7 人；布朗大学达到 8 人；普林斯顿大学达到 42 人。

