

对话诺贝尔物理学奖得主 Anthony J. Leggett 教授

Anthony J. Leggett博士, 美国科学院院士, 美国伊利诺斯大学香槟分校和上海交通大学物理学教授, 主要从事超导超流体领域的研究, 因其在超流体方面的开创性工作获得2003年诺贝尔物理学奖. Leggett教授是国际学术界公认的量子物理学领袖, 领导了宏观耗散系统的量子物理研究方向, 倡导使用凝聚态系统来验证量子力学的基石, 关注使用约瑟夫森器件等特殊的凝聚态物质系统来研究量子理论体系外推到宏观层次的可行性.

Leggett教授被授予多项荣誉以及科学奖项, 2003年诺贝尔物理学奖、2002/2003年沃尔夫物理学奖、1999年Eugene Feenberg纪念勋章、1992年保罗·狄拉克奖章、1980年英国皇家学会会员、1975年麦克斯韦奖等. 他因在物理学上的杰出贡献被英国女王伊丽莎白二世授予爵士称号.

Leggett教授热衷于与年轻学子及物理学爱好者分享他的物理思想、科学理念和人生及科研经历. 过去几年, 他一直在上海为本科生和研究生讲授超导和超流体课. 2018年6月值Leggett教授在上海交通大学讲学之际, 《科学通报》编辑部对其进行了采访.

《科学通报》: 您因在超流体领域的杰出工作荣获了2003年度诺贝尔物理学奖, 请问您年轻时为什么选择超流体作为研究方向?

Leggett: 原因很简单. 我研究生阶段以及大部分博士后阶段的研究工作都是关于这一特殊的物质——液氦3. 当时发表了几篇论文, 所以对这个领域相当了解, 不局限于这个体系的实验性质, 我也了解其他科学家提出的理论. 有意思的是, 我设法提出了一个重要想法: 在极低的温度下, 液氦3可能表现得像金属, 变成超导体. 换句话说, 电子会形成对, 进而呈现出一些独特性质, 如超流性等. 我不了解核磁共振的标准理论, 但我知道需要弄懂什么. 许多人也进入这个研究领域, 他们也不了解核磁共振的理论或标准理论, 但是在很多情况下, 他们被带入了错误的方向. 所以我觉得我很幸运.

《科学通报》: 随着科学研究的不断深入, 您认为超流体氦3仍是一个有趣的、重要的问题吗? 它对未来的研究或者认知会产生什么影响?

Leggett: 关于这个特殊的体系——超流体氦3——有很多有趣的问题, 但从某种意义上说, 我并不认为这些很重要. 在某种意义上, 过去40年来超流体氦3最重要的问题在于库珀对(Copper pair)的形成机理. 不仅是我们认为的大多数普通超导体中的简单状态, 还包括所谓的奇特状



与Anthony J. Leggett教授访谈合影
(左起为敖平, 李灿灿, Anthony J. Leggett, 孙扬;
摄影: S. K. Ghorui博士)

态(exotic state). 普通的超导体中形成的库珀对就是两个彼此强相关的电子, 但是库珀对的内部结构却非常简单, 它的总自旋为零. 对于超流体氦3, 是总自旋为1的库珀对. 虽然这是在实验之前预言的, 但在我们得到真实的物理结果之前, 人们并没有意识到这是多么有趣. 所以我认为, 从某种意义上说, 超流氦3本身不是那么重要, 重要的是它对其他更复杂的系统的启示.

《科学通报》: 中国拥有世界上人数众多的、勤奋的科学家, 中国科学家和大众对于诺贝尔奖有着特殊情结. 继2015年屠呦呦研究员首次获得诺贝尔生理学或医学奖以来, 中国科学家对其他领域的获奖也充满期待. 您认为中国本土物理学家距离诺贝尔物理学奖还有多远?

Leggett: 首先, 有许多诺贝尔奖问鼎者在中国接受过培训; 或者说, 虽然目前诺贝尔物理学奖没有颁发给在中国完成的工作, 但是很多获奖的工作是由中国人完成的. 中国有很多年轻的杰出学者, 我认为在未来几年他们做的一些工作获得诺贝尔物理学奖的机会很大. 但是如果提高这种概率, 我认为必须找到一些方法缓解科学家在职业生涯中最具创造性阶段的压力, 让他们以更轻松的方式工作.

下面我说的情况不仅发生在中国, 也发生在美国等其他国家, 但在中国表现更为明显一些. 比如, 如果研究生想获得良好的博士后职位, 他们必须在*Science*或*Nature*或其他国际知名期刊上发表论文. 博士后为了获得一个好的教职, 亦是如此. 这太可怕了. 如果强迫科学家把注意力放在*Science*或*Nature*或其他期刊上发表文章, 那么短期内, 他们所能做的就是跟风那些所谓的热门问题. 事实上, 最好的科学问题都不是热门的, 它们需要花费时间去研究.

或许他们会研究那些花上2~4年一定能解决的问题,但这不是研究物理学的方法,当然也不会获得诺贝尔奖。坦率地说,我总是以为自己非常幸运。不仅因为我知道我该做什么,还得益于我在英国萨塞克斯大学(Sussex University)的工作。我在这所大学的主要工作是教学,我并不觉得我必须要到知名期刊发表论文。虽然大学也鼓励发表文章,鼓励我在周末、晚上等做研究,并给予我使用图书馆设施和其他辅助设施的便利,但是我的工作主要是教学而非做研究。如果不是这样的话,我或许不会获得诺贝尔奖。在中国如此激烈的竞争环境中,我不知道如何复制这种状况。

《科学通报》:我们可以与物理学家或者具有很好的数学知识的人士用数学语言轻松地讨论量子力学。但是对于非物理专业的人士,或许很难让他们相信量子力学,这多半是因为对量子力学结果的实际观测的解释非常特殊。您能谈谈这个问题吗?

Leggett:这个问题已经存在90年了,我不认为我们在这方面取得了很大进展。虽然量子力学已经取得了令人难以置信的成功,不仅仅是在它最初提出的领域(基本上是原子分子物理学等),还在比这更广泛的领域。而且到目前为止,我们也没有发现证据表明它出错了。

想象一下,我遇到了一个从公元3000年穿越回来的时间旅行者,并问他生活在公元3000年的人对量子力学有什么看法?在我看来,他的回答有两种可能性。

一种可能是:他向我保证即使在公元3000年,人们仍然相信量子力学基本上是对物质世界的完整描述。当然,到那个时候,人们对物质世界的理解将会发生相当大的变化。如果他真的穿越回来告诉我这些,那么,我必须决定如何解释量子力学的成功。在这种情况下,我想我可能会采取某种极简主义者的观点。也就是说,我只是将量子力学视为一种“配方”,它只不过是我们在实验错误为代价发现的一个“配方”,总是能给我们带来符合观察的“正确答案”。所以,我甚至不会试图超越这个解释。这只是一个“配方”,必须接受这个事实。虽然人们正在努力做更多的事情,但前景似乎相当令人沮丧。这是一个相当悲观的观点。

另一种可能是:从公元3000年穿越回来的旅行者告诉我,没有人相信量子力学了。我个人比较倾向于这种观点。在上千年的历史演化中,物理学发生了一次次重大革命,甚至在公元3000年时提出的问题将与今天的问题完全不同。我不知道这场革命或这些革命会是什么样子,但是我坚信无论它(们)以什么样的形式出现,都极有可能不仅修正量子力学的概念,而且还包括我们关于时间之矢的看法。我认为这是另一个还没有真正理解的、很大的谜团。我知道有些人,比如已故的史蒂芬·霍金等完全相信时间之矢。但我认为时间之矢很玄妙,操纵时间之矢听起来就像科幻小说一样,人们未来操纵时间之矢的可能性极小。举个简单的例子,假设犯罪已经发生了,警方想知道到底

是谁犯了罪。他们拥有真正能够将时间逆转的CCD (charge-coupled device)相机的可能性极低,因为这违背了物理学。

《科学通报》:您提到时间之矢(时光倒流),再一次勾起了我们的好奇心。您能介绍更详细点吗?

Leggett:这有点类似于天气预报。现在我们对预测未来几个小时的天气有一定的信心,对未来几天或更长时间的天气预报的信心会有所下降,没有人会对明年此时的天气做出任何猜测。我认为可以想象,我们可能会获得一个位置让我们有理由相信时间可以倒退一个特定时间;如果超越这个时间,将变得不那么明朗;如果试着倒退几年,将会失去一切。操纵时间之矢是个大胆疯狂的猜测。我认为这只是想象。

《科学通报》:近二三十年,高温超导已成为热门话题。虽然在这个领域内集中了一大批甚至可以说比其他领域更多的优秀专家学者,他们从不同角度进行了大量实验,但是对于形成高温超导的理论机制却没有统一的看法。为什么目前还不能解决铜氧化物超导体的问题?

Leggett:我觉得一部分原因与这些材料本身有关。以传统的超导体为例,比如铝或者铝酸盐等,它们是体超导体,其超导性是相当强健(robust)的,可以用很多的方式将其打乱而不改变其超导性。实际上,最令人叹为观止的是,可以完全打乱其晶格结构但仍然具有超导性。类似的材料还有超玻璃等。

对于理解传统超导体非常有帮助的一点是,转变温度与费米温度的比通常很低,也许只有千分之一。这意味着人们可以忘记高能情况下发生的事情,而完全关注低温下发生的事情。

而新型超导体的超导性看起来不是那么强健,对于各种扰动等非常敏感,这意味着必须不断修改并更新实验数据库,由此带来的结果是你会经常发现实验的结果不那么可信。研究这个问题的前十年,由于科学家们并没有意识到所有这些困难,因此他们声称实验过程中存在某些扰动实验数据的杂质。这意味着我们无法百分之百信任现有的实验数据。其次,转变温度与费米能量的比并不那么大,该比值有可能会增长。此外,我们明确知道与高能过程有关的许多性质本身都对超导的形成敏感。

这是不是意味着一种超越BCS(Bardeen-Cooper-Schrieffer)的理论?从实验上来说,确实是这样。例如,我注意到当某种特定金属变得超导时,其光吸收会改变5%。对于某些铜氧化物超导体来说,是这样的。这是否意味着高能态更重要?不一定。如果仔细研究它们之间的转换,会发现有可能是低能态发生了一些改变,也可能是高能态,或者是介于二者之间的状态。我认为这是一个难点。

《科学通报》:在您看来,在传统超导和高温超导之

间是否存在一种统一理论?

Leggett: 是的. 如果你在1952年问我关于传统超导体的问题, 我会持怀疑的态度. 但是, 近几年确实出现了一些理论. 所以, 我认为完全有可能存在一种统一理论. 从某种意义上说, 人们可能需要新的视角来看待这个问题. 如果你问我如何在铜氧化物超导体方面取得进步, 我认为人们需要做的是找出真相, 这是一个Yes/No的问题, 可以通过实验来回答这个问题, 而不必过多地依赖微观理论. 过去, 人们在这方面取得了一些成功. 例如, 在铜氧化物超导体的早期, 人们提出的问题是, 我们能否简单地通过采用著名的金兹堡-朗道(Ginzburg-Landau)理论并对其进行修改来解释铜氧化物超导体的宏观电动力学性质? 我认为很多人的答案是Yes. 他们做出了预测, 而且得到了实验证实. 人们并不需要了解所发生的一切. 有这种唯象的宏观理论, 好像一切都是行得通的. 第二个问题基本上是一个Yes/No的问题. 我们不知道传统超导体的对称性是什么, 也不知道相对波函数的结构是什么. 非常幸运的是, 事实证明, 我们可以用几个实验来确定. 我对我提出的第三个问题——形成超导的能源在哪里——非常热衷, 也试图让我实验室的同事们在这方面努力, 这有点技术性. 但最终, 一切都是库仑能(Coulomb energy). 不过, 必须将其与动能区分开. 所以, 事实证明可以用不同波矢、不同频率波动的贡献的总和表示库仑能. 这不完全是个Yes/No的问题, 这是个不同实验可以提供不同答案的问题. 所以我一直试图鼓励政府部门的同事现在就关注这个问题. 回过来看这些问题, 你会发现所有这些问题的有趣之处在于, 基本上都可以通过实验直接回答.

《科学通报》: *Nature*, *Science*等国际顶级期刊吸引

了众多科学家投稿, 发表了一大批重要成果, 在国际上引起了广泛的关注. 作为一名科研工作者, 您认为应该如何提升期刊的国际影响力?

Leggett: *Nature*和*Science*之所以能成为顶尖杂志, 我认为主要是因为高的评审标准, 我不太了解*Nature*, 但*Science*, 它们的评审标准确实相当高, 至少公众是这么认为的. 我想编辑部在某种程度上可以控制的因素之一是编辑和审阅的质量——我认为你们已经做了这方面的工作——为接受文章设定相当高的标准非常重要, 期刊也将会从中获得回报. 尝试去限制接受论文的数量, 并使它成为一个精品期刊. 总的来说, 如果想成为像*Nature*和*Science*这样的顶级期刊, 必须设定相当高的评审标准. 此外, 如果你们敢于冒险的话, 或许你们可以保留期刊的名字, 像*Physical Review*创办子刊*Physical Review X*一样, 创办一个新的期刊, 并设定较高标准. 无论做什么, 都必须有耐心. 当然, 还得敢于并且有能力承担风险.

《科学通报》: 您发表文章时, 如何选择期刊?

Leggett: 我对发表文章的期刊有特定的喜好, 我愿意付费在一些物理刊物上发表文章. 例如, 我写的一篇关于超流体氦3是液态磁体论文, 其中舍去了大量不必要的论证, 并使它变得简短有力. 通常这类文章会给出一些新的观点, 虽然文章短小但会为读者留下足够的想象空间.

事实上, 很多获得诺贝尔奖的科学家, 他们发表在国际顶尖期刊上的论文并不多, 其中有些论文没有发表在所谓高影响因子的刊物上, 甚至还有论文并未发表在英文刊物上. 比如说, 荣获2015年度诺贝尔生理学或医学奖的中国科学家屠呦呦, 其获得诺贝尔奖的成果就是首次发表在《科学通报》上.

致谢 特别感谢上海大学敖平教授对本次访谈及稿件修改给予的大力支持.

李灿灿¹, 孙扬²

1. 《中国科学》杂志社, 北京 100717;
2. 上海交通大学物理与天文学院, 上海 200240