
中国科学家发现基于外尔轨道的三维量子霍尔效应

作者：黄辛 龚凡 来源：中国科学报

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/3382.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

中国科学家发现基于外尔轨道的三维量子霍尔效应。你说这么薄算二维吗？复旦大学物理学系教授修发贤拿起一张A4纸：这个厚度最起码已经到几十微米了，但真正的二维是几个原子层厚，仅有几纳米，是纸张厚度的万分之一。

量子霍尔效应是20世纪以来凝聚态物理领域最重要的科学发现之一，迄今已有4个诺贝尔奖与其直接相关。但100多年来，科学家们对量子霍尔效应的研究仍停留于二维体系，从未涉足三维领域。

修发贤课题组近日在该领域实现突破，在拓扑半金属砷化镉纳米片中观测到了由外尔轨道形成的新型三维量子霍尔效应的直接证据，迈出了从二维到三维的关键一步。

12月18日，相关研究成果在线发表于《自然》。

给电子定规矩

三维量子霍尔效应真的存在吗

早在130多年前，美国物理学家霍尔就发现，对通电的导体加上垂直于电流方向的磁场，电子的运动轨迹将发生偏转，在导体的纵向方向产生电压，这个电磁现象就是霍尔效应。如果将电子限制在二维平面内，在强大的磁场作用下，电子的运动可以在导体边缘做一维运动，变得讲规则守秩序。

但以往的实验证明，量子霍尔效应只会在二维或者准二维体系中发生。比如说这间屋子，除了上表面、下表面，中间还存在一个空间。修发贤用手上下比划着。人们知道，在天花板或者地面上，电子可以沿着边界线有条不紊地做着规则运动，一列朝前，一列向后，像是两列在各自轨道上疾驰的列车。那么，在立体空间中呢？

三维体系中存在量子霍尔效应吗？如果有，电子的运动机制是什么？

观测到量子霍尔效应

但电子运动机制并不明确

6年前，修发贤加入复旦大学物理学系。2014年，在拓扑半金属领域，他选择了材料体系非常好

的砷化镓试着研究一下，谁料一发不可收拾。从大块的体材料，到大片的薄膜，再到纳米类结构和纳米单晶，他带着学生们孜孜不倦地深耕于此，乐此不疲。

我们在砷化镓纳米片中看到这一现象时非常震惊，三维体系里边怎么会出出现量子霍尔效应?2016年10月，修发贤及其团队第一次用高质量的三维砷化镓纳米片观测到量子霍尔效应时，就像目睹汽车飞到空中那样又惊又喜。

很快，他们的这一发现发表在了《自然—通讯》上。随后，在样品制备过程中借鉴修发贤团队前期已发表的经验，日本和美国也有科学家在同样的体系中观测到了这一效应。但遗憾的是，基于当时的实验结果，实际的电子运动机制并不明确。

课题组提出了他们的猜想：一种可能的方式是从上表面到下表面的体态穿越，电子做了垂直运动；另一种可能是电子在上下两个表面，即在两个二维体系中，分别独立形成了量子霍尔效应。

研究人员决定打破砂锅问到底。但是，面对千分之一根头发丝粗细的实验材料和快如闪电的电子运动速度，这实验该怎么做？

把房子放歪

发现来源于外尔轨道的运动机制

我们把‘房子’放歪了！实验材料虽小，灵感却可以从日常生活而来。修发贤课题组想了一个办法，他们创新性地利用楔形样品实现可控的厚度变化。屋顶被倾斜了，房子内部上下表面的距离就会发生变化。修发贤比划出一个横倒的梯形。

通过测量量子霍尔平台出现的磁场，可以用公式推算出量子霍尔台阶。实验发现，电子在其中的运动轨道能量直接受到样品厚度的影响。这说明，随着样品厚度的变化，电子的运动时间也在变。所以，电子在做与样品厚度相关的纵向运动，其隧穿行为被证明了。

电子在上表面走四分之一圈，穿越到下表面，完成另外一个四分之一圈后，再穿越回上表面，形成半个闭环，这个隧穿行为是无耗散的，所以可以保证电子在整个回旋运动中仍然是量子化的。修发贤说，整个轨道就是三维的外尔轨道，是砷化镓纳米结构中量子霍尔效应的来源。

至此，三维量子霍尔效应的奥秘终于被揭开了。

对于这次成果的诞生，修发贤觉得，在砷化镓的研究方面，这才刚刚开始。

这是一个作品，我们第一次提出了新的机制，也得到了认可。但还有可以深挖的，还有更具体的东西，我想得继续做细做好。他表示。（来源：中国科学报 黄辛 龚凡）

相关论文信息：DOI: 10.1038/s41586-018-0798-3

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](http://www.iikx.com)转发