**复旦课题组发现基于外尔轨道的三维量子霍尔效应**

2018-12-18 12:48:00来源：央广网

　　央广网上海12月18日消息（记者傅闻捷）近日，复旦大学物理学系修发贤课题组在量子霍尔领域实现重大突破，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。

　　北京时间今天零点，相关研究成果以《砷化镉中基于外尔轨道的量子霍尔效应》（“Quantum Hall effect based on Weyl orbits in Cd3As2”）为题在线发表于《自然》（Nature, DOI: 10.1038/s41586-018-0798-3.）。修发贤为通讯作者，复旦大学物理学系博士生张成，复旦校友、康奈尔大学博士后张亿和复旦大学物理学系博士生袁翔为共同第一作者。

　　据悉，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，迄今已有四个诺贝尔奖与其直接相关。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”。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。那么，在立体空间中呢？

　　2016年10月，修发贤及其团队第一次用高质量的三维砷化镉纳米片观测到量子霍尔效应的时候，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了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。

　　课题组决定，打破砂锅问到底。但面对千分之一根头发丝大小的实验材料，快如闪电的电子运动速度，这实验该怎么做？起初，他们也不知该如何下手。

　　“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。

　　“电子在上表面走一段四分之一圈，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，这个隧穿行为也是无耗散的，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”，是砷化镉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，在砷化镉的研究方面，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。”

　　修发贤表示，通过该成果，可以深入了解了砷化镉的物理特性。为今后的进一步科研探索提供一定的实验基础。在应用方面，砷化镉具有非常高的迁移率，电子的传输和响应很快，可以在红外探测、电子自旋方面做一些原型器件。