

以从已知的二维或者三维拓扑绝缘体材料出发,通过破坏时间反演对称性来设计量子反常霍尔体系。按照这个策略,文献(X. L. Qi, T. L. Hughes, S. C. Zhang, Phys. Rev. B 78, 195424 (2008))首先提出在三维拓扑绝缘体的表面上覆盖铁磁绝缘体有可能实现量子反常霍尔效应。随后,受到拓扑绝缘体中反带的物理图像和实验上观测到量子自旋霍尔效应的启发,文献(Chao-Xing Liu, Xiao-Liang Qi, Xi Dai, Zhong Fang, and Shou-Cheng Zhang, Phys. Rev. Lett. 101, 146802 (2008))提出在二维量子自旋霍尔体系HgTe量子阱中掺杂过渡金属Mn来实现反常量子霍尔效应的方法。不过这个提议有个缺点,Mn的局域磁矩不能自发有序的排布,仍然需要外加磁场来让Mn的磁矩有序。2010年文献(Rui Yu, Wei Zhang, Hai-Jun Zhang, Shou-Cheng Zhang, Xi Dai, Zhong Fang, Science 329, 61 (2010))提出,在磁性杂质(Cr或者Fe)掺杂的Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>或Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>薄膜体系中,由于范弗莱克机制,能够使系统处于铁磁相。在足够强的交换场下,

系统可以实现量子反常霍尔效应。经过实验物理学家的艰辛努力,这一提议最终在实验中得到了证实。然而这并不意味着寻找量子反常霍尔效应的结束,这次理论和实验上的成功将会激发出对量子反常霍尔效应更深入广泛的研究。未来的研究将会集中在如下两个重要的方向上:(1)如何提高量子反常霍尔效应的温度(现在的实验温度在十几个毫开量级);(2)实验(C. Z. Chang, J. S. Zhang, M. H. Liu, Z. C. Zhang, X. Feng, K. Li, L. L. Wang, X. Chen, X. Dai, Fang, X. L. Qi, S. C. Zhang, Y. Y. Wang, K. He, X. C. Ma, Q. K. Xue, Adv. Materials, 25, 1065 (2013))中观测到的霍尔电导为1,如何得到陈数大于1的量子化平台?还有其他几个实现量子反常霍尔效应的提议值得去关注:(1)文献(Gang Xu, Hongming Weng, Zhijun Wang, Xi Dai, Zhong Fang, Phys. Rev. Lett. 107, 186806 (2011))预言HgCr<sub>2</sub>Se<sub>4</sub>是一种韦尔半导体,这种材料在一定的厚度下也可能出现量子反常霍尔效应,而且陈数等于2。这种材料的优势在

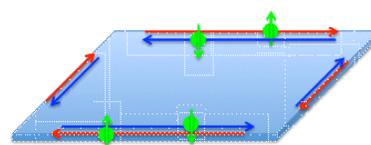


图5 量子自旋霍尔效应  
二维系统在Z<sub>2</sub>拓扑数非零时,边界上有自旋指向相反,传输方向相反的满足时间反演对称性的边界态。这可以看作是两个由时间反演对称性联系起来的量子反常霍尔系统

于,它是稳定的化学纯化合物,居里温度在100 K以上。(2)文献(Hai-Jun Zhang, Xiao Zhang, and Shou-Cheng Zhang, cond-mat: 1108.4857)预言GdBiTe<sub>3</sub>的薄膜也有可能存在量子反常霍尔效应。(3)文献(Kevin F. Garrity and David Vanderbilt, Phys. Rev. Lett. 110, 116802 (2013))预言在磁性绝缘体的表面上覆盖Au, Pb, Bi, Tl, I等重元素薄膜可以产生较强的反常霍尔效应,甚至量子化的反常霍尔效应。

我们相信随着今后材料设计和实验手段上的突破,利用量子反常霍尔效应的器件将会出现在我们的日常生活中。

(余睿,香港大学物理系;余睿,翁红明,方忠,戴希,中国科学院物理研究所 100190)



## 科苑快讯

### 海滩上的非线性海浪

大多数人认为低振幅海浪非常近似于线性的,然而这却与实际情况相去甚远。美国博尔德市(Boulder)科罗拉多大学(University of Colorado)的阿布洛维提兹

(Mark Ablowitz)和鲍尔温(Douglas Baldwin)就对墨西哥努埃瓦塔(Nuevo Vallarta)的两处平坦海滩和美国加利福尼亚州的威尼斯海滩(Venice beach)每天发生的非线性交互作用做了报告。这些相互交叉的X形和Y形波浪与非线性KP方程(Kadomtsev-Petviashvili equation)相互作用的“线性孤子”解决方案关系密切。

他们遵循了1834年开始的孤子测点定位传统,那时的造船工程师罗素(JS Russel)首次在英国爱丁堡联盟运河记录了孤子波现象。它们都表明,正像以前所想的那样,这些非线性线性相互作用并非个例,这种交互作用在海啸以及巨浪中起着重要作用。

(高凌云编译自2012年11月27日《欧洲核子中心快报》)