

چند چکیده

حالت نارسانا ی کوانتمی ی اسپینی ی هال در چاه‌ها ی کوانتمی ی HgTe.

Quantum Spin Hall Insulator State in HgTe Quantum Wells

Science, vol. 318, no. 5851, 2 Nov 2007, pp. 766-770.

Markus König, Steffen Wiedmann, Christoph Brüne, Andreas Roth, Hartmut

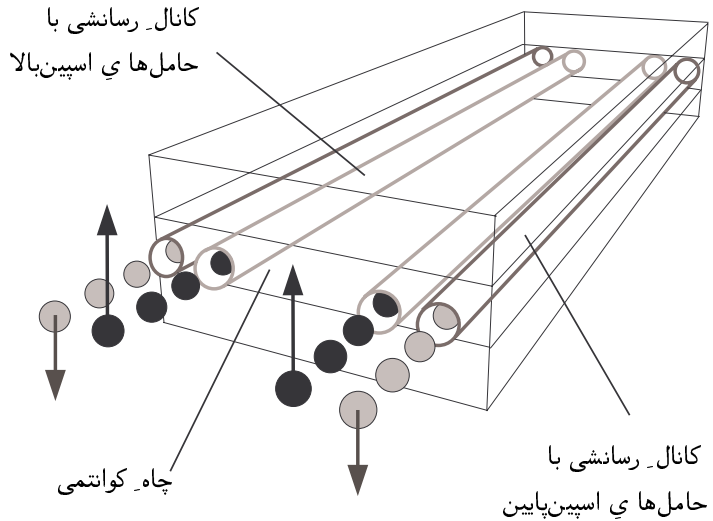
Buhmann, Laurens W. Molenkamp, Xiao-Liang Qi, Shou-Cheng Zhang

خلاصه ی نویسنده‌ها¹

بیش از 25 سال پیش اثر کوانتومی ی هال کشف شد [1]، که می‌گوید رسانایی ی عرضی مقادیر گسسته دارد. منظور از رسانایی ی عرضی، که به آن رسانایی ی هال هم می‌گویند، رسانایی در جهت عمود بر جریان و عمود بر راستا ی میدان مغناطیسی ی خارجی است. این اثر در فلزها ی لایه لایه و در حضور میدان مغناطیسی ی قوی دیده می‌شود، و ناشی از تشکیل کانال‌ها ی یک بعدی ی رسانشی در لبه‌ها ی رسانا است. رسانایی ی هر کدام از این کانال‌ها، که در آن‌ها جریان فقط در یک راستا است، مقدار ی گسسته (کوانتمی) دارد که ویژه گی ی ترابرها ی یک بعدی است. تعداد کانال‌ها ی لبه‌ای ی نمونه متناسب است با رسانایی ی کوانتمی ی هال. به علاوه، حامل‌ها ی بار در این کانال‌ها در برابر پراکنده گی بسیار مقاوم اند. به این علت است که می‌توان اثر کوانتمی ی هال را در نمونه‌ها ی درشت مقیاس دید، و به علاوه به همین علت است که حامل‌ها ی بار در داخل کانال‌ها بدون اتلاف انرژی حرکت می‌کنند. بنا بر این، شاید بتوان کانال‌ها ی لبه‌ای ی اثر کوانتمی ی هال را در فناوری ی مدارها ی مجتمع، که روز به روز با کوچک شدن اندازه ی مدارها اتلاف توان در آن‌ها مهم‌تر می‌شود، به کار برد. البته، موانع مهم ی هست — اثر کوانتمی ی هال فقط در دماها ی کم و میدان‌ها ی مغناطیسی ی بزرگ روی می‌دهد.

در چند سال گذشته، فیزیک پیشه‌ها ی نظری پیش‌نهاد کرده اند که شاید تراژد کانال‌ها ی لبه‌ای در غیاب میدان مغناطیسی هم ممکن باشد. ایشان پیش‌بینی کرده اند [2 تا 4] که در نارساناها یی که ساختار الکترونی ی مناسب ی دارند، حالت‌ها ی لبه‌ای ای تشکیل می‌شود که در آن‌ها حامل‌ها یی

¹ توضیح ویراستار: اخیراً برخ ی از مقاله‌ها یی که در ساینس چاپ می‌شوند خلاصه ای دارند که آن را خود نویسنده‌ها تهیه کرده اند، و پیش از چکیده چاپ می‌شود. آن چه در این جا می‌آید چنین خلاصه ای است.



که اسپین ـ شان مخالف هم است در جهت‌ها ی مخالف حرکت می‌کنند ـ و این چیزی است که با اثر ـ کوانتومی ی ـ حال فرق دارد ـ شکل را ببینید. این چیزی است که اثر ـ کوانتومی ی ـ اسپینی ی ـ حال نام دارد، و پژوهش گران با حرارت به دنبال ـ مشاهده اش بوده اند.

با آن که در طبیعت نارساناها ی ـ زیاد ی هست، بیش تر ـ آن‌ها ساختار ـ شان برای ـ مشاهده ی ـ اثر ـ کوانتومی ی ـ اسپینی ی ـ حال مناسب نیست. این جا است که HgTe وارد می‌شود. HgTe ی ـ کپه‌ای ی ـ یک نیم رسانا ی ـ II-VI است، اما ساختار ـ الکترونی ی ـ خاص ی دارد: در بیش تر ـ نیم رساناها ی ـ II-VI، معمولاً نوار ـ رسانشی از حالت‌ها ی ـ s ـ اتم‌ها ی ـ گروه II است، و نوار ـ ظرفیتی از حالت‌ها ی ـ p ـ اتم‌ها ی ـ گروه VI است. اما در HgTe این ترتیب برعکس است [5]. با برآرست ـ باریکه ی ـ مولکولی می‌توانیم چاه‌ها ی ـ کوانتومی ی ـ نازک ی از HgTe رشد دهیم، و بین ـ سدها ی ـ (Hg,Cd)Te ساندویچ کنیم، که این یک راه ـ منحصر به فرد برای ـ میزان کردن ـ ساختار ـ الکترونی ی ـ ماده است: وقت ی چاه ـ کوانتومی پهن است، ساختار ـ الکترونی در چاه برعکس می‌ماند. اما، برای ـ چاه‌ها ی ـ باریک، این امکان هست که آرایش ی «عادی» در حالت‌ها ی ـ چاه ـ کوانتومی به دست آوریم. اخیراً برنیوگ و هم کاران ش [6] پیش‌بینی کرده اند که ساختار ـ الکترونی ی ـ برعکس ـ چاه‌ها ی ـ HgTe ویژه گی‌ها ی بی دارد که مشاهده ی ـ حالت ـ نارسانا ی ـ اسپینی ی ـ حال ـ کوانتومی را ممکن می‌سازد. مشاهده‌ها ی ـ تجربی ی ـ ما این را تأیید می‌کند.

این آزمایش‌ها، تنها پس از آن ممکن شده است که روش ی برای ـ ساختن ـ چاه‌ها ی ـ کوانتومی با تحرک ـ زیاد ـ حامل‌ها به بار آمده است، و با تکنیک‌ها ی ـ لیتوگرافی ای که برای ـ طرح دادن به نمونه

لازم است ترکیب شده است. طرح دادن، به ویژه به علت ناپای داری زیاد Hg ، دشوار است. ما علاوه بر این یک دروازه $Si-O-N$ نارسانا با دما $Si-O-N$ انباشته گی $Si-O-N$ کم ساخته ایم [7] که کمک می کند در چاه کوانتمی، سطح فرمی را از نوار رسانشی تا گاف نارسانشی، و تا نوار ظرفیت تغییر دهیم. (سطح فرمی سطح انرژی ای است که حالتها $Si-O-N$ الکترونی تا آن سطح پر شده اند.) با استفاده از لیتوگرافی $Si-O-N$ اپتیکی، و لیتوگرافی $Si-O-N$ باریکه $Si-O-N$ الکترونی، ساختارهایی مربعی از چاهها $Si-O-N$ کوانتمی با پهناهای مختلف، در اندازهها $Si-O-N$ مختلف ساختیم و رسانایی را به صورت تابعی از ولتاژ دروازه سنجیدیم.

مشاهده کردیم که نمونهها $Si-O-N$ بی که از چاهها $Si-O-N$ کوانتمی $Si-O-N$ باریک با ساختار $Si-O-N$ الکترونی $Si-O-N$ «عادی» ساخته شده اند، وقت $Si-O-N$ سطح فرمی داخل گاف است، اساساً رسانایی $Si-O-N$ $Si-O-N$ صفر نشان می دهند. در مقابل، چاهها $Si-O-N$ کوانتمی ای که ساختار $Si-O-N$ برعکس دارند رسانایی ای دارند نزدیک به چیزی که برای تراژد کانالها $Si-O-N$ لبه ای در یک نارسانا $Si-O-N$ کوانتمی $Si-O-N$ اسپین $Si-O-N$ حال انتظار می رود. این تعبیر را دادهها $Si-O-N$ مغناطوسرانشی هم تأیید می کند. مثلاً دادهها $Si-O-N$ $Si-O-N$ که در حضور $Si-O-N$ یک میدان مغناطیسی $Si-O-N$ قوی از نمونهها $Si-O-N$ بی با ساختار $Si-O-N$ الکترونی $Si-O-N$ برعکس گرفته شده است، یک گذار بسیار غیرعادی $Si-O-N$ نارسانا $Si-O-N$ فلز $Si-O-N$ نارسانا را نشان می دهد که تابع $Si-O-N$ از میدان است، که نشان داده ایم پی آمدی مستقیم از این ساختار $Si-O-N$ الکترونی است.

هنوز باید ویژه گی $Si-O-N$ اسپین قطبیده گی $Si-O-N$ کانالها $Si-O-N$ لبه ای را بی ابهام نشان داد. برای استفاده از این اثر در فناوری $Si-O-N$ ریزالکترونیک، باید این اثر دمای کم را (که ما در کم تر از 10 K دیدیم) بتوان در دما $Si-O-N$ اتاق دید، چیزی که با استفاده از چاهها $Si-O-N$ بی با گافها $Si-O-N$ $Si-O-N$ پهن تر ممکن است.

مرجعها

1. K. v. Klitzing, G. Dorda, M. Pepper, *Phys. Rev. Lett.*, vol. 45 (1980) pp. 494-497;
2. S. Murakami *et al.*, *Phys. Rev. Lett.*, vol. 93 (2004) 156804;
3. C. L. Kane, E. J. Mele, *Phys. Rev. Lett.*, vol 95 (2005) 146802;
4. B. A. Bernevig, Shou-Cheng Zhang, *Phys. Rev. Lett.*, vol. 96 (2006) 106802;
5. E. G. Novik *et al.*, *Phys. Rev. B*, vol. 72, 035321 (2005) (12 pages)
6. B. A. Bernevig, *et al.*, *Science*, vol. 314, 15 Dec 2006 .pp. 1757 - 1761;
7. J. Hinz *et al.*, *Semiconductor Science and Technology*, vol. 21, 2006, pp. 501-506.