

# 薛其坤：追梦量子世界

2024年6月24日，国家最高科学技术奖迎来有史以来最年轻得主。他就是发现量子反常霍尔效应的著名凝聚态物理学家、中国科学院院士、清华大学教授、南方科技大学校长、巴克利奖首位中国籍获得者，时年61岁的薛其坤。此前，他曾获得国家自然科学奖一等奖、菲列兹·伦敦奖、未来科学大奖、巴克利奖。35岁当教授，50岁攻克量子世界难题。

## 沂蒙山区少年，一步步走上国际舞台

1963年12月，薛其坤出生在山东省临沂市蒙阴县的一个小村庄里，父母都是普通的农民。当时的中国，物理学似乎还困顿于黎明前的黑暗之中，相关基础科学研究仍大幅度落后于世界先进水平。

随着中国第一颗原子弹在1964年爆炸成功，尖端技术先后突破、瞩目成就接连实现。基础研究领域，无数物理工作者迎难而上、立志赶超，“科学的春天”翩然而至。

青少年时代，“贪玩，但聪明，也爱学习”的薛其坤成绩突出。高考时物理满分100分，他考了99分，如愿考入山东大学光学系激光专业。

1984年，大学毕业的薛其坤壮志满怀，决定考研究生。不曾想，却考了三次才考上。第一次考研，以高数39分惨淡收场；第二次考研，又因物理39分与中国科学院物理所失之交臂；直到1987年才成功“上岸”，考上中国科学院物理研究所凝聚态物理专业。

硕士期间和读博前两年，薛其坤没有得出一套能够支撑论文的数据。1992年，他在导师陆华教授的引荐下，前往日本东北大学金属材料研究所学习



和进行科研工作。在那里，他经历了科研道路上的又一个“坎儿”，却得到“脱胎换骨的改变”。

起初由于语言不通，他听不懂导师的要求，成为实验室里“最不受待见”的学生。联合培养导师樱井利夫教授的实验室被称为“7-11实验室”，明确提出每周6天，早上7点需到达实验室，当晚11点之前不允许离开。

“每天就是三件事：吃饭、睡觉、搞科研。”凭借山东孩子骨子里的“皮实”，尽管“语言不通、技术不熟、睡眠不足”，在崩溃边缘数次徘徊，薛其坤都成功把自己从放弃留学回国的念头前揪了回来。

强烈的学术志趣是追求卓越的最大原动力。挺过了最初的适应期，他每天第一个到实验室、最后一个离开，是全实验室扫描隧道显微镜实验制备针尖方面水平最高的学生。

“制备针尖只是一项小小的实验技术，但短时

间内如能做出高质量的针尖，不仅意味着实验做得更快，数据也更好。”仅用一年半，薛其坤的研究取得重大突破，是樱井利夫实验室近30年最具突破性的研究成果。

1992年至1999年的八年间，薛其坤先后在日本东北大学金属材料研究所、美国北卡莱罗纳州立大学物理系学习和担任访问助理教授。

“我没有忘记，自己是从沂蒙山区走出来的孩子。”薛其坤看到中外在物理学实验室仪器、技术和设备方面仍然存在的巨大差距，看到发达国家经济社会的发展与科学技术的创新，迫不及待地想要用所学到的知识本领为祖国高水平科技自立自强作出贡献。

1999年，薛其坤回国，进入中国科学院物理研究所工作，很快携手研究团队，在纳米团簇、量子尺寸效应等方面取得一个个实验发现。

2005年，薛其坤来到清华大学物理系任教，组建起一支不同年龄、不同背景甚至来自不同单位的研究团队。同年11月，他成为中国科学院当批年纪最小的“新科院士”。

薛其坤团队在清华的实验室里搭建的第一台机器结合了三种技术：分子束外延（MBE）薄膜制备技术、能看到原子的扫描隧道显微镜（STM）、能够对电子能带结构进行精确表征的角分辨光电子能谱（ARPES）。

这是薛其坤在中国科学院物理研究所时期和研究团队率先独创的。三项技术中，想要专精哪一项都不容易，意识到且有能力将它们集成在一整套设备当中，在当时更是“仅此一家”。

薛其坤说：“善于发掘并不新奇的实验技术的潜力，发现它更强大的功能，是做出别人做不出来的东西、实现科学突破的要点。”来清华后主导建设的首个实验室搭建完成两三年后，拓扑绝缘体研究开始在国际上兴起。兼具合适的实验工具与前期

的科研积累，“两方面都做好了准备”的薛其坤团队立刻抓住机会，进入这一领域持续钻研。

## 勇攀量子高峰，迎来“奇迹的时刻”

什么是“量子反常霍尔效应”？原来，在一个材料中，电子的运动是高度无序的，电子和晶格、电子和杂质、电子和电子都能形成碰撞，产生电阻、发热，从而造成能量损耗。但此时，如果给薄膜样品外加一个强磁场，在强磁场作用下，电子的运动 would 像高速公路上的汽车一样，沿样品边缘分道行驶，互不干扰，这个非常有趣的现象就被叫作“量子霍尔效应”。1979年，它由德国物理学家冯·克里青发现。

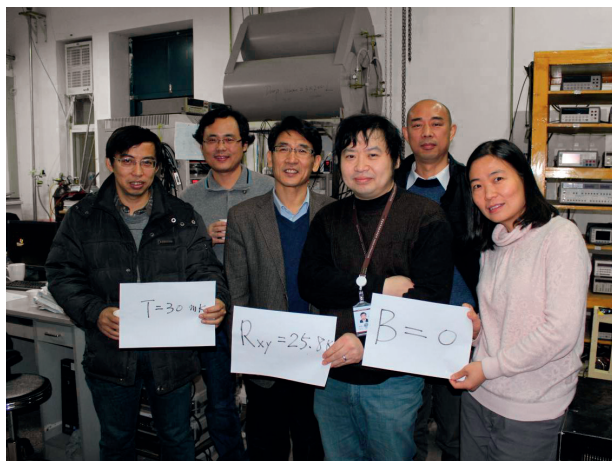
既然存在量子霍尔效应，那么是否存在量子反常霍尔效应——无需任何外加磁场，靠材料本身的性质就能让电子运动变得高度有序？

1988年，美国的霍尔丹教授在理论中提出一种“玩具模型”，可以实现无磁场的量子霍尔效应，此后近20年间有物理学家提出各种方案，但是在实验上未取得任何实质性进展。因为量子反常霍尔效应需要材料本身既具备磁性又是绝缘体，可由于磁体通常为导体，这是一个自相矛盾的要求。

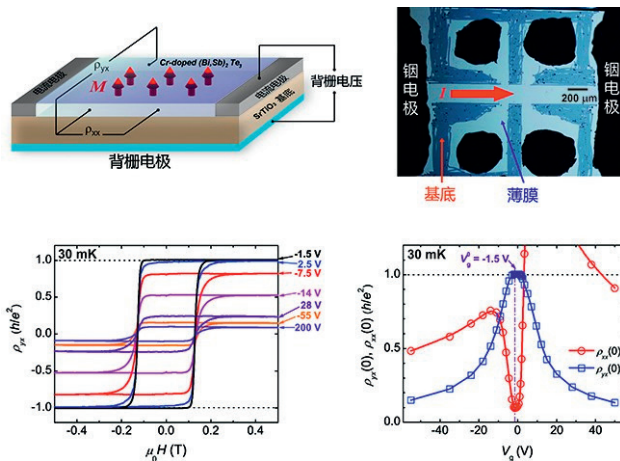
转折的契机出现在2005年。那一年，理论物理学家查尔斯·凯恩、张首晟等成功预言了一类叫作拓扑绝缘体的新材料。这种内部是绝缘体、表面却可以导电的神奇材料的“出现”，让这个矛盾的要求有了实现的可能。

2008年，张首晟提出在磁性拓扑绝缘体中实现量子反常霍尔效应的方向。但想要找到合适的材料，难度无法估量；能否在材料中观测到量子反常霍尔效应、何时能观测到，更是完全不能确定。

“这是理论物理学家在山顶画出的樱桃，山顶有没有樱桃，没人知道。”尽管一切都是未知，但



薛其坤（左三）和项目组主要成员庆祝观测到量子反常霍尔效应



量子反常霍尔效应实验发现的最终测量样品和数据

在好奇心驱使下，薛其坤带领团队瞄准这个“领域最好、最高的科研目标之一”量子反常霍尔效应，期待做出更大的、从0到1的成果。

2009年起，薛其坤联合来自清华物理系、中国科学院物理研究所、美国斯坦福大学的多个研究组共同攀登这座“高峰”。“一条路走不通，就优化样品、改进方法。还走不通，就再优化、再改进。”他们尽力在科学迷宫里“穷尽每一个可能”。

四年多时间里，薛其坤团队在材料的制备、控制，以及如何用扫描隧道显微镜这只明亮的“眼睛”去深刻把握对材料的控制等方面，做到了“国际最好之一”。

历经对1000多个仅有5纳米厚的原子级样品的系统研究，薛其坤团队终于获得了一种磁性掺杂拓扑绝缘体薄膜可以满足需要，并在2012年10月的一个晚上，在实验中看到了量子反常霍尔效应存在的迹象。

收到学生第一时间发来的短信，刚从实验室出来不久的薛其坤火速赶回，紧急组织团队成员设计方案、部署下一步实验——必须测到完美的反常霍尔效应的量子化平台，并经得起不同样品的多次重复实验。两个月的集中测试之后，实验数据很完美！

最终数据得到的那天，薛其坤打开两瓶香槟，与团队师生共同庆祝“奇迹的时刻”——这是在世界范围内首次实验上实现量子反常霍尔效应，为世界基础物理研究贡献了一项重要的科学发现！

在研究成果应用方面，这一重要科学突破也有着深远意义。它将推动新一代低功耗晶体管 and 电子学器件的发展，有可能加速推动未来信息技术革命的进程。薛其坤团队的“世界首次”为中国夺得了新一轮信息技术革命中的战略制高点。

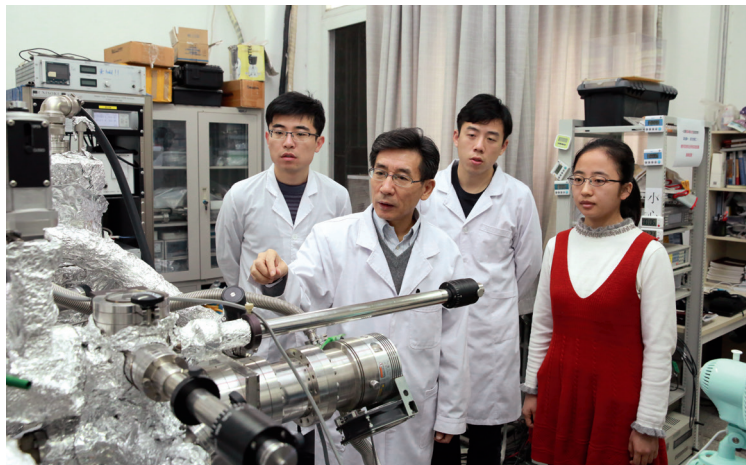
2013年3月，成果于《科学》(Science)杂志发表，审稿人称之为“凝聚态物理界一项里程碑式的工作！”

诺贝尔物理学奖得主杨振宁院士予以高度评价：“从中国实验室里第一次发表出来了诺贝尔物理学奖级别的论文……是整个国家发展中的喜事。”

因为这项重要的科学发现，薛其坤的名字不再普通。他被视为凝聚态物理领域的传奇人物，开始迎来人生的高光时刻。

### 追求极致，勤奋排在聪明前面

多年前，刚到北京的薛其坤操着一口浓重的山东沂蒙口音，“连普通话都说不标准，又怎么能说



薛其坤在实验室

出流利的英语呢？”勤能补拙，薛其坤凭着勤奋补齐了语言的短板，也为自己打开了更广阔的物理世界的大门。

读研期间，薛其坤被邀请在美国物理学会年会上作报告。为了克服语言问题，他把20分钟报告要讲的每个英语单词、每句话写下来，模拟练习了80多遍，对时间的把握到了出神入化的程度，基本上能精确到提前5秒钟结束。

当听到掌声与赞扬时，薛其坤觉得“像夏天渴时喝了冰水一样，很舒服”。自此，他通过接触和了解世界物理领域的前沿信息，开阔了科研视野。

在日本留学时，薛其坤就早上7时进实验室，一直干到晚上11时离开。这一作息，他坚持了20年，每年工作天数超330天。有位老院士曾评价他，“吃苦耐劳，异于常人”。

在科研伙伴眼中，薛其坤有着过人的学术直觉与学术品位，总能敏锐瞄准国际前沿、实现技术飞跃、引领团队创新。薛其坤却说，“相较于天赋，科研道路上更多的是日复一日的投入、努力和坚持，再高深的学问，也是在找到方向之后，一步一个脚印，慢慢从基础向高深推进的。”

他认为，成才路上，勤奋排在聪明前面。

“我自己属于非常勤奋的人。在我创造力最好的

阶段，我从来没休过一个假期，一天工作十五六个小时，没有周末也不过节。”“可以说，我今天取得的成就，是三分靠天分、七分靠努力。”

在学生眼里，导师薛其坤大部分时候和蔼可亲，会经常买些牛奶、夜宵、营养品送给他们；但学生若犯了错，会受到他狠狠批评。有一次，他像往常一样去实验室，恰巧碰到一位学生在电脑上浏览无关网页，薛其坤顿时火冒三丈。“你们现在拥有这么好的

实验条件，却不知珍惜。这不只是在浪费自己的时间，也是在浪费科研资源！”学生头一次见他发这么大的脾气，却也明白“薛老师这是既生气又心痛”。

在薛其坤眼里，这个世界一流的实验室里，每台昂贵的仪器都是来自国家的支持，也是老百姓的支持，他要对得起这份支持。在实验技术与科研训练中，薛其坤对学生的要求近乎苛刻：对于实验仪器要长年累月准确无误地操作；写论文，标点符号也不能出现错误。

薛其坤认为，追求极致的科研态度，是一个科研工作者不可或缺的品质。如今，薛其坤团队已经培养出一大批在量子科技领域具有国际水准的优秀青年人才，持续为中国的科技事业高质量发展贡献着智慧与力量。

作为国内顶尖的物理学家，薛其坤带领他的团队在攻克两个方向：一是探索量子反常霍尔效应及其有关的量子态在拓扑量子计算等方面的应用，另一个是高温超导机理研究。

“人们仍然没有理解高温超导的机理，可以说，这是个凝聚态物理学的世纪难题。”薛其坤说，“如果我们把谜底揭开了，就有可能设计出高温超导材料，在室温下甚至更高温度下实现超导，这将对全人类的重要贡献。”