

2023年度国家最高科学技术奖获得者薛其坤：

勇攀“量子之巅”

本报记者 沈慧



人物小传

薛其坤，1963年12月生，籍贯山东蒙阴。1999年至2005年任中国科学院物理研究所研究员，1999年至2005年任表面物理国家重点实验室主任。2005年起任清华大学物理系教授，同年被增选为中国科学院院士。历任清华大学理学院院长、清华大学副校长、北京量子信息科学研究院首任院长、南方科技大学校长、粤港澳大湾区量子科学中心主任。

薛其坤是凝聚态物理领域享有国际声誉的实验物理学家。他率领团队取得了量子反常霍尔效应和界面高温超导两项原创性科学发现。拓扑绝缘体中量子反常霍尔效应的实验发现是凝聚态物理领域的一次里程碑性突破，异质结界面高温超导的发现则开启了高温超导的全新研究方向，均在国际上产生巨大学术影响。

61岁！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——薛其坤。

薛其坤不是人们口中的天才。他3次考研方获成功，读博士花了7年，却在41岁成为中国科学院最年轻的院士之一，50岁攻克量子世界难题，如今又斩获中国科技界的崇高荣誉——2023年度国家最高科学技术奖。

几十年来，他一直保持“7—11”（早7时到实验室，晚11时离开）的工作状态。世人常说科研枯燥无聊，他却乐在其中，每每讲起专业总是两眼放光。有位老院士曾评价他，“吃苦耐劳，异于常人”。对待科研，他追求极致，就连学生论文中的标点符号都不允许出错。

取得今天的成就，薛其坤说，“1分是天赋，99分是努力”。

书写传奇人生

求学时的薛其坤的确普通。

第一次考研，他以高分39分惨败收场；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，屡败屡战的他才成功“上岸”。可即便在考研期间，他也没有一套像样的数据能写出一篇论文。后来，在导师推荐下，他获得了去日本东北大学学习的机会，但由于语言不通，他听不懂导师的要求，是实验室里“最不受待见”的学生，博士读了7年才毕业。

接二连三的失败没有打翻这艘“从沂蒙山区驶出的小船”。薛其坤说，他是沂蒙山里长大的孩子，皮实。确实，如果没有这种皮实，恐怕不会有后来的逆袭，也不会有量子反常霍尔效应的发现。

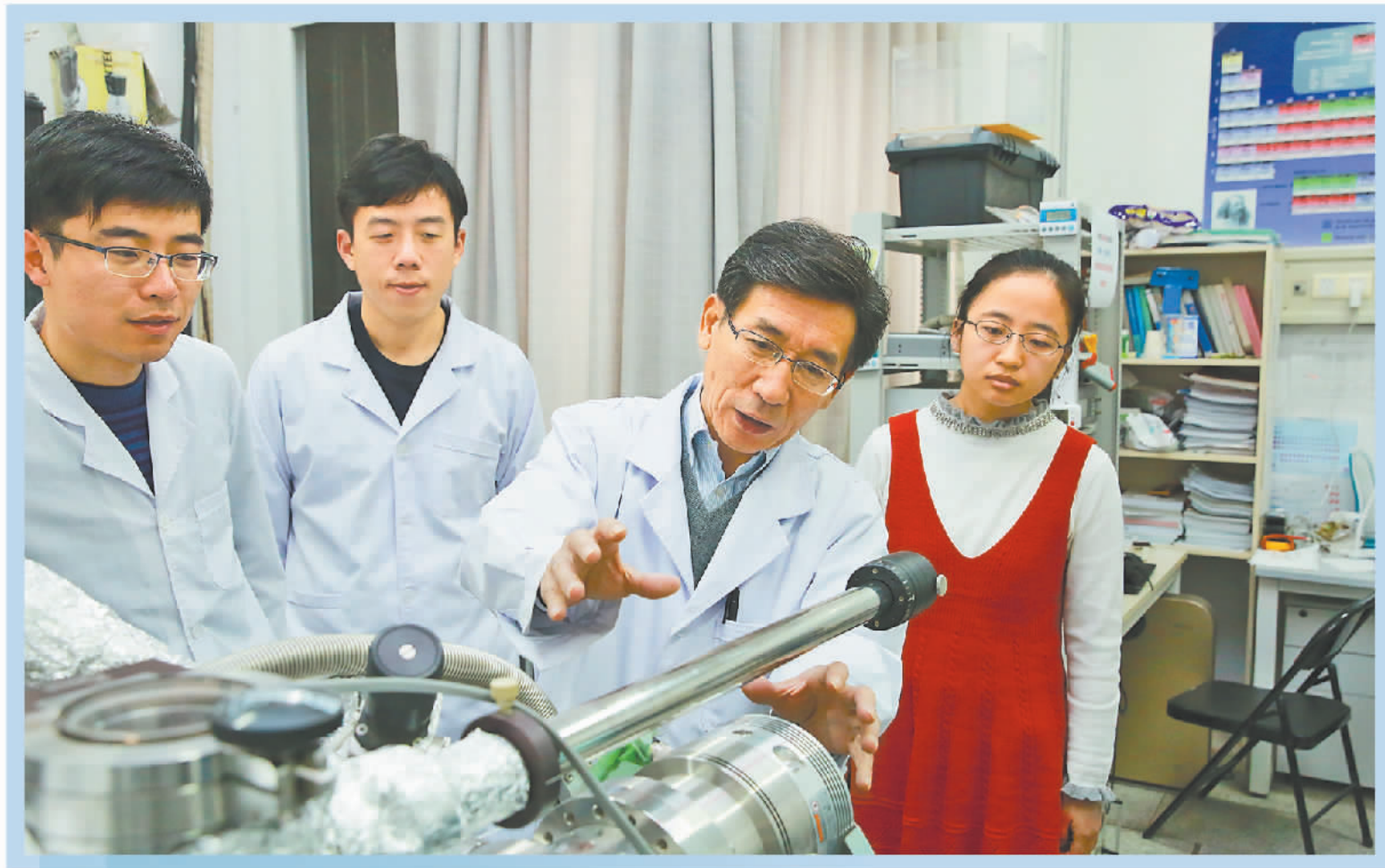
什么是量子反常霍尔效应？在一个材料中，电子的运动一般来讲是高度无序的，电子和晶格、电子和杂质、电子和电子都能形成碰撞，产生电阻、发热，从而造成能量损耗。但此时，如果给薄膜样品外加一个强磁场，在强磁场作用下，电子的运动像高速公路上的汽车一样，沿样品边缘分道行驶，互不干扰，这个非常有趣的现象就叫作量子霍尔效应。1979年，它由德国物理学家冯·克里青发现。

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。

为什么？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。据此，2008年，张首晟等理论物理学家又提出了一个大胆的假设：在拓扑绝缘体中引入磁性，有可能实现量子



上图 薛其坤与学生们讨论实验工作。（资料图片）

右图 薛其坤在办公室。（资料图片）

反常霍尔效应。

“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，但在好奇心的驱使下，薛其坤还是带领团队向这座科学高峰发起了进攻。那时的他一直有个念头，“能不能像我们崇拜的科学家那样，做点更大的、从0到1的成果”。

向着梦想全力奔跑。2012年底，薛其坤团队用“分子束外延”方法，生长出了高质量的磁性拓扑绝缘体薄膜材料，最终看到了梦寐以求的实验现象。这是世界范围内，首次在实验上观测到量子反常霍尔效应！至此，量子霍尔效应家族最后一个神秘成员在实验上被发现。

因为这项重要的科学发现，薛其坤3个字不再普通。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。

为什么是薛其坤团队

探寻成功密码，除了要有勇攀科学高峰的勇气，还要有尖端实验技术和方法的长期积累。

制备一个同时拥有拓扑、绝缘、磁性三种特性的薄膜，这是实现量子反常霍尔效应的关键

和前提。但是，在实际的材料中同时满足上述3个要求是一个巨大的挑战。打个形象的比喻，这就相当于要培养一个运动员，他既需要有短跑运动员的速度，又要有举重运动员的力量，还要有花样滑冰运动员的技巧。其中的艰难可想而知。

幸运的是，做了20多年分子束外延生长的薛其坤掌握了国际领先的技术储备；2002年初，薛其坤等人曾开创过一个融合分子束外延设备、扫描隧道显微镜和角分辨光电子能谱三种实验设备的超高真空联合系统，该系统的发展和熟练运用，对拓扑绝缘体材料的精密控制起到重要作用。

不过，只有“金刚钻”还不够。冯峭是薛其坤的博士生，2008年秋季学期加入研究团队。她说，是面对困难不屈不挠的精神，让他们在这场高手云集的竞技中领先一步。

实现量子反常霍尔效应的薄膜样品只有5纳米的厚度，相当于头发丝的十万分之一，肉眼几乎看不到。制备这种薄膜材料，需要将几种元素用分子束外延法一层一层生长起来。但具体怎样生长，几种元素如何配比，结构如何搭建，都十分复杂精妙。

4年来，这样的薄膜样品，薛其坤团队生长了1000多个，每一个样品从生长到完成测试，至少需要三四天。生长、测试、失败、改进，再生长、再测试……“在一次又一次的重复实验中，很多时候我们都是在不断试错。”冯峭感慨道。

更大的挑战来自实验目标的不确定性。2011年底，薛其坤带领团队终于制备出了兼具磁性、拓扑、绝缘三种特性的薄膜样品。可很快，研究又陷入停滞不前的状态，大家有些动摇。

“从理论来看，当时我们能想到的所有问题似乎都解决了，但是实验结果离最终的成功还非常遥远。”回忆起2012年初最困难的那段时光，薛其坤团队成员何珂说，那时大家都很焦虑，压力很大，“因为研究时间比较长，付出了很多努力，非常担心研究就此停滞不前”。

面对蔓延的负面情绪，薛其坤作为研究团队的“大家长”，给大家讲起了他人生中最难熬的那段日子：在日本留学期间，因为听不懂导师的指令，他经常受到严厉指责，导致导师和同学们一起做实验时，他不敢碰仪器，只在一边怔怔地看。但为了给中国人争口气，他最终咬牙坚持了下来，并取得了一项重要的科研突破，这是日本东北大学近30年来最重要的一项成果。

“只要敢于正视困难，就没有过不去的坎儿。”薛其坤为大家加油鼓劲。

事实上，在日本求学的那段经历不仅磨练了薛其坤的意志，也让他形成了“7—11”的作息习惯，并一直坚持到现在。薛其坤的很多学生曾经较劲，“想趁着自己年轻，和薛老师比一比，看谁先到实验室，谁最后一个离开”。但多年来几乎没人能赢。

“很多时候，大家一起从外地出差回来，已



是晚上十一二点，但他还坚持去实验室，和大家讨论实验。”薛其坤对科学研究持久的热情和努力，让清华大学物理系教授王亚愚惊叹不已。

这种超乎常人的勤奋，薛其坤的体会是“累并快乐着”。他说，科学探秘，就像侦探解谜一样有趣，“从事科研这么多年，我极努力，也非常快乐”。

再攀科学高峰

瘦削的脸上架副眼镜，无论对谁总是笑呵呵的，在同事眼中，“山东汉子”薛其坤平易近人、天生乐观、性格豪爽。

“在薛其坤眼里，几乎就没有什么东西舍不得送人。”有位老师这样感慨。

对此，王亚愚深有体会，“我们去国外开会，薛老师会拿自己的钱给学生发零花钱。他手里存不住东西，经常有哪个学生夸他的东西好，他当场就会送给人家”。

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，但若犯了错，他也会狠狠批评。

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”。

在实验技术与科研训练中，薛其坤对学生们的要求更是近乎苛刻：对于实验仪器要长年累月准确无误地操作；写论文，就连标点符号也不能出现错误。

薛其坤认为，这种追求极致的科研态度，是一个科研工作不可或缺的品质。他常常对学生说，物理实验的成功是建立在扎实的基本功之上，如果没有精湛的实验技术和细致操作，就很难取得重大的科研成果。

如今，在量子反常霍尔效应之后，薛其坤继续享受着攀登科学高峰带来的快乐。这次，他带领团队瞄准了两个难题：一个是在更高的温度下甚至室温下尝试观测到量子反常霍尔效应，让其走向实际应用；另一个是高温超导机理。

他充满期待地说：“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。”

采访札记

让基础研究“冷板凳”热起来

沈慧

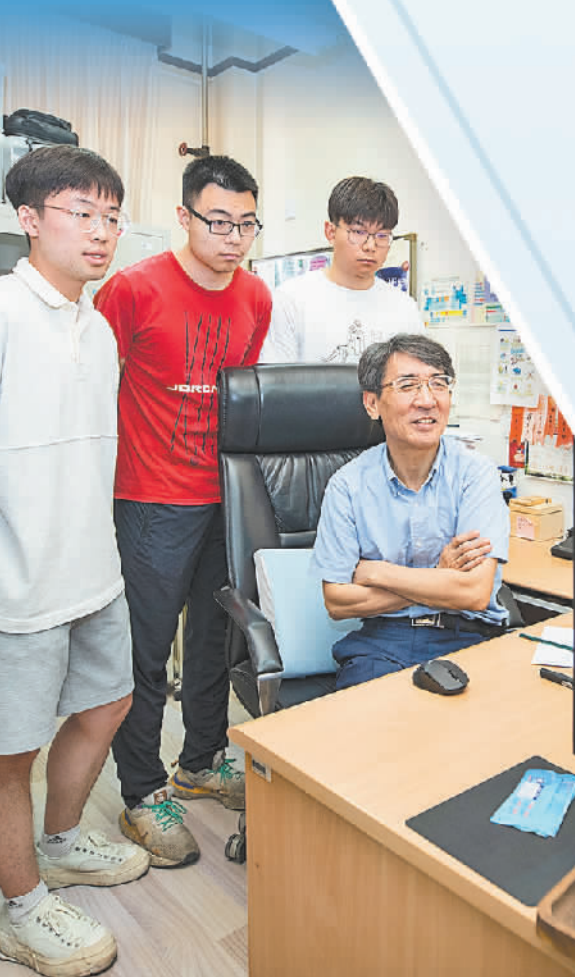
“这个实验可以说非常折磨人。”一向豁达乐观的薛其坤后来在一篇文章中坦然。量子反常霍尔效应研究团队前后涉及20多位博士生，团队里的每位学生都想毕业并获得清华大学优秀博士学位论文，但每个人都不知道这个实验最终能不能成功。大家就在这种不确定的情况下坚持了4年。

这恰恰就是基础研究，尤其是以好奇心驱动的自由探索类基础研究最大的特点——与不确定性共舞。正如牛顿在探索天体运行规律时发现了万有引力定律，法拉第和麦克斯韦对电流和磁场规律的兴趣出发创立了电磁学理论，普朗克在研究黑体辐射的过程中奠基了量子力学，这些后来大大拓展了人类认知边界的重大科学发现，正是基础研究不确定性的有力例证，也是基础研究的神奇诱人之处。

不过，这种巨大的不确定性也决定了基础研究区别于一般的应用型研究，具有难度大、周期长等特点。就像量子反常霍尔效应从提出“玩具模型”到最终被实验发现，中间隔了20多年。基础研究特别是重大原创性基础研究，“十年磨一剑”是常态，有时甚至是几十年“磨一剑”。这启示我们，要充分遵循科学研究的规律，对待基础研究要有足够的耐心和宽容失败的恒心，也要加快构建基础研究长周期支持机制和更为科学合理的评价机制。

2023年，基础研究经费支出增长9.3%，基础研究投入比重连续5年超过6%；今年起，对上一年年底资助期满的国家杰出青年科学基金项目开展分级评价，同时择优遴选出不超过20%的优秀项目给予第二个五年滚动支持，资助强度加大至800万元……近年来，不断强化基础研究前瞻性、战略性、系统性布局，一个更加有利于基础研究的科研生态正在加速构建。

一代人有一代人的使命，一代人有一代人的担当。面对百年未有之大变局，我们期待薛其坤们勇攀科技高峰，把基础研究的“冷板凳”坐热，实现更多“从0到1”的突破。



薛其坤指导学生们开展实验。（资料图片）

（资料图片）