

---

# 薛其坤院士：关于研究的三个层次

作者：热爱科学的来源：科学探索奖

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/topnews/19505.html>

*本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！*

近日，中国科学院院士、南方科技大学校长薛其坤与部分“科学探索奖”获奖人、南方科技大学青年学者，以“关于研究的三个层次”为题，分享了自己在科研道路上的心得与经验。他鼓励青年科学家要不畏挫折失败，坚定冲击科学前沿问题的理想与信念，勇攀科学高峰。



薛其坤在“科学探索奖”跨学科交流活动中与青年学者做分享。以下为精选的分享内容：

在今天这个非常温馨的学术交流氛围中，我想从自己熟悉的三个领域来分别谈谈关于研究的三个层次。

首先是仪器

---

。这里的“仪器”可以是研究工具、理论工具，也可以是实验方法或理论方法。这是我们科学研究的“金刚钻”，是做理论研究、实验或工程研究的利器。

### 其次是材料

。也就是我们的研究对象，它可以是生命科学中的生命体例如猴子、老鼠和植物等，也可以是物质科学中的非生命体。所有的科学研究要“寄托”在这些“材料”基础之上。

第三是发现。这里主要指科学发现，可以是理论研究的发现，也可以是实验研究的发现。

下面我从以上几个角度，谈谈我对科学研究的理解。

## 一、从仪器角度看科学研究的三个层次：

在这个领域里，我们可以把研究分为三个层次：

### 第一个层次是发明

。比如发明一个全新的科学仪器，一个全新的理论方法，一个全新的实验技术，一种全新的研究自然的手段。这可以称之为“从0到1”，即创造了原来没有的东西。

### 第二个层次是拓展

。是指我们用不同的方式和手段，对工具或仪器功能进行拓展，获得仪器功能的提升。这个过程可以称为“从1到10”。

### 第三个层次是应用

。将工具或仪器用于改变世界，用于促进经济社会发展、提高人民的幸福生活水平。这个过程是“从10到100”。

有时候“从0到1”的发明最重要，有时候“从10到100”的应用也很重要。所以我们在谈论“从0到1”的突破性研究时，也不可忽视“从10到100”的拓展研究。这是一条完整的创新链。例如，有人研究“从8.0到8.1”这种微小的技术进步，也有人研究“从10到20”的技术变革，每个人在不同的阶段都可以有非常精彩的表现。

以扫描隧道显微镜为例。

电子显微镜早在上世纪30年代就已经发明，而扫描隧道显微镜的发明相对较晚，是在1981年由德国科学家G. Binnig和瑞士科学家H. Rohrer发明。值得一提的是，5年之后，也就是1986年，他们两位和电子显微镜的发明者Ruska一起获得了诺贝尔物理学奖。



扫描隧道显微镜的工作原理是量子隧穿效应(Quantum Tunneling)。当原子尺度的针尖与样品之间的距离小于1nm时，在外加电压的条件下，针尖与样品之间会产生隧穿效应而有电子逸出，从而形成隧道电流。

这两位科学家发现，当系统建立隧穿以后，针尖与样品的距离每变化一个 $\text{\AA}$  (0.1nm)，电流就会变化一个量级。样品表面原子尺度上凹凸不平对电流的改变是非常大的，这就给我们提供了一个在原子尺度上探测表面形貌的强大工具。扫描隧道显微镜使人类可以在实空间实现原子分辨测量，这对于表面物理研究等领域的推动作用极大的。这是一个非常伟大的发明。

扫描隧道显微镜的技术拓展也非常重要。上世纪90年代，纳米科学兴起，扫描隧道显微镜作为原子尺度的科学利器，出现了多个方面的拓展：其中一个来自IBM实验室的Don Eigler所做的原子操纵，一个是华人科学家Wilson Ho所实现的化学分辨。

其他方面的技术拓展还有时间分辨/超高真空/高压STM、近场光学显微镜、低温强磁场扫描隧道显微镜、原子力显微镜等，这些非常强大的表征工具都是因扫描隧道显微镜的发明而逐渐发展起来。

所以，在实验工具方面，这些发明、拓展和应用的工作，都值得我们学习和借鉴。如果在你的科学生涯中遇到了已经发明的重要科学仪器，可以再想想，是否有机会对它做进一步拓展呢？

## 二、从材料角度看科学研究的三个层次。

---

同样，在材料研究领域，我们也可以分为三个层次：发明、应用、拓展。

我们发现、发明一个新材料，找到它的应用，可以思考一下是不是有进一步的拓展。例如我们发现II、VI族的化合物有某一项特殊的应用，我们就可以在同一族找找看性能相近的其他元素，也许可以拓展出性能更优异的新材料。所以，材料科学的研究也有这样三个层次。

### 三、从发现角度看科学研究的三个层次。

我们来重点谈谈科学发现。同样地，科学发现也是有三个层次。

#### 第一个层次是发现

。是指发现一个新的规律、新的效应、新的知识等自然界的“新东西”，也就是“从0到1”。

第二个层次是应用。是把这个“新东西”、新规律应用到某个领域，发挥它的作用。

#### 第三个层级是拓展

。不仅可以应用，我们还能对这个新规律、新知识进行拓展，在其他领域产生新的发现和应用。甚至有时拓展可能与发现同样重要，因为它可能可以使这个材料更加实用，变得更便宜、更便捷。

以巨磁电阻效应为例。

今天我讲一讲大家比较熟知的巨磁电阻效应。当一种材料加上磁场以后，载流子在流动的过程中会受到洛伦兹力影响而发生偏转，从而产生电阻，即磁阻效应。一般情况下，材料的电阻会随着磁场的增加而变大。

1988年，德国科学家Peter Grunberg教授和法国科学家Albert Fert教授发现在铁磁/非铁磁/铁磁材料的三明治结构中，铁磁材料的磁矩方向平行或反平行会引起电阻的巨大变化，这个现象就是巨磁电阻效应。巨磁电阻效应的发现非常重要，两位科学家也因此获得2007年诺贝尔物理学奖。

巨磁电阻效应的应用则具有划时代的意义。当我们用磁介质存储信息的时候，存储单元越小，信息密度就越高，但磁信号也就越弱，也越难探测和控制。

1997年，英国物理学家S. Parkin利用巨磁电阻效应发明了一个非常灵敏的磁头，可以读取微弱的磁矩信息，从而将信息存储的密度一下提高了4个数量级，这就造就了现在台式电脑上所必备的硬盘。硬盘的应用就是基于科学发现，虽然用的是隧穿磁阻(Tunneling Magnetoresistance)，但基本原理是相通的。S. Parkin也因此获得了千禧科技奖(Millennium Technology Prize)。

#### 从霍尔效应到量子霍尔效应。

接下来，我结合我个人的科研经历，讲一讲我对科学研究的三个层次的一些理解。

1879年，美国物理学家霍尔在金属或半导体上施加磁场，发现在垂直于电流和磁场方向会产生一个附加的电势差，这一现象就是霍尔效应。在这个发现的基础上，霍尔又做了进一步的拓展。1891年，霍尔将实验材料更换为磁性材料，不再外加磁场，依靠材料本身的磁性，也能产生霍尔效

---

应，这就是反常霍尔效应。

一百年以后，1980年，德国科学家Klaus von Klitzing发现整数量子霍尔效应。他也因此获得1985年诺贝尔物理学奖。

1982年，美国贝尔实验室的物理学家崔琦和H. Stormer发现分数量子霍尔效应，两人与后来对这一现象作出解释的R. B. Laughlin共同获得了1998年的诺贝尔物理学奖。

2005年，英国科学家A. Geim和俄罗斯科学家K. Novoselov在实验室中制备出石墨烯，发现了半整数量子霍尔效应，并因此获得了2010年诺贝尔物理学奖。

紧接着，三位美国科学家D. Thouless、F. Haldane、J. Kosterlitz发展了拓扑相变和拓扑相物质理论，从物理上解释了量子霍尔效应的机理，从而获得了2016年诺贝尔物理学奖。

由此可见，一个霍尔效应的发现拓展出来更多的科学发现。这就体现出：科学领域、研究方向的选择是多么重要。所以，在科学研究中，“从0到1”的基础上往往还有新的“从0到1”的发现。当你碰到了好的科学问题，你需要紧盯着它，不断攻克它。

#### 四、量子反常霍尔效应的发现过程。

1988年，美国物理学家F. Haldane提出了可能存在不需要外加磁场的量子霍尔效应。但是人们一直未能找到能实现这一特殊量子效应的材料体系和具体物理路径。

2013年，我带领我的研究团队首次从实验上观测到了量子反常霍尔效应。从科学发现的角度来说，这是物理学领域的一项重要科学发现，我们也因此获得了2018年唯一的国家自然科学奖一等奖。作为一名科学家，最荣耀的时刻，是从总书记手里接过获奖证书。我们团队成员王亚愚因此还获得了“科学探索奖”。



量子反常霍尔效应实验属于研究哪一个层次？

从材料的角度看。

前苏联有一位物理界的大师级人物，著名物理学家Lev Landau。他于上世纪30年代提出了基于对称性破缺的相变理论。上世纪80年代，我们刚才讲到的三位物理学家Thouless、Haldane、Kosterlitz提出新的相变理论，不需要对称性破缺就可以实现相变，这就是拓扑相变。

本世纪初，宾夕法尼亚大学的C. L. Kane教授和斯坦福大学的张首晟教授提出了对应拓扑相变的材料——拓扑绝缘体。这种材料可以在不发生对称性破缺的情况下产生相变，这奠定了实现量子反常霍尔效应的基础。C. L. Kane和张首晟提出了拓扑绝缘体的想法之后，许多世界顶级实验室都争相投入到这个研究领域。

到这里，要实现量子反常霍尔效应的材料体系基本上有了，那么我们怎么来实现呢？

从仪器的角度看。

在经过了严格的科学训练和多年的“7-11”科研生活之后，我想在科学仪器上进行一些拓展。于是我们思考，能不能搭一套超高真空分子束外延-扫描隧道显微镜-角分辨光电子能谱联合系统？

我们在2002年把这套系统搭起来了。这样，我们就可以在原子尺度上精确控制薄膜生长，又可以对薄膜生长形貌、缺陷以及电子结构等进行观测。因为这个拓展，我们可以做出世界上最好的薄

---

膜材料，这对量子反常霍尔效应的实现具有非常重要的意义。

量子反常霍尔效应的发现。

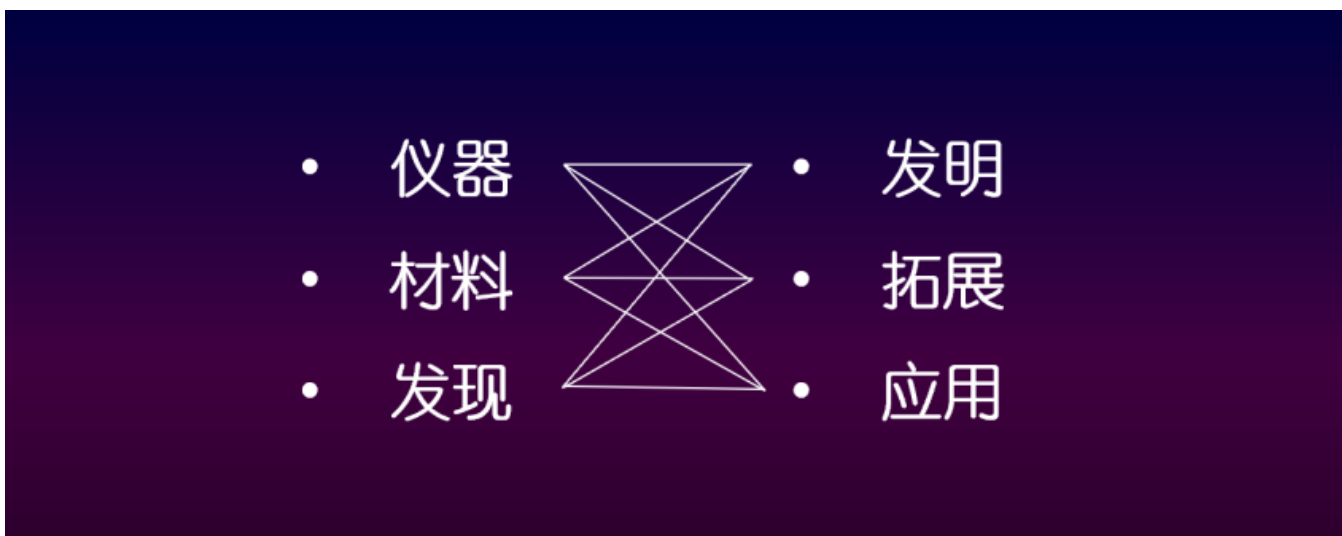
有了高质量的拓扑绝缘体，下一步就是要实现量子反常霍尔效应。拓扑绝缘体本身是不具有磁性的，我们要想办法引入铁磁性。这就要求我们要制备出磁性的、拓扑的、体绝缘的高质量材料。要实现这个目的，就好比是要求一个全能冠军在每一个单项上也必须是世界冠军，这个难度是非常大的。

在这个关键时刻，我们的这套MBE-STM-ARPES设备系统真正有了用武之地。仪器的拓展对我们攻克科学难关起到了至关重要的作用。

当然这个过程也是非常艰难的。常常在近一年的时间里我们没有任何进展。经过了20多位研究生4年多时间的努力，做出了1000多个样品，终于在2012年12月，我们成功观测到了量子反常霍尔效应。

五、总结。

量子反常霍尔效应实验，既有仪器方面的拓展，又有新材料的发现或制备，还有科学的突破，因而是一个比较好的反映三个层次的实验。



现在，很多青年学者已经有了非常好的“金刚钻”，我们能不能为世界科学做点贡献?能不能为国家富强做点贡献?

在我看来，科学研究真正的最高层次是这三点：

一是置身于人民幸福、国家富强和民族复兴事业的家国情

怀。我们必须树立“为国家做贡献”的坚定目标，有“为民族复兴事业而奋斗”的家国情怀。

二是为科技自立自强而奋不顾身的忘我奉献精神

。在座的每一位都是各自领域内的优秀学者，希望各位能够发扬忘我的奉献精神，为国家的高水

---

平科技自立自强做出贡献。

### 三是勇攀世界科技高峰、为国人争光的英雄精神

。在科学上，我们要树立为国争光、为民族争光的英雄主义精神，激励自己勇于攀登科学高峰。

最后，我想用一首我最喜欢的诗作为今天分享的结尾。来自唐代诗人杜甫的《望岳》：

岱宗夫如何？齐鲁青未了。

造化钟神秀，阴阳割昏晓。

荡胸生曾云，决眦入归鸟。

会当凌绝顶，一览众山小。

如果你用“荡胸生曾云”的胸怀与境界去做科学研究，用“决眦入归鸟”的专注和洞察力抓住事物本质，付出艰苦的努力和奋斗，总有一天你会登上更高的科学高峰，“会当凌绝顶，一览众山小”。

希望在座的优秀青年人肩负起时代赋予的使命和责任，树立远大理想，正确处理好三个层次的辩证关系，勇于啃硬骨头，乐于潜心研究，为国家的高水平科技自立自强和人类科技进步贡献青春与力量！

谢谢！

更多 科研头条 请访问 <https://www.iikx.com/news/topnews/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发