

科学向未来

编者按 国家自然科学奖一等奖是我国自然科学领域的最高奖项,主要奖励在基础研究和应用基础研究领域获得重大突破的科学家。由于该奖项评选严格,在历史上曾多年空缺。1月8日,由清华大学薛其坤院士领衔,清华大学、中国科学院物理所联合组成的实验团队完成的“量子反常霍尔效应的实验发现”项目获2018年度国家自然科学奖一等奖。薛其坤教授领衔的科研团队在世界上首次在实验上观测到量子反常霍尔效应,实现了这一基础科学领域的重大突破。薛其坤教授表示,材料生长动力学奠定了他们的研究基础。本期特邀薛其坤院士介绍量子反常霍尔效应发现实验的过程以及背后的材料物理学研究。

量子反常霍尔效应与材料物理学

薛其坤

建立新的科学理论、发现新的科学效应和科学规律是基础研究皇冠上的明珠。量子反常霍尔效应是一个基于全新物理原理的科学效应,是我国独立观测到的为数很少的科学效应之一,是我国物理学工作者对人类科学宝库的一个重要贡献。

面对这项世界级的实验难题,我们科研团队的每一位成员不辱使命、敢为人先、挑战极限、挑战自我、追求极致,严谨求实的科学精神和科研作风是我们取得成功的法宝。具体来说,量子反常霍尔效应的实验发现是清华大学“双一流大学”建设征程中在科研方面的一个标志性成果,也标志着我国拓扑量子物理的实验研究居世界领先地位。而材料生长动力学研究奠定了这个发现的基础,从建立起拓扑绝缘体材料的生长动力学机制的那一天起,我们就奠定了在这项研究的世界领先地位。

1 建立起拓扑绝缘体材料的生长动力学是实验关键的一步

量子反常霍尔效应,对普通人来说,拗口而晦涩。但在物理学家眼中,它神奇又美妙。量子霍尔效应在凝聚态物理中占据着极其重要的地位。整数量子霍尔效应和分数量子霍尔效应的实验发现分别于1985年和1998年获得诺贝尔物理学奖。

量子反常霍尔效应意味着在零磁场中,霍尔电阻跳变到约25800欧姆的量子电阻值。要实现这一不可思议的量子现象,所需要的实验材料必须同时满足三项非常苛刻的条件:材料的能带结构必须具有拓扑特性,从而具有导电的一维边缘态;材料必须具有长程铁磁序,从而存在反常霍尔效应;材料的体内必须为绝缘态,从而对导电没有任何贡献。这就如同要求一个人同时具有短跑运动员的速度、篮球运动员的高度和体操运动员的灵巧,其难度可想而知。

在实际的实验材料中要同时满足这三点对实验物理学家来讲是一个巨大的挑战,美国、德国、日本等国的一流科学家由于无法在

2 量子反常霍尔效应所需要实验材料的三个苛刻条件全部实现

材料生长动力学机制这一关键问题得以解决,但这并不意味着接下来的工作就是一片坦途。毫不例外的,实现量子反常霍尔效应所需的三个苛刻条件带来的种种难题,我们都遇到了。

比如即使是高质量的拓扑绝缘体薄膜,也很难做到真正绝缘;另外在拓扑绝缘体材料中实现自发铁磁序也非常困难。在四年里,我们团队成员共生长和测量了超过1000个样品,并通过一次次的生长、测量、反馈、调整,争取每一步都做到极致。

2010年,我们完成了对1纳米到6纳米(头发丝粗细的万分之一)厚度薄膜的生长和运输测量,得到了系统的结果,从而使得准二维拓扑绝缘体的制备和运输测量成为可能。

2011年,我们实现了对拓扑绝缘体能带结构的精密调控,使其成为真正的绝缘体,去除了体内电子对运输性质的影响。

2011年底,我们在准二维、体绝缘的拓扑绝缘体中实现了自发



2019年1月4日,薛其坤院士在清华大学量子信息中心实验室介绍其团队的成果。

光明图片/视觉中国

3 材料是未来工业革命的关键,超导或定义一个新时代

量子反常霍尔效应可能有助于在未来解决摩尔定律的瓶颈问题,若应用到电子器件中,有望克服包括计算机芯片等很多电子器件发热耗能等带来的一系列问题,推动半导体工业的革命。它的发现或将带来下一次信息技术革命,我国科学家为国家争夺了这场信息革命中的战略制高点,这其中材料和物理学功不可没。

材料是工业革命的基础之一。纵观过去发生的几次工业革命,除了科学的进步,材料的发展起到了极其重要的作用。青铜、钢铁和半导体材料的发展与工业革命和人类文明的进程息息相关。如果有人问,下一个能定义人类文明进步的材料是什么?作为一个科学家,我觉得很可能是高温超导材料,特别是室温超导材料。

超导现象是1911年荷兰的科学家昂内斯发现的,1913年他获得了诺贝尔物理学奖。当温度降低时,绝大部分金属材料的电阻会下降,接近绝对零度的时候材料的电阻会停在一个有限值上。所有的金属材料都这样。但是,超导材料表现则不一样,随着温度的降低,到了超导转变温度时,电阻会陡然下降到零,彻底消失了。这个现象叫超导电性,简称超导。

超导材料另外一个特性是完全抗磁性。由于完全抗磁性,超

导材料会悬浮在一个磁铁上。在超导状态时,材料的电阻为零,如果把材料通上电流,电流就可以永远的流动下去,材料当然也不会发热。在当今社会,电的应用无处不在。可以想象,如果人类找到了在室温下就能超导的材料,其意义将是重大的,甚至不亚于电的发明,它一定会导致工业的革命。导致人类文明的巨大进步。大家都看过电影《阿凡达》,电影中显示了2154年时奇特的悬浮山,这个悬浮山就是由室温超导材料构成的。发明的一种材料是“不可得到的”。

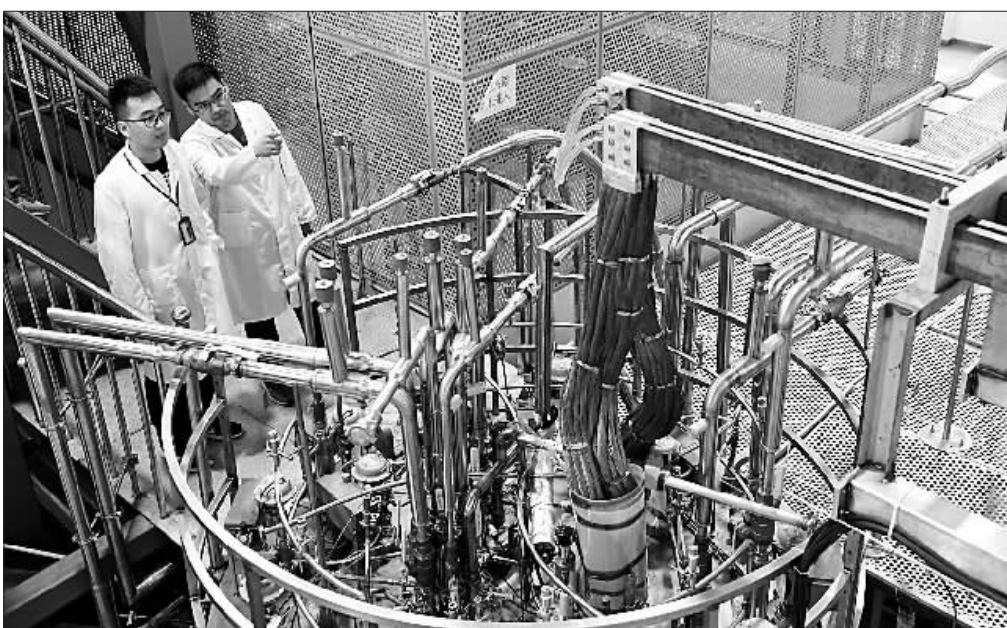
超导的应用很多。大家熟悉的是输电。输电靠导线,目前用于输电的所有导线都是有电阻的,因此浪费电能占到输电量的6%以上。全世界每年因为这种输电线路损耗有1.5万亿度电被浪费掉。如果材料没有电阻了,仅这一项就会节省巨大的能源,这将是一件非常了不起的事情。超导还有其他应用。以清华大学物理系曹必松教授的工作为例,他们使用超导材料后,可以使雷达的探测范围增加200多公里。

但是,超导材料的超导转变温度通常是非常低的。按照超导理论,超导材料是在一个很微弱的相互作用下让互相排斥的电子形成电子对而达到超导状态的,温度效应很容易破坏这个作用,把这些电子对拆散开,这就是为

什么只有在很低的温度下材料才能达到超导状态的原因。也是因为这个原因,寻找高温超导材料,提高超导转变温度一直是物理学一个非常重要的研究方向。就像我们讲经济发展是硬道理一样,提高材料的超导转变温度是高温超导研究的硬道理。1986年,瑞士两个科学家发现了超导转变温度高于77K的高温超导材料。77K是液氮的沸腾温度。这意味着使用价格比较低廉的液氮就可以使材料没有电阻,这对超导的广泛应用意义重大。因为这个重大发现,这两位科学家第二年(1987年)就获得了诺贝尔物理学奖。但是大家在科学上不理解为什么超导能在这么高的温度下存在。如果理解了,就有可能找到室温超导,所以大家都想去理解它。

现在,过了三十多年,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。我们的研究团队目前一个重要科学目标,就是高温超导机理。我们把这个科学目标与材料科学研究密切结合,像攻克量子反常霍尔效应发现的实验一样,我们希望通过材料方面的突破实现这个重大科学目标。也许这是攀登新科学高峰的契机,我们正在牢牢地抓住这个契机,忘我工作。

(作者系清华大学副校长、中国科学院院士)



我国强磁场科学中心自主研发的混合磁体装置。

光明图片/视觉中国

科技随笔

今年初,有两条科学新闻引发了公众的关注:中国的“嫦娥四号”探测器在月球背面软着陆;中国将于2020年实施火星探测任务。

“嫦娥四号”登月,是人类探测器首次在月球背面实现软着陆,它在升空时还携带了一个微型生态系统准备种菜养蚕。科学家表示,这次实验对帮助了解人类未来如何在地外星球生存具有重大意义。

中国的首次火星探测计划稳步推进,因为对人类而言,火星具有与地球非常接近的环境,人类未来是否可能在火星生活一直是公众关注的话题。

人类对于月球和火星,其实一直很有兴趣。比如,《钢铁苍穹》《月球》《阿波罗18号》等以月球为背景的科幻电影。在月球种土豆的情节同样出现在科幻电影《火星救援》中,宇航员马克·沃特尼在火星上也种植了土豆。

所不同的,对于在地球外生活或外星人,以前只能在科幻小说或科幻电影中探讨,现在可以由新闻现实引发遐想。中国、美国、俄罗斯等国家的科学家甚至在论证,要不要在月球建立科研基地,能否利用3D打印技术在月球上利用月壤建房。

随着科技日新月异,科幻与现实的距离,对一些人来说,不过一墙之隔。比如,卡尔·萨根正是因为年幼时观看了一部太空题材的科幻作品,从而被激发起强烈的好奇心,并对天文学产生了浓厚的兴趣,最终成为卓越的天文学家。

不管是科学探索还是科幻电影,对大众而言,他们的热情参与,都是出于对外太空的好奇,对外星生命的期待。这些外太空科学探索和科幻电影,可以很好地活跃人们对于宇宙的梦想,更好反省地球文明。

近年来,随着人们科学素质的提高,越来越多的人开始想象外星生命有可能对人类社会产生的影响。这种假设性的科学构想,是社会的进步。

以中国为例,以科幻电影为龙头的科幻产业,近几年在著名科幻作家刘慈欣作品的带动下开始全面起步。他的《流浪地球》《三体》等作品不仅被科学普及出版社出版多个版本,还被改编成电影。仅在即将到来的猪年春节档就有两部要上映,一部是宁浩执导的科幻片《疯狂外星人》,其灵感源自刘慈欣的《乡村教师》;另一部是

根据刘慈欣同名小说改编的《流浪地球》。

其实,回溯中国科幻电影的发展,在20世纪80年代是“神”大于“形”;20世纪90年代开始追求华丽火爆的特效,以制造视觉奇观为看点,多半是“形”大于“神”;再到现在,科幻电影开始步入泛科幻时代,人工智能、外星生物等题材层出不穷。不变的,是人类对“外星生命”的兴趣依然不减。人们可以借此更好地反思人类在地球和宇宙中的位置。

从这个意义上说,每一次太空探索新闻或科幻电影的出现,都是对大众很好的科普机会,值得每一位科普工作者关注和热情参与。

(作者系中国科普研究所助理研究员,《科普创作》执行编辑)

从2018年全球人工智能数据看未来发展趋势

李颀 凌霞

人工智能作为新一轮产业变革的核心驱动力,正在释放历次科技革命和产业变革积蓄的巨大能量,持续探索新一代人工智能应用场景,将重构生产、分配、交换、消费等经济活动各环节,催生新技术、新产品、新产业。

刚刚过去的2018年,人工智能从基础研究、技术到产业,都进入了高速增长期。根据中国电子学会的统计:2018年全年,全球人工智能核心产业市场规模超过555.7亿美元,相较于2017年同比增长50.2%。数据显示,全球人工智能的发展呈现三足鼎立之势,主要集中在美国、欧洲、中国。美国硅谷是当今人工智能基础层和技术层产业发展的重点区域,聚集了人工智能企业2905家,以谷歌、微软、亚马逊等为代表形成集团式发展,同时在人工智能企业数量、投融资规模、专利数量等方面全球领先。

中国人工智能行业的企业总数达到670家,占全球的11.2%,在论文总量和高被引论文数量上都排在世界第一,同时已成为全球人工智能专利布局最多的国家。在人工智能领域的投融资占到了全球的60%,成为全球“吸金”的国家,投融资主要集中在技术和应用层,出现全球总融资额最大、估值最高的人工智能独角兽企业。

欧洲人工智能企业总数为657家,占全球的10.88%。欧洲通过大量的科技孵化机构助力早期的人工智能初创企业,高新技术产业转化率较高,诞生了大量优秀的人工智能初创企业。值得关注的是,印度成为人工智能领域的后起之秀。目前,已有500多家印度公司部署人工智能,在医疗保健、农业、教育、智慧城市和城市交通5个应用领域发力。

全球市场规模中基础层智能芯片的研发占比仍然最高,约为55.6亿美元。此外,算法模型和智能传感器体量相当;技术层方面,语音识别占据技

术层整体规模的三分之二以上,达到118.9亿美元,图像视频识别次之;应用层市场规模分布较为平均,智能教育和智能安防市场规模分别为43.6亿美元和43.4亿美元,均为16%左右,其他产业发展规模继续保持稳步增长。

笔者认为,聚焦3年以内的短期增长点来看,基础层得益于万物互联趋势日益显著和开源生态的加速构建,智能传感器和算法模型产业将快速增长;技术层中,随着交互精度的提升和边缘智能化的布局,语音识别和计算机可视化迎来良好的市场机遇;应用层中,应用场景多元化延伸拓展为智能机器人产业形成新增长点,全球高度关注公共安全治理推动智能安防产业快速发展,垂直行业应用的不断深入激发智能内容推荐催生了海量的定制化需求。

聚焦5年以内的中期增长点来看,基础层具有可重构能力的智能芯片作为新一代人工智能产业的基础硬件设施,从架构升级到应用场景的落地,都有巨大的市场空间;技术层中由于交互式智能服务渐成风口,自然语言处理向知识驱动持续迈进;应用层中智能医疗随着行业升级需求日益迫切,逐步探索高效率、高质量应用,迎来良好的市场机遇。

聚焦10年以内的长期增长点来看,笔者认为,技术方向仍在规划,市场需求尚未完全显现,用户尚需进一步引导和激发的方向,具备较强研发实力的典型企业与前沿性较强的科研机构已有所布局,但仍基本停留于实验室阶段,资本市场有一定关注。因为尚未出现商业化应用的合适途径,其中由于技术驱动,智能驾驶将呈现“云车互联”发展趋势,智能金融受益于行业数据的支撑全链条服务有望兴起,智能教育将逐步实现全生命周期的定制化、普惠化。

(李颀系中国电子学会研究咨询中心主任,凌霞系中国电子学会博士)