

引力子物理探索研究展现科学的魅力

杜灵杰

开卷知新

许多人了解引力的概念是通过牛顿的万有引力定律。从传说中砸中牛顿的苹果到天上飘落的雨滴，引力无处不在；从牛顿力学到爱因斯坦相对论再到弦理论，数百年来科学家对引力与引力子的探索从未间断。引力子研究是物理学的终极问题之一，有人甚至把引力子视作粒子物理学的最后一块拼图，如果能证实引力子的存在，将是当代物理学乃至整个科学领域的重大突破。

前不久，我所在的科研团队一项最新研究成果在《自然》杂志发表，引发社会关注。我们通过自主设计的实验设备，首次观察到引力子在凝聚态物质中的“投影”，这标志着自20世纪30年代引力子概念提出以来，世界范围内首次在真实系统中发现具有引力子特征的准粒子。在引力子物理的探索道路上，我们朝前迈出了重要一步。

引力子研究对实现广义相对论和量子力学的统一殊为关键

很长时间以来，物理学家一直追求一种大一统理论，希望用它来解释自然界的物理现象。虽然这个目标尚未达成，但这一追求不断推动着物理学的发展，并且深刻影响了科技进步，引发了多次科技革命。例如，牛顿提出的万有引力，统一了地球上的物体和天体的运动规律，并构建了牛顿力学，这直接催生了第一次工业革命；电动力学研究成功地统一了电与磁的概念，催生了第二次工业革命。而今，广义相对论和量子力学在现代物理学中占据要位，分别成功地应用于宏观和微观世界。这两大理论目前还未能实现统一，科学家们在朝着这个目标努力，期待二者的统一能像历史上每一次重大科学突破那样，引领新一轮科技革命。

广义相对论作为目前最为成功的引力理论，指出引力的本质不是物体间的吸引力，而是时空弯曲的一种几何效应。这一理论解释了宇宙中的绝大多数宏观现象，并预言了引力波的存在。想象一下，重球会让紧绷的床单形成凹陷，如果你轻轻地推一个小球过去，它会朝着那个凹陷滚动。在这里，床单类似于物理学中的“度规”（用来描述时空形状的概念），而引力波就是一种源自时空度规波动的现象。近年来，随着“中国天眼”（FAST）和激光干涉引力波天文台（LIGO）等国内外大科学装置多次观测到引力波的相关信号，广义相对论中关于引力是时

空几何效应的观念已被广泛认可。

量子力学则在描述微观世界如原子和亚原子尺度的物理规律方面，取得了巨大成功。自量子力学确立以来，物理学家已经将已知的四种基本作用力中的三种——强相互作用力、弱相互作用力和电磁力——成功地统一到量子力学的理论框架内。然而，引力仍未被纳入这一框架中。类似于光子是电磁波在量子世界中的表现，科学家推测引力波在量子世界中的粒子是引力子。物理学家一直试图通过引力子这一概念，将引力融入量子力学的体系，从而实现四种基本作用力的完全统一，也即广义相对论与量子力学的统一。

引力子研究凭借其在物理学中的重要性，引起广泛而强烈的学术关注。然而，宇宙中的引力子信号很难探测，难度远超超引力波。有物理学家指出，即使利用与地球质量相当的理想探测器，也可能需要超过10亿年才会探测到一个来自太阳的引力子。到目前为止，尚未有引力子的实验证据被报道，引力子物理的研究主要还是停留在理论上。

凝聚态系统中的引力子激发具有和引力子类似的特性

相较于遥远的宇宙，生活中大部分可见物质都是凝聚态，通常包括固态和液态。凝聚态系统中，大量的电子、分子等单体之间相互作用，导致系统呈现出区别于单体的特征。科学家已经发现凝聚态系统存在着和宇宙中的粒子类似的物理性质。凝聚态物理和量子引力这两个领域开始交汇。

有理论物理学家提出猜想：在分数量子霍尔态中，可能存在具有引力子特征的准粒子，表现为低能集体激发，即大量电子集体性的能量跃迁——就像平静的湖面上突然激起数不清的、不同形状的涟漪。分数量子霍尔态是一种超越传统固体物理框架的强关联物质形态，代表了当代凝聚态物理学研究的前沿。分数量子霍尔效应只有在极端条件下才会被观测到，它的出现打开了人类认识世界的一扇窗口。分数量子霍尔效应一般可以形象地理解为“特殊电子”（如一个电子与两个磁通量子相结合）在二维平面上沿圆形轨道运动，这些圆形轨道通常被认为是固定不变的。然而，近年来已有物理学家指出：存在一种长期被忽视的量子度规，在这一新框架下，轨道形状是可变的。这种随

时间变化的轨道几何形变，能够将“特殊电子”推向同心圆的次近邻轨道，这个效应带来了引力子激发。引力子激发不仅具有和引力子类似的特性，而且还可以通过相应的量子引力方程来描述。

但是，寻找引力子激发的道路同样挑战重重。

引力子激发的首次实验发现为量子引力物理开辟了新途径

引力子激发的探测需要依赖双光子过程的非弹性光散射实验。这种实验对设备的要求极为苛刻且看似矛盾。一方面，实验需要在极低温度下进行（约50毫开尔文，零下273.1摄氏度）并且需要强磁场支持（约10特斯拉），一般通过稀释制冷机来实现；另一方面，实验中使用的可见光及制冷机的透光窗口辐射，容易将温度升至100毫开尔文以上。此外，实验测量也对制冷机脉冲管带来的振动极为敏感。更为复杂的是，由于引力子激发的能量极低（最低可至70吉赫兹），实验需要在微波波段实现共振非弹性光散射测量，即使在室温条件下也极具挑战。因此，这一实验一直被认为是极难完成的任务，无论是从实验技术，还是从基础物理创新角度，都意味着从0到1的突破。

经过多年努力，南京大学自主设计并集成组装了一套基于稀释制冷技术的极低温强磁场共振非弹性偏振光散射系统。这台特殊的设备能够在零下273.1摄氏度的环境中捕捉到最低至10吉赫兹的微弱激发并判断其自旋。利用这一先进设备，实验团队近日在砷化镓半导体量子阱中成功观测到分数量子霍尔效应中的引力子激发。通过共振非弹性光散射，团队从自旋、动量和能量的角度确认了引力子激发的实验证据。

这项工作标志着科学界首次在实验中观察到具有引力子特征的准粒子，首次在真实的凝聚态系统中揭示了引力子物理的量子规律，为探索量子引力物理开辟了新的途径。想象一下，原本可能需要建造行星级别的探测器才能研究引力子的奥秘，

如今在一个房间大小的实验设备中，就可以一窥其深奥的物理规律。

引力子激发的发现，为分数量子霍尔效应的量子几何理论提供了关键实验证据，打开了关联物态的几何效应实验研究的新方向。以往人们在研究分数量子霍尔效应时，主要关心其拓扑性质，而忽视量子几何的重要性，实际上量子几何与拓扑一样，对理解物质的关联性质极为重要。引力子激发的发现，有助于我们更深入地理解物质的微观结构和相互作用机制。未来的新型电子器件和新型材料可能得益于这种对物质微观结构的更深入理解。此外，引力子激发的研究有助于揭示拓扑量子计算的物理机制，推动相关应用的发展，带来信息处理速度的极大提升，网络通信、大数据、人工智能等领域将迎来新的发展机遇。

科幻小说《三体》这样描绘基础物理的重要性：当一个文明掌握了更加基础的物理规律之后，可以发展出领先于其他文明的科技水平。有关引力子的探索研究，正是基础物理的重要组成部分。目前，引力子激发这一实验发现，已经引起世界范围内科学工作者关注。很多理论物理学家已经投入到凝聚态宇宙的量子引力物理研究中，提出了有趣且富有想象力的研究方案。这给予我们实验物理工作者很大启发，我们将继续推进相关研究，升级实验设备，从而更好探索奇妙的物理世界，以科学研究为发展新质生产力作出贡献。

（作者为南京大学物理学院教授）
因为在分数量子霍尔效应中探测到的引力子激发（示意图）。

杜灵杰供图
版式设计：沈亦伶

推荐读物

《从零开始读懂量子力学》：戴瑾编著；北京大学出版社出版。
《通往实在之路》：罗杰·彭罗斯著，王文浩译；湖南科学技术出版社出版。
《最初三分钟：关于宇宙起源的现代观点》：史蒂文·温伯格著，王丽译；重庆大学出版社出版。

如何从国家层面和产业层面制定与发展阶段、产业特性相适应的知识产权战略，是一个具有重要学术价值与实践价值的课题。

贯彻新发展理念是新时代我国发展壮大的必由之路。其中，创新是第一动力，对经济发展具有非常重要的意义。经济发展的一个重要表征就是生产力和收入水平不断提高。科技的创新、新质生产力的涌现将推动现有产业技术不断升级，助力劳动者生产出数量种类更多、质量更优的产品，同时推动附加价值更高的新兴产业不断涌现，劳动力、资本、土地等要素也得以从附加价值比较低的产业配置到附加价值更高的产业。由唐恒、王勇和赵秋运三位作者所著的《新结构经济学视角下的中国知识产权战略：理论与案例》（以下简称《知识产权战略》）一书，将创新、知识产权与当前我国不同产业发展的实际情况相结合，探讨如何构建合适的知识产权制度，从而激发创新潜力，推动高质量发展。

经过改革开放以来40多年的快速发展，我国人均GDP已经达到12500美元左右，接近高收入国家13845美元的门槛，并且和世界各国相比，我国拥有门类最为齐全的制造业。当前百年未有之大变局加速演进，新一轮科技革命方兴未艾，如何抓住机遇，统筹发展和安全，完整、准确、全面贯彻新发展理念？新结构经济学根据产业和世界技术前沿的差距、是否符合比较优势、该产业技术研发周期长短这3个标准，将我国现有产业分成五大类，各类产业的创新方式各有不同。

第一类是追赶型产业，这类产业和发达国家相比还有技术差距，具有后来者优势，不少传统的装备制造属于这一类型。第二类是领先型产业，如家电、造船、高铁、移动通信终端等产业，我国在这些领域的技术处于世界前列。第三类是转进型产业，这类产业我国过去有比较优势，随着资本积累、工资水平提高，需要升级到“微笑曲线”两端或转移到工资水平比较低的地方创造第二春，劳动力密集的加工业属于这一类型。第四类是换道超车型产业，这类产业技术研发周期很短，通常十几个月就开发出一个新产品、新技术，其技术研发中最主要的投入是人力资本，大数据、人工智能等第四次工业革命中的许多产业即属于这一类型。在这种换道超车型产业上，我国凭借丰富的人力资本、超大规模的国内市场以及最齐全的硬件制造产业，不仅和发达国家站在同一起跑线上，还拥有独特优势。第五类是战略型产业，其产品的研发周期很长，可能是10年、20年，既需要投入大量的人力资本，也需要资金支持，这类产业尚不符合我国当前发展阶段的比较优势，但是关乎国防和经济安全，即便没有比较优势，我们也必须以新型举国体制自主发展。

这五类产业的创新方式各有不同，但无论是靠自主研发的领先型产业、换道超车型产业、战略型产业以及向“微笑曲线”两端转移的转进型产业，还是可以采用引进、消化、吸收、再重新作为新技术来源的追赶型产业，都需要与其技术创新方式相适应的知识产权保护方式，如此才能通过创新来提升新质生产力，推动技术进步、产业发展。

如何从国家层面和产业层面制定与发展阶段、产业特性相适应的知识产权战略，是一个具有重要学术价值与实践价值的课题。《知识产权战略》以新结构经济学为基本原理，重点结合上述五大类产业划分，展现中国在经济学以及知识产权制度创新方面的探索与实践。该书还综合知识产权“创新之法”与“产业之法”的基本功能，探讨我国知识产权强国建设历程，尝试在战略层面为因势利导推进我国产业由比较优势向竞争优势转化提供新思路，为推动国内产业企业乘势而起提供有益参考，也向世界提供一个了解中国的窗口，展现中国作为世界大国的担当与作为。

（作者为北京大学新结构经济学研究院院长，第十四届全国政协常委、经济委员会副主任）



《新结构经济学视角下的中国知识产权战略：理论与案例》：唐恒、王勇、赵秋运著；北京大学出版社出版。

读 书

乡村里的童年 歌声里的梦想

周长青



《紫云英合唱团》：吴洲星著；二十一世纪出版集团出版。

们树立积极的世界观、人生观、价值观。这种情感交流和教育方式深受孩子们喜爱，对他们今后的成长也有不可估量的积极影响。对小雨老师来说，坚守乡村教育并不意味着单向的付出与奉献，还意味着自我价值的实现和精神的充实。小说最后，小雨老师决定建一座虚拟民歌博物馆，展示她收集记录的民间艺人的民歌小调，让美好的歌声被更多人听见。

作品中，音乐元素贯穿始终，成为推动故事情节发展的关键要素。是音乐让孩子们成为一个团队，唱歌不仅成了爱好，也是他们心灵的抒发，这一巧妙构思引发读者思

索艺术教育的独特作用和儿童美育的现实需求。作品还将传统民间音乐融入小说叙事，赋予小说主题以一定历史感。从丰富多彩的中国传统音乐中，我们能够感受中华优秀传统文化的魅力，感悟中华民族寄寓于音乐中的热爱生活、乐观向上的精神传承。

对这样一部现实题材儿童文学作品，作者还自觉进行社会场景和文化意涵的丰富与深化，试图增强现实书写的成色与分量。浙东地区的民间艺术、文化活动和风俗习惯等，在小说中得到生动展现，增添了人物生活场景的真实氛围，也增强了身临其境的阅读体验。草籽花、糉年糕等具有地域特色的风物与美食，传递生活气息，从一个侧面折射出地域文化的生机活力。

乡村里有怎样的童年？歌声里有怎样的梦想？《紫云英合唱团》以独特叙事角度展现孩子的内心世界，绘就了一幅乡村教育画卷。乡村儿童生活与心灵图景、乡村教师的坚守与奉献、美育的现实作用、乡村教育对乡村全面振兴的意义，这些都是人们关切的话题，也是当代文学可以深入挖掘与表现的主题。《紫云英合唱团》从儿童文学的视角作出了回应。就选题的丰富性与开掘的深度而言，乡村题材儿童文学还需要更多尝试探索。

（作者为鲁迅文学院副院长）

新书架



《和平长江》：徐春林著；长江出版社出版。

该书按时间线索讲述长江历史，重点书写新中国成立以来长江流域得到妥善治理、保护、开发的历程。



《中国式现代化的文化基因》：彭璐、肖伟光著；中华书局出版。

本书从推进中国式现代化的维度，探讨中华优秀传统文化的丰富内涵和当代价值。