

# 基础前沿交叉领域进展与趋势

刘小平<sup>\*,1,2</sup> 陈欣<sup>1</sup> 吕凤先<sup>1</sup>

(1. 中国科学院文献情报中心,北京 100190;

2. 中国科学院大学经济与管理学院图书情报与档案管理系,北京 100190)

**摘要:**基础研究是科技强国和现代化强国建设的基石,世界主要发达国家重视基础研究战略部署,全球科技竞争不断向基础研究前移。本文从基础交叉前沿领域国际重要的规划和计划,以及领域最新进展和重大突破着手,分析了目前基础前沿交叉领域发展的新方向和新趋势。分析结果显示,数学各分支更加深入交叉融汇,尤其是与自然科学、工程技术与社会科学更加广泛的交叉融合;大数据和人工智能的发展、新材料和新效应的发现,将会极大推动凝聚态物理、软凝聚态物理和材料物理的发展;引力波、中微子、宇宙射线天文学打开了观测宇宙的新窗口,天文学观测进入多信使时代;天文学观测视角从陆地拓展到极地,从地基拓展到空基;天文学观测进入多平台时代;化学通过与生命、医学、材料、环境、能源等其他学科的交叉融合,不断发现新问题、发展新方法、开辟新方向;纳米科技将成为推动世界各国经济发展的重要驱动力之一,越来越受到世界各国关注,纳米科技由基础研究向应用研究及产业化转变;量子计算时代即将来临,到 2030 年量子计算的应用市场规模可达 500 多亿美元,量子计算将在未来 25 年走向技术成熟。

**关键词:**基础研究;重大进展;新趋势

中图分类号:O1;O3;O4;O6;P1 文献标识码:A

doi:10.16507/j.issn.1006-6055.2019.02.003

## Development Trends of Basic Research and Frontier Research

LIU Xiaoping<sup>\*,1,2</sup> CHEN Xin<sup>1</sup> LV Fengxian<sup>1</sup>

(1. National Science Library, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;

2. Department of Library, Information and Archives Management, School of Economics and Management, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

**Abstract:** Basic research is the cornerstone of constructing a strong country in science & technology and a modern powerful country. The world's major developed countries attach great importance to the strategic deployment of basic research, and global science & technology competition is moving forward to basic research. Based on the policies and strategies of leading countries, this paper analyzes the new directions and trends in the development of the basic frontiers. The results show that the branches of mathematics become increasingly cross-integrated, especially with subjects such as natural science, engineering technology and social sciences. The development of big data and artificial intelligence, and the discovery of new materials and new effects will greatly promote the development of condensed matter physics, soft condensed matter physics and material physics; gravitational waves, neutrinos, and cosmic ray astronomy open a new window for observing the universe, with astronomical observations enter the era of multi-trust; astronomical observations expand from land to polar, from ground-based

\* 通讯作者, E-mail: liuxp@mail.las.ac.cn

to space-based, entering an era featuring in multi-platform; integrated with life, medicine, materials, environment, energy and other disciplines, basic research in chemistry discovers new problems, develops new methods, and opens up new directions; nanotechnology will become an important driving force of economic development, has attracted increasing attention globally, and its research focus has shifted from basic research to applied research and industrialization. The era of quantum computing is coming soon. By 2030, the application market of quantum computing will reach 50 billion dollars. Quantum computing will mature in the next 25 years.

**Key words:** basic research; significant progress; new trends

基础研究是科学体系、技术体系、产业体系的源头,是科技强国和现代化强国建设的基石。进入21世纪以来,新一轮科技革命和产业变革蓬勃兴起,科学探索不断深入,学科交叉融合更加紧密,宇宙演化、物质结构等一系列基本科学问题孕育着重大突破。世界主要发达国家重视基础研究战略部署,全球科技竞争不断向基础研究倾斜<sup>[1]</sup>。本文从基础交叉前沿领域的国际重要规划和计划,以及领域最新进展和重大突破着手,分析了目前基础前沿交叉领域发展的新方向和新趋势。

## 1 基础前沿交叉领域重要战略规划与布局

### 1) 美国、中国、南非强化基础研究战略部署

美国国家科学基金会自成立以来,一直重视支持基础研究,2018年2月发布《塑造未来:投资科学发现与创新》<sup>[2]</sup>的2018—2022财年战略规划,制定了拓展科学、工程和学习领域的知识,增强国家应对当前和未来挑战的能力,加强NSF在其使命中的表现三大战略目标,新的技术、新增的可用数据以及新的融合型科学研究方法为NSF创造了大量机遇,量子科学、人类—技术前沿、多信使天文学和数据革命等领域有可能取得重大进展与突破。

我国高度重视基础研究的发展,2018年1月出台《国务院关于全面加强基础科学研究的若干意见(国发〔2018〕4号)》,旨在完善基础研究布

局,建设高水平研究基地,壮大基础研究人才队伍,提高基础研究国际化水平,优化基础研究发展机制和环境。

南非科技部2017年12月发布《国家基础科学发展支持框架》<sup>[3]</sup>,促进和支持基础科学领域的人才发展,加强基础科学研究与开发能力,改进基础科学研究的基础设施,加强基础科学教育,支持研究产业面临的基础科学问题,旨在解决南非基础科学缺乏系统性支持、部分学科支持薄弱、基础科学人才资源短缺等问题,确保南非基础科学的可持续发展。

### 2) 美国加强在数学生物学、高能物理前沿研究、超快科学等交叉、前沿领域的重要战略规划和项目部署

美国国家科学基金会与西蒙斯基金会合作,于2018年5月提供4000万美元资助新建4个数学生物学中心<sup>[4]</sup>,将数学思想、方法和工具引入生物学研究,用于揭示生命规律。美国能源部2018年7月投资7500万美元,资助77个项目进行高能物理前沿研究<sup>[5]</sup>,研究内容包括希格斯玻色子、中微子、暗物质、暗能量以及寻找新物理等主题的实验和理论研究;此外,能源部7月宣布未来三年提供3000万美元资助10个项目,推动超快科学发展<sup>[6]</sup>,涉及材料和化学两大领域,将在飞秒尺度探测材料和化学过程,研究催化行为、化学反应中电子的运动和交换、量子效应等,以加速新材料的发现,加深对化学过程的认识,增强在原

子和分子层面控制物质行为的能力。

3) 美国大幅度增加高性能科学与工程计算<sup>[7]</sup>的投入,以重夺超级计算的霸主地位,保持美国在高性能计算领域的领导地位

美国能源部2018年4月投资18亿美元资助第二轮超级计算机合作研发计划,整合全美最先进的计算机技术、专业知识和资源,加速推进新一代百亿亿次超级计算机的研发,通过建模与仿真、高性能数据分析、人工智能以及机器学习应用等手段,实现在科学和工业领域的突破;此外,能源部“先进科学计算研究计划”2018财年的预算从2017财年的6.47亿美元增加到7.22亿美元。美国管理和预算办公室与白宫科技政策办公室2018年7月向各政府机构领导人发布主题为“2020财年行政机构研发预算优先事项”的备忘录,提出要优先考虑能保持美国在战略计算方面领先地位的研究和基础设施。国家科学基金会同月发布“计算和通信基础核心”项目指南,支持算法理论的潜在变革性项目,主要针对计算机科学和工程核心问题的算法研究,并对算法和计算复杂性进行严格分析的新技术,以促进算法创新<sup>[8]</sup>。

4) 美日英制定光学领域的规划与计划,瞄准重大科学问题,以确保在光学领域的持续竞争力

美国科学院2018年发布《高强度超快激光发展机会—实现最亮的光》<sup>[9]</sup>报告,指出二极管激光泵浦技术、半导体激光、光纤几何形状的固态激光器的发展方向。美国国防高级研究计划局2018年11月启动“极端可微缩性封装中的光子学”项目<sup>[10]</sup>,旨在通过开发用于数字微电子的高带宽光学信号技术来实现系统可微缩性,该项目开发的高效、高带宽以及封装级光子信号对于商业和国防领域至关重要。

日本综合科学技术创新会议2018年7月发

布第2期战略性创新推进计划<sup>[11]</sup>,资助“利用光和量子的社会5.0实现技术”,研发激光加工、光量子通信、光电信息处理等。

英国物理学会2018年5月发布《光子学的兴起》报告<sup>[12]</sup>,前瞻光子学发展重要领域,这对解决英国的老龄化社会,人工智能与数据驱动的经济、清洁增长,未来汽车等工业战略中的挑战至关重要。

5) 美欧英德荷等抢抓量子科技发展机遇

美国众议院2018年通过了“国家量子计划法案”<sup>[13]</sup>。美国政府问责办公室2月发布的2018—2023年战略计划指出,量子信息科学是可能推动颠覆性技术革命的科技前沿之一,对其进行持续投资将至关重要。美国国家科学技术委员会9月发布《量子信息科学国家战略概述》,志在推动量子信息科学加速发展。能源部科学办公室2019年量子信息科学的总预算增加至1.05亿美元,以解决在量子信息科学领域“建立美国能力和竞争力的紧迫性”问题。

欧盟委员会2018年10月公布了其为期10年、总金额10亿欧元的量子技术旗舰<sup>[14]</sup>计划,涵盖量子网络、量子计算机、原子钟和安全通信等领域。英国向其量子研发中心增加投资2.35亿英镑<sup>[15]</sup>。德国承诺在4年内为量子研究提供6.5亿欧元的资助。

6) 美日欧持续重视纳米科技发展,制定各自重点研发方向

继美国布鲁克海文国家实验室功能纳米材料中心2018年3月发布五年战略规划后,美国国家纳米技术计划8月发布了2019年的重点研发方向,涉及化学传感器、“智能”分子传感机器、量子传感器、纳米生物传感器、纳米生物材料、碳纳米管复合材料、纳米机器、纳米生物结构材料、自旋

电子学、基于纳米光子的储层计算等。

日本文部科学省2018年6月发布《纳米技术和材料科学技术研发战略(草案)》<sup>[16]</sup>,提出战略性和可持续发展的研究领域包括:有助于元素和物质的循环以及新性能开发的下一代元素,分子技术,物联网/人工智能时代的创新设备,生物材料,能源转换、存储、高效利用的创新材料,结构材料,可用于革新机器人的材料等。

同年,欧盟委员会为其第九框架计划确定新的六大关键使能技术,其中先进材料和纳米技术是其中之一。欧盟委员会的“地平线2020”2018—2020财年工作计划的投资额约为300亿欧元<sup>[17]</sup>,其中,纳米技术、先进材料、生物技术和先进制造和加工(NMBP)的经费总预算为16.5亿欧元<sup>[18]</sup>。

## 2 重要研究进展

### 2.1 基础数学、计算数学、应用数学、交叉科学领域

2018年世界数学科学研究奋力前行,在抗癌症、解释疫苗防病机制、建模细菌相互作用等方面助力前沿医学研究取得一系列重要成果,自身也取得多项重大进展。被人们视为数学最高荣誉的菲尔兹奖发布,英国剑桥大学贝尔卡、瑞士苏黎世联邦理工学院的费加里、德国波恩大学的舒尔茨和美国纽约大学的文特卡什四位数学界的顶级专家获得此殊荣。1月,最大的素数记录被刷新,这个素数有2300多万位,比上一记录多了100多万位。3月,日本科学家开发出在下一代超级计算机上应用的、可模拟人脑整体神经电路的新算法,不仅节省内存,还可大幅提高模拟速度。7月,科学家发现了新的三维形状——扭曲棱柱,可用于解释大自然如何有效地将细胞包装成三维结构。

9月,世纪最著名的数学家之一、菲尔兹奖和阿贝尔奖获得者、前英国皇家学会主席阿蒂亚(Michael Atiyah)爵士声明证明黎曼猜想,并在德国海德堡获奖者论坛上发表相关演讲。他基于冯·诺依曼、希策布鲁克和狄拉克的方法把相对论引入量子力学,建立相对论形式的薛定谔方程的相关工作,给出一个使用全新方法的简洁证明。

### 2.2 凝聚态物理、粒子物理学、天文学领域

#### 2.2.1 凝聚态物理促进新材料的发现

2018年凝聚态物理领域最引人瞩目的一个发现就是双层石墨烯的超导性,由美国和日本的研究人员共同完成。这一发现使得“魔角”双层石墨烯成为超导家族的新成员,开启转角电子学新时代<sup>[19]</sup>,并推动了石墨烯研究中的一系列重要进展:科学家已经发现了一种微调两层石墨烯之间转角的方法并可以通过这种方法控制电子的性质;进一步的理论研究揭示了双层和三层石墨烯中的电子跃迁;理论物理学家指出,非常规超导体具有巨大潜力,包括拓扑超导电性、材料边界存在拓扑的“马约拉纳态”;在二维材料中施加转角可以抑制反转散射(U-过程),这种散射会降低高温下载流子的迁移率。

美科学家发明了一种能在原子层面“无缝缝制”两种超薄晶体的新技术,这将为制造高质量新型电子产品提供可能。在电子学领域,两种不同半导体接触形成的界面区域“异质结”是太阳能电池、LED(发光二极管)和计算机芯片的重要构件。两种材料的接触界面越平坦,电子流动越容易,产品性能越优越。这种材料将有助于开发出柔性LED、几个原子厚度的二维电路以及拉伸后可以变色的纤维等。

我国科学家首次在铁基超导体中观察到了马约拉纳任意子。这种马约拉纳任意子纯净度较

高,能够在相比以往更高的温度下得以实现,且材料体系简单。该发现或对稳定的高容错量子计算机研发有极大帮助。

2.2.2 粒子物理学研究持续取得突破性进展,宇宙探秘不断深入

**希格斯物理和新物理寻找领域,探测到希格斯玻色子与顶夸克粒子的相互作用。**2018年,欧洲核子研究中心的CMS和ATLAS实验组探测到希格斯玻色子与顶夸克之间的相互作用。他们还首次观测到希格斯玻色子到顶夸克的衰变模式,完成了希格斯粒子与第三代费米子直接相互作用的实验观测<sup>[20,21]</sup>。中国ATLAS和CMS研究团队在这些结果中做出了重要贡献。

**日本科学家发现一种名为“微泡内爆”的全新粒子加速机制。**日本科学家利用超级计算机模拟,在理论上预言了新粒子双重子态粒子“ $\Omega\Omega$ ”的存在,有望阐明基本粒子夸克如何组合成物质这一现代物理学的根本问题。

**首次探测到来自耀变体的中微子,推动多信使天文学进入新时代。**2018年,南极冰立方中微子天文台首次观测到耀变体发出的高能中微子信号<sup>[22]</sup>,并且与美国费米伽玛射线太空望远镜等全球多家光学望远镜观测到的信号一致,首次实现了高能中微子信号参与的多信使天文学观测。这次耀变体的观测和2017年中子星合并事件的引力波和光学信号联合观测一起推动了多信使天文学时代的来临。

**中微子难题再次复杂化。**美国费米实验室迷你升能器微中子(MiniBooNE)实验发现了“惰性中微子”,与已知的三个中微子味(电子味、 $\mu$ 子味、 $\tau$ 子味)不相符<sup>[23]</sup>,这一结果也进一步验证了液体闪烁器中微子探测器(LSND)实验的早期结果。MiniBooNE和LSND的反常信号与其他加速

器和反应堆实验产生的中微子相关结果存在矛盾<sup>[24]</sup>。MiniBooNE的新结果重新点燃了对中微子相关领域的广泛关注。此成果被《科学》杂志评为2018年度最重要的十大科学突破之一。

**暗物质探测向更高的灵敏度推进。**2018年,暗物质探测向更高的灵敏度推进,一方面在探测器体量和暗物质数据量上不断积累提升,另一方面各种新型探测方式在不同暗物质参数空间得到验证。中国在直接探测、间接探测和对撞机探测这3个方面积极主导或者深度参与,继续发挥着举足轻重的作用。

**暗物质领域在2018年有很多“动荡”。**弱相互作用有质量粒子是被最广泛讨论的暗物质候选者,但是近来其他候选者逐渐引起注意。其中,美国的LIGO和欧洲的VIRGO天文台联合探测到双黑洞合并产生引力波之后,原始黑洞得到了广泛关注。此成果被《科学》杂志评为2018年度最重要的十大科学突破之一。

2.2.3 2018年是天文学稳步前进的一年

**天文学家测定迄今最精确宇宙膨胀速度。**2018年7月,一个国际研究团队通过用天文望远镜确定星系距离,测得迄今最精确的宇宙膨胀速度(即哈勃常数),73.5公里/(秒·百万秒差距),即一个星系与地球的距离每增加百万秒差距,其远离地球的速度就增加73.5公里/秒。

**引力波研究从个别研究向样本研究转变。**继2016年轰动世界的首次直接探测到引力波,2017年再次轰动世界的首次直接探测到中子星并合产生的引力波及其伴随的电磁信号之后,2018年引力波研究热度不减,截至2018年11月,引力波探测器LIGO和Virgo已经探测到超过10个引力波事件,发布第一版引力波事件源表<sup>[25]</sup>,标志着探测到的引力波事件数有了量级的变化,引力波研

究从个别研究向样本研究转变。

### 2.3 合成与催化、理论与机制、分析与测量等化学核心领域

2018年,化学在新分子创制<sup>[26]</sup>、催化与反应<sup>[27]</sup>、手性科学等核心领域取得重要进展。手性研究在发现新类型的手性异构现象<sup>[28]</sup>、颠覆教科书的手性合成方法<sup>[29]</sup>、外场调控的手性分离、新颖的手性材料<sup>[30]</sup>等方向频频取得突破。机器学习与人工智能等新技术给化学研究注入新的活力。美国化学家利用机器学习算法预测分子的性质、探索新的反应<sup>[31]</sup>;利用化学合成机器人优化合成路线<sup>[32]</sup>,摆脱枯燥乏味且危险的实验室工作,更加有目的、有效地创制新物质。德国慕尼黑工业大学开发出一种新的纳米机器人电驱动技术,可使纳米机器人在分子工厂像流水线一样以足够快的速度工作,有望快速发现化学试样中特定物质或合成复杂分子。科学家用电子束取代传统的X射线,快速发现分子结构。化学在与生命、材料科学的交叉中焕发出新活力,极大地拓展了自身的发展空间。中国化学研究再上新台阶,在化学反应机制与理论、合成化学、材料化学、环境化学、化学工程等多个领域产生原创性突破。中国科学院上海有机化学研究所马大为、南开大学周其林和四川大学冯晓明,因在发明新催化剂和新反应方面的创造性贡献,获得了2018未来科学大奖物质科学奖。

### 2.4 纳米材料、纳米能源、纳米生物医药领域

**纳米材料领域**,科学家们在超强碳纳米管纤维领域取得重大突破,首次合成具有拓扑性质的石墨烯纳米带且探测到石墨烯材料的拓扑性质,开发出5纳米存储元器件,开发出“纳米阀门”,提出DNA纳米自组装新方法。

**纳米能源领域**,2018年,科学家们采用新型

电荷选择性材料改性、光吸收改善、硅纳米陷光结构构筑、硅表面钝化和硅/金属界面接触电阻降低等策略,提升了太阳能电池转换效率,同时,降低了成本;中国科学家成功制备了具有多级结构的银纳米线——石墨烯三维多孔载体,并负载金属锂作为复合负极材料,这一载体可抑制锂枝晶产生,从而实现电池超高速充电,有望大幅延长锂电池“寿命”;中国科学家基于疏水性纳米纤维高分子研发出新型可穿戴摩擦纳米发电机;日本科学家开发出一种基于纳米图案化有机太阳能电池的自供能超柔性生物传感器,实现了对心率的实时精准监测。

**纳米生物医药领域**,2018年,天津大学科学家制备出非致病、可穿膜,并能定向传递的仿病毒纳米颗粒,可成功地混进病毒圈,把基因药物送到目的地。

## 3 领域发展趋势展望

1) **数学**:各分支更加深入交叉融汇,尤其是与自然科学、工程技术与社会科学更加广泛的交叉融合。

2) **物理学**:将继续与数学、化学、生物学、环境、能源等其他学科的交叉、渗透和融合;物理研究对象将更加复合化、多样化,更加强调多功能、可调控性;大数据和人工智能的发展、新材料和新效应的发现,将会极大推动凝聚态物理、软凝聚态物理和材料物理的发展。

3) **天文学**:观测手段已从光学波段扩展到全电磁波段;引力波、中微子、宇宙射线天文学打开了观测宇宙的新窗口,天文学观测进入多信使时代;天文学观测视角从陆地拓展到极地,从地基拓展到空基;天文学观测进入多平台时代;天文学观测向更高灵敏度,更高空间、时间和光谱分辨率,

更强集光本领和更大视场发展。

4) **化学**:通过与生命、医学、材料、环境、能源等其他学科的交叉融合,不断发现新问题、发展新方法、开辟新方向。

5) **纳米科技**:将成为推动世界各国经济发展的重要驱动力之一,越来越受到世界各国关注,在电子、信息、生物、化工、医药、机械、交通、国防等领域有着重要意义和广泛的应用前景。纳米科技更将致力于多学科融合解决重大挑战问题。纳米科技由基础研究向应用研究及产业化转变。

6) **量子计算**:量子计算时代即将来临。2018年5月,波士顿咨询公司的《即将来临的量子计算飞跃》<sup>[33]</sup>报告指出,量子计算时代即将来临。预计到2030年,量子计算的应用市场规模可达500多亿美元。量子计算将在未来25年间经历三代发展走向技术成熟。2018年10月,Gartner公布2019年量子计算发展趋势<sup>[34]</sup>,量子计算真实的应用范围已经从个性化医疗走向图像识别优化等一系列广泛现象。

### 参考文献

- [1] 中华人民共和国中央人民政府. 国务院关于全面加强基础科学研究的若干意见 [EB/OL]. 2018-01-31. [http://www.gov.cn/zhengce/content/2018-01/31/content\\_5262539.htm](http://www.gov.cn/zhengce/content/2018-01/31/content_5262539.htm).  
Government of the People's Republic of China. Several Opinions of the State Council on Comprehensively Strengthening Basic Scientific Research [EB/OL]. 2018-01-31. [http://www.gov.cn/zhengce/content/2018-01/31/content\\_5262539.htm](http://www.gov.cn/zhengce/content/2018-01/31/content_5262539.htm).
- [2] NSF. Building the Future Investing in Discovery and Innovation NSF Strategic Plan for Fiscal Years (FY) 2018-2022 [EB/OL]. 2018-02-10. <https://www.nsf.gov/pubs/2018/nsf18045/nsf18045.pdf>.
- [3] Department of Science & Technology, Republic of South Africa. Basic Sciences Development Support Framework [EB/OL]. 2016-02. <http://www.dst.gov.za/index.php/resource-center/strategies-and-reports/2430-basic-sciences-development-support-framework>.
- [4] NSF. NSF-Simons Centers to Search for the Rules of Life [EB/OL]. 2018-05-24. [https://www.nsf.gov/news/news\\_summ.jsp?cntn\\_id=245523&org=NSF&from=news](https://www.nsf.gov/news/news_summ.jsp?cntn_id=245523&org=NSF&from=news).
- [5] DOE. Department of Energy Announces \$75 Million for High Energy Physics Research [EB/OL]. 2018-07-09. <https://www.energy.gov/articles/department-energy-announces-75-million-high-energy-physics-research>.
- [6] DOE. Department of Energy Announces \$30 Million for "Ultrafast" Science [EB/OL]. 2018-10-01. <https://www.energy.gov/articles/department-energy-announces-30-million-ultrafast-science>.
- [7] DOE. Secretary of Energy Rick Perry Announces \$1.8 Billion Initiative for New Supercomputers [EB/OL]. 2018-04-09. <https://www.energy.gov/articles/secretary-energy-rick-perry-announces-18-billion-initiative-new-supercomputers>.
- [8] NSF. Computing and Communication Foundations (CCF): Core Programs [EB/OL]. 2018-09-24. [https://www.nsf.gov/pubs/2018/nsf18568/nsf18568.htm?WT.mc\\_id=USNSF\\_179](https://www.nsf.gov/pubs/2018/nsf18568/nsf18568.htm?WT.mc_id=USNSF_179).
- [9] The National Academies of Sciences. Engineering. Medicine. Opportunities in Intense Ultrafast Lasers; Reaching for the Brightest Light [EB/OL]. 2018-01-10. <http://nap.edu/24939>.

- [10] 搜狐. DARPA 启动“用于极端可扩展的封装光子学”新项目 [EB/OL]. 2018-11-23. [http://www.sohu.com/a/277213878\\_313834](http://www.sohu.com/a/277213878_313834).  
Sohu. DARPA Launches New Project for Extremely Scalable Encapsulated Photonics [EB/OL]. 2018-11-23. [http://www.sohu.com/a/277213878\\_313834](http://www.sohu.com/a/277213878_313834).
- [11] 内閣府政策統括官(科学技術・イノベーション担当). 戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)第2期 [EB/OL]. 2018-08. <http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/sip2pd.html>.  
Japan Comprehensive Science and Technology Innovation Conference. Strategic Innovation Creation Program (SIP) [EB/OL]. 2018-08. <http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/sip2pd.html>.
- [12] Institute of Physics. The Health of Photonics [EB/OL]. 2018-05. [http://www.iop.org/publications/iop/2018/file\\_71498.pdf](http://www.iop.org/publications/iop/2018/file_71498.pdf).
- [13] United States House of Representatives. Congressional Science Committee Leaders Introduce Bill to Advance Quantum Science [EB/OL]. 2018-06-27. [https://science.house.gov/sites/republicans.science.house.gov/files/documents/HR6227NationalQuantumInitiativeAct\\_0.pdf](https://science.house.gov/sites/republicans.science.house.gov/files/documents/HR6227NationalQuantumInitiativeAct_0.pdf).
- [14] European Commission. Quantum Technologies Flagship Kicks Off with First 20 Projects [EB/OL]. 2018-10-20. [http://europa.eu/rapid/press-release\\_IP-18-6205\\_en.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_IP-18-6205_en.htm).
- [15] GOV. UK. New funding puts UK at the Forefront of Cutting Edge Quantum Technologies [EB/OL]. 2018-11-01. <https://www.gov.uk/government/news/new-funding-puts-uk-at-the-forefront-of-cutting-edge-quantum-technologies>.
- [16] MEXT. ナノテクノロジー・材料科学技術研究開発戦略(素案) [EB/OL]. 2018-06. [http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/015-8/shiryo/\\_icsFiles/fieldfile/2018/07/24/1407207\\_3.pdf](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/015-8/shiryo/_icsFiles/fieldfile/2018/07/24/1407207_3.pdf).  
MEXT. Nanotechnology Material Science and Technology R&D Strategy (Draft) [EB/OL]. 2018-06. [http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/015-8/shiryo/\\_icsFiles/fieldfile/2018/07/24/1407207\\_3.pdf](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/015-8/shiryo/_icsFiles/fieldfile/2018/07/24/1407207_3.pdf).
- [17] European Commission. Horizon 2020 Work Programme from 2018 to 2020 [EB/OL]. 2017-10-27. <http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/news/horizon-2020-work-programme-2018-2020>.
- [18] European Commission. Horizon 2020 - Work Programme 2018-2020; Nanotechnologies, Advanced Materials, Biotechnology and Advanced Manufacturing and Processing [EB/OL]. 2018-07-24. [http://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2018-2020/main/h2020-wp1820-leit-nmp\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2018-2020/main/h2020-wp1820-leit-nmp_en.pdf).
- [19] RealClear Science. The Top Ten Physics Breakthroughs of 2018 [EB/OL]. 2018-12-14. [https://www.realclearscience.com/2018/12/14/the\\_top\\_ten\\_physics\\_breakthroughs\\_of\\_2018\\_283991.html](https://www.realclearscience.com/2018/12/14/the_top_ten_physics_breakthroughs_of_2018_283991.html).
- [20] ATLAS Collaboration. Observation of Higgs Boson Production in Association with a Top Quark Pair at the LHC with the ATLAS Detector [J]. Physics Letters B, 2018, doi: 10.1016/j.phys.letb.2018.07.035.
- [21] CMS Collaboration. Observation of ttH Production [J]. Physics Review Letters, 2018, 120(23): 231801.
- [22] The IceCube Collaboration, Fermi-LAT, MAGIC,

- et al. Multimessenger Observations of a Flaring Blazar Coincident with High-Energy Neutrino IceCube-170922A [ J ]. *Science*, 2018, 361 (6398) :eaat1378.
- [23] MiniBoo NE Collaboration. Significant Excess of Electronlike Events in the MiniBooNE Short-Baseline Neutrino Experiment [ J ]. *Physics Review Letters*, 2018, 121 (22) :221801.
- [24] GARIAZZO S, GIUNTI C, LI Y F, et al. Updated Global 3 + 1 Analysis of Short-Baseline Neutrino Oscillations [ J ]. *Journal of High Energy Physics*, 2017 (6) :1-38.
- [25] Gaia Collaboration. Gaia Data Release 2. Summary of the Contents and Survey Properties [ J/OL ]. 2018-04. [https://www.researchgate.net/publication/324769060\\_Gaia\\_Data\\_Release\\_2\\_Summary\\_of\\_the\\_contents\\_and\\_survey\\_properties](https://www.researchgate.net/publication/324769060_Gaia_Data_Release_2_Summary_of_the_contents_and_survey_properties).
- [26] ISHIGAKI Y, SHIMAJIRI T, TAKEDA T, et al. Longest C-C Single Bond among Neutral Hydrocarbons with a Bond Length Beyond 1.8 Å [ J ]. *Chem*, 2018, 4 :795-806.
- [27] LÉGARÉ M A, BÉLANGER-CHABOT G, DEWHURST R D, et al. Nitro. Gen Fixation and Reduction at Boron [ J ]. *Science*, 2018, 359 (6378) :896-900.
- [28] CANFIELD P J, BLAKE I M, CAI Z L, et al. A New Fundamental Type of Conformational Isomerism [ J ]. *Nature Chemistry*, 2018, 10 (6) :615-624.
- [29] WENDLANDT A E, VANGAL P, JACOBSEN E N. Quaternary Stereocentres via an Enantioconvergent Catalytic SnI Reaction [ J ]. *Nature*, 2018, 556 (7702) :447-451.
- [30] BANERJEE-GHOSH K, BEN DOR O, TASSINARI F, et al. Separation of Enantiomers by Their Enantiospecific Interaction with Achiral Magnetic Substrates [ J ]. *Science*, 2018 :eaar4265.
- [31] AHNEMAN D T, ESTRADA J G, LIN S, et al. Predicting Reaction Performance in C-N Cross-Coupling Using Machine Learning [ J ]. *Science*, 2018, doi:10.1126/science.aar5169.
- [32] GRANDA J M, DONINA L, DRAGONE V, et al. Controlling an Organic Synthesis Robot with Machine Learning to Search for New Reactivity [ J ]. *Nature*, 2018, 559 (7714) :377-381.
- [33] BCG HENDERSON Institute. The Coming Quantum Leap In Computing [ EB/OL ]. 2018-05-16. <https://www.bcg.com/publications/2018/coming-quantum-leap-computing.aspx>.
- [34] Evelyn Zhang. Gartner 公布 2019 年十大战略科技发展趋势 [ EB/OL ]. 2018-10-16. <https://t.qianzhan.com/caijing/detail/181016-fed63180.htm>. Evelyn Zhang. Gartner Announced Top 10 Strategic Technology Trends 2019 [ EB/OL ]. 2018-10-16. <https://t.qianzhan.com/caijing/detail/181016-fed63180.html>.