

解读2017年度中国科学十大进展

编者按 科技部高技术研究发展中心27日公布“2017年度中国科学十大进展”。实现星地千公里级量子纠缠和密钥分发及隐形传态、将病毒直接转化为活疫苗及治疗性药物等成果入选。

1. 实现星地千公里级量子纠缠和密钥分发及隐形传态

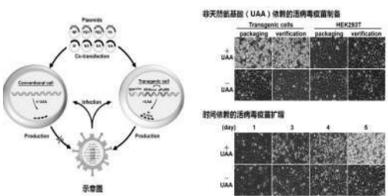
“墨子号”量子科学实验卫星由我国完全自主研制的世界上第一颗空间量子科学实验卫星,于2016年8月16日发射升空,2017年1月18日完成在轨测试,正式交付开展科学实验。中国科学技术大学潘建伟和彭承志研究组联合中国科学院上海技术物理研究所王建宇研究组等,创新性地突破了包括天地双向高精度跟踪、空间高亮度量子纠缠源、抗强度涨落诱骗量子光源以及空间长寿命低噪声单光子探测等多项国际领先的关键技术,利用“墨子号”在国际上率先实现了千公里级星地双向量子纠缠分发,并在此基础上实现空间尺度严格满足“爱因斯坦定域性条件”的量子力学非定域性检验;实现了千公里级星地量子密钥分发和量子隐形传态,密钥分发速率比地面同距离光纤量子通信水平提高了20个数量级,为构建覆盖全球的天地一体化量子保密通信网络提供了可靠的技术支撑,为我国在未来继续引领世界量子通信技术发展和空间尺度量子物理基本问题前沿研究奠定了坚实的科学与技术基础。相关研究进展分别发表在2017年6月16日《科学》[Science, 356(6343):1140-1144]和2017年9月7日《自然》[Nature, 549(7670):43-47]和[Nature, 549(7670):70-73]上。研究成果一经发表,随即引起了国际学术界和新闻媒体的广泛关注,同时也得到了国际学术界的高度评价,入选了Nature杂志点评的和美国著名科学媒体Science News评选的“2017年度重大科学事件”。“墨子号”首席科学家潘建伟教授也入选了Nature杂志评选的“2017年度改变世界的十大科学人物”,被称为“让量子通信驰骋于天地之间的物理学家”。



“墨子号”卫星实现千公里级量子纠缠分发

2. 将病毒直接转化为活疫苗及治疗性药物

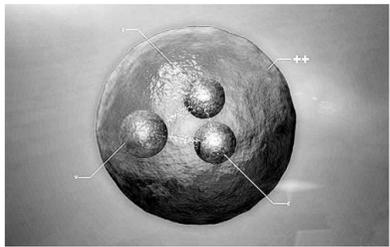
流感、艾滋病和埃博拉出血热等烈性传染病时刻危害着人类的健康和社会稳定,其幕后“黑手”是结构和功能多样且快速变异的病毒,而疫苗是预防病毒感染的有效手段。北京大学药学院周德敏、张礼和团队以流感病毒为模型,在保留病毒完整结构和感染力的情况下,仅突变病毒基因的一个三联遗传密码为终止密码,流感病毒就由致病性传染源变为预防性疫苗,再突变三个三联码为终止密码,病毒就变为治疗性药物。此类疫苗的特点是保留了野生型病毒的全部抗原、感染活力和相同的感染途径,可以诱导人体产生强而广的体液免疫、黏膜免疫以及T-细胞活化免疫应答,但感染人体后复制能力缺失。这种复制缺陷的活病毒疫苗在老鼠、雪貂和天然鼠模型中得到验证,达到广谱、持久和高效的效果。该方法颠覆了传统灭活/减毒疫苗的理念,前者需改变病毒内部结构去除其毒性,只能部分激发人体免疫力,所以需要多次接种。后者需要复杂的工艺处理方能保留病毒的完整结构,但仍具有弱的复制能力和潜在的致病性,安全隐患大。该方法将是研发活病毒疫苗的一种通用方法,并可针对几乎所有病毒。相关研究进展发表在2016年12月2日《科学》[Science, 354(6316):1170-1173]上。该研究进展是我国长期支持基础研究,并鼓励基础研究进行临床转化的典型范例。Science杂志评述该进展为病毒疫苗领域的革命性突破,Nature杂志称其为“驯服病毒的新方法”。



含终止密码的复制缺陷型活病毒疫苗制备

3. 首次探测到双聚重子

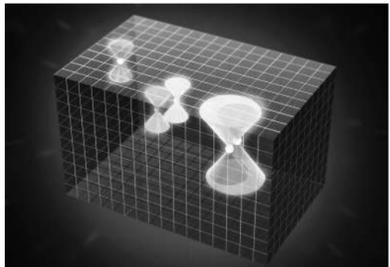
欧洲核子研究中心于2017年7月6日宣布,来自大型强子对撞机(LHC)上底夸克探测器(LHCb)国际合作组的科学家们发现了一种被称为双聚重子的新粒子,该粒子带有两个单位电荷,质量约3621兆电子伏特,几乎是质子质量的4倍。与质子和中子类似,新发现的双聚重子由三个夸克组成,但其夸克组分不同:质子由两个上夸克和一个下夸克组成,中子由两个下夸克和一个上夸克组成,而双聚重子则由两个较重的粲夸克和一个上夸克组成。理论预期双聚重子的内部结构迥异于之前发现的粒子,对其性质的研究将有助于人类深入理解物质的构成和强相互作用力的本质。相关研究进展发表在2017年9月11日《物理评论快报》[Physical Review Letters, 119, 112001]上。底夸克探测器国际合作组由来自16个国家的超过1000名科学家组成,清华大学、华中师范大学、中国科学院大学和武汉大学是合作组的成员单位。由清华大学高原宁领导的中国研究团队通过与国内理论家密切合作,主导了此次双聚重子发现的物理分析工作,对该粒子的发现作出了关键性贡献。欧洲核子研究中心对双聚重子的发现作了专门的新闻发布,受到全球媒体的竞相报道。审稿人评价:“该论文给出了期待已久的重要结果——首次观测到双聚重子。”美国《物理》杂志同时以“倍加迷人的粒子”为题进行了专论报道,认为该发现“为科研人员提供了检验量子色动力学的独特体系”。



由两个粲夸克和一个上夸克组成的双聚重子

4. 实验发现三重简并费米子

组成宇宙的基本粒子可分为玻色子和费米子。现有的理论认为宇宙中只可能存在三种类型的费米子,即狄拉克费米子、外尔费米子和马约拉纳费米子,其中狄拉克费米子具有四重简并,外尔费米子和马约拉纳费米子具有二重简并,而三重简并的费米子在宇宙中是不存在的。这三种类型的费米子也能够以准粒子的形式存在于固体材料中,其中狄拉克费米子和外尔费米子的存在已在实验上得到证实,马约拉纳费米子也得到一些实验的支持。这些固体材料被通俗地称为“固体宇宙”,与真实的宇宙相对应。与时空连续的宇宙空间不同,“固体宇宙”只满足不连续的分立空间对称性,这就可能出现真实宇宙中不存在的新类型费米子。在“固体宇宙”中寻找新型费米子是近年来凝聚态物理领域一个有挑战性的前沿科学问题,也是该领域国际竞争的焦点之一。中国科学院物理研究所丁洪、钱天和石友国研究组与合作者,在上海光源“梦之线”和瑞士光源上利用角分辨光电子能谱实验技术,在碲化铋晶体中观测到一类具有三重简并的费米子。这是首次实验发现超出传统的狄拉克/外尔/马约拉纳类型的费米子。他们的实验发现开辟了探索凝聚态体系中非传统费米子的途径,对促进人们认识量子物态、发现新奇物理现象,开发新型电子器件具有重要的意义。相关研究进展发表在2017年6月29日《自然》[Nature, 546(7660):627-631]上。

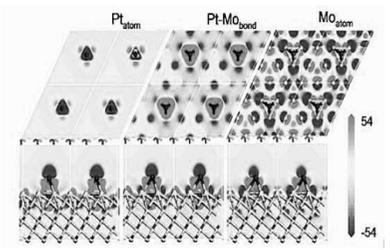


三重简并费米子(右)与四重简并狄拉克费米子(左)和二重简并外尔费米子(中)

5. 实现氢气的低温制备和存储

氢能被誉为下一代二次清洁能源,但氢气的高效制备以及安全存储和运输一直以来是阻碍氢能大规模应用的瓶颈。由于甲醇可以安全运输,将氢气存储于液体甲醇中,通过水和甲醇低温液相重整反应原位产氢,在释放出甲醇中存储的氢气的同时也活化等摩尔的水而释放出额外的氢气,就成为氢能利用的可

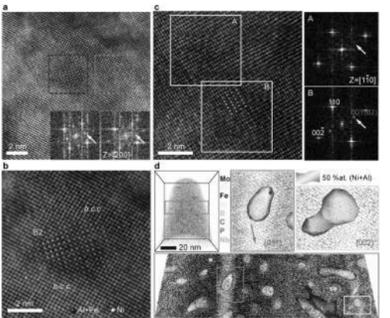
行途径。这种过程装置简单、耗能低,容易和车载或固定聚合物电解质膜燃料电池整合,而释放出的氢气占比可达18.8%。北京大学化学与分子工程学院马丁研究组与中国科学院山西煤化研究所温晓东以及大连理工大学石川等合作的研究表明,将铂原子级分散在面立方结构的碳化钼(α -MoC)上制备的催化剂可用于甲醇的液相重整,在较低温度下(150-190摄氏度)能够表现出很高的产氢活性,可达每摩尔铂每小时产氢18046摩尔。这种优越的制氢能力远大于以前报道的低温甲醇重整催化剂(高出近两个数量级),其关键在于 α -MoC突出的解离水的能力以及铂和 α -MoC协同活化并重整甲醇的能力。同时,该研究团队在水煤气变换产氢过程($\text{CO} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + \text{H}_2$)中也突破了低温条件下高反应转化率与高反应速率不能兼得的难题,发展了基于Au/ α -MoC的新一代催化过程。相关研究进展分别发表在2017年4月6日《自然》[Nature, 544(7648):80-83]和2017年7月28日《科学》[Science, 357(6349):389-393]上。上述研究进展被多家科学媒体报道并高度评价,美国化学会C&E News杂志和英国皇家化学会Chemistry World杂志分别以“氢能源:制备氢燃料新过程”和“新型催化剂点亮氢能汽车未来”为题进行了亮点报道,认为“随着此高活性催化体系的成功,把氢气存储于甲醇并在需要时重整释放的概念可能得到实际应用,这是氢能存储和运输体系的一个重大突破”。



基于Pt/ α -MoC催化剂实现水和甲醇低温液相重整反应产氢

6. 研发出基于共格纳米析出强化的新一代超高强钢

超高强钢在航空航天、交通运输、先进核能以及国防装备等国民经济重要领域发挥支撑作用,而且也是未来轻量化结构设计和安全防护的关键材料。然而几十年来高性能超高强钢的研究始终基于传统的半共格析出产生强共格畸变的学术思路,存在着析出相数量有限,析出尺寸不够合理且分布不均匀的固有缺陷,这既降低了材料的塑性又严重影响服役安全性。此外,昂贵的制备成本也限制了其实际应用,成为困扰高端钢铁工业发展的难题。北京科技大学吕昭平研究组与合作者针对低成本高性能的目标,创新性地提出利用高密度共格纳米析出强化新一代超高强钢的设计思想,采用轻质且便宜的铝元素替代马氏体时效钢中昂贵的钴和钛等元素,大幅降低成本的同时通过简单的热处理促进超高密度、全共格纳米析出,研发出共格纳米析出强化的新一代超高强钢。他们通过调控晶格错配度使得析出相在产生极低共格畸变的同时又具有高的有序抗力,这极大增强了合金的强度但不牺牲其延展性能。所涉及的颠覆性合金设计思想也可应用于其他结构材料的研发。相关研究进展发表在2017年4月27日在《自然》[Nature, 544(7651):460-464]上。《自然·材料》(Nature Materials)发表专门评述文章指出,该研究“以完美的超马氏体钢设计思想,简化的合金元素及析出相强化本质,为研发具有优异的性能、塑性和成本相结合的结构材料提供了新的途径”。

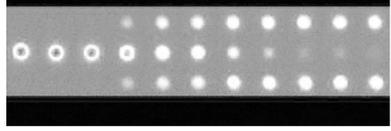


析出相结构及其高共格特性

7. 利用量子相变确定性制备出多粒子纠缠态

实现多粒子纠缠是量子物理实验研究的一大追求。清华大学物理系尤力和郑盟研究组,通过调控钼-87原子玻色-爱因斯坦凝聚体中的自旋混合过程,

使其连续发生两次量子相变,实现了包含约11000个原子的双数态的确定性制备。通过直接观测该纠缠态,他们表征其不同态间原子数的差值的涨落低于经典极限 10.7 ± 0.6 分贝,其集体自旋的归一化长度为近似完美的 0.99 ± 0.01 。这两个指标反映该多体纠缠态可以提供超越标准量子极限约6分贝的相位测量灵敏度,以及至少910个的纠缠原子数——创造了目前确定性制备的量子纠缠粒子数目的世界纪录。利用量子相变确定性制备多体纠缠态是一种崭新的尝试。由于连续量子相变点处有限系统的能隙很小,系统穿过相变点时会产生较大的激发。他们的研究显示即使这种激发会发生,量子相变点两边迥异的多体能级结构依然能够帮助制备出高品质的多粒子纠缠态。这一全新的理解和纠缠态制备方法为未来其他多粒子纠缠态的制备提供了一种思路。另外,双数态的确定性制备为超越标准量子极限的测量科学与技术的实用化发展,比如实现海森堡极限精度的原子钟和原子干涉仪等提供了一种可能。相关研究进展发表在2017年2月10日《科学》[Science, 355(6318):620-623]上。



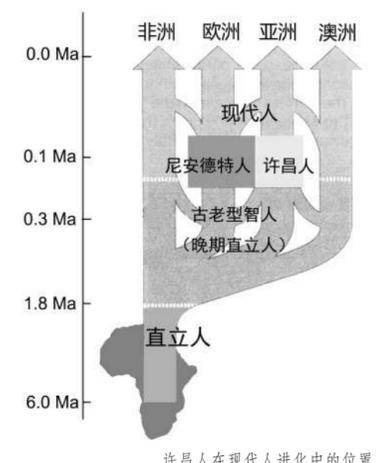
基于量子相变驱动的纠缠态生成

8. 中国发现新型古人类化石

长期以来,古人类学界对在中国境内发现的中更新世晚期至晚更新世早期过渡阶段古人类成员的演化地位一直存在争议。争论的焦点是:他们是由本地的古人类连续演化而来?还是外来人群的成功入侵者?最近在河南灵宝遗址发现的两件距今10.5-12.5万年前的古人类——许昌人的头骨化石,为探讨这一阶段中国古人类的演化模式提供了重要信息。中国科学院古脊椎动物与古人类研究所吴秀杰研究组与美国华盛顿大学Erik Trinkaus等合作的研究显示,许昌人颅骨既具有东亚古人类低矮的脑穹隆、扁平的颅中矢状面、最大颅宽的位置靠下的古老特征,同时又兼具欧亚大陆西部尼安德特人一样的枕骨(枕圆枕上凹/顶部形态)和内耳迷路(半规管)形态,呈现出演化上的区域连续性和区域间种群交流的动态变化。此外,许昌人超大的脑量(1800 cc)和精细化的脑颅结构,又体现出更新世人类生物学特征演化的一般趋势。目前还无法将其归入任何已知的古人类成员之中,许昌人可能代表一种新型的古老型人类。这项研究填补了古老型人类向早期现代人过渡阶段中国古人类演化上的空白,表明晚更新世早期中国境内可能并存有多种古人类成员,不同群体之间有杂交或者基因交流。许昌人化石为中国古人类演化的地区连续性以及欧洲古人类之间的交流提供了一定程度的支持。相关研究进展发表在2017年3月3日《科学》[Science, 355(6328):969-972]上。该研究引起国内外学术界和媒体的极大关注,Science, Current Biology等国际学术期刊都为此发表专题评论,认为这项研究填补了古老型人类向早期现代人过渡阶段东亚地区古人类演化上的空白,是中国学者在古人类研究领域取得的一项重大突破。



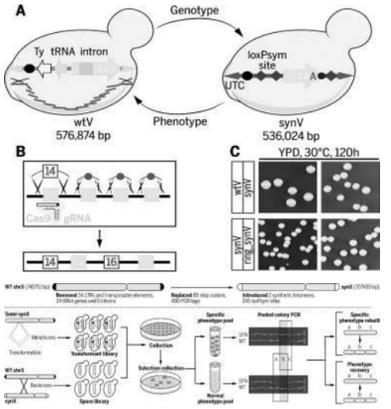
许昌人一号(右)和许昌人二号(左)头骨化石



许昌人在现代人进化中的位置

9. 酵母长染色体的精准定制合成

基因组设计合成是对基因组进行全新设计和从头构建,能够按需塑造生命,开启从非生命物质向生命物质转化的大门,推动生命科学研究由理解生命向创造生命延伸。然而,基因组合成面临长染色体难以精准合成、合成染色体导致细胞失活等难题。天津大学元英进、清华大学戴俊彪、深圳华大基因杨炯明等团队与合作者利用多级模块化定制人工基因组合成方法,基于一步法大片段组装技术和并行式染色体合成策略,实现了由小分子核苷酸到活体真核染色体的定制合成,建立了基于多靶点片段共转化的基因组精确修复技术和DNA大片段重复的修复技术,成功设计构建了4条酿酒酵母长染色体,实现了真核长染色体合成序列与设计序列的完全匹配;原创性地建立了基因组缺陷靶点快速定位方法,提供了表型和基因型关联分析的新策略,通过缺陷靶点的定位与排除,解决了合成基因组导致细胞失活的难题;在此基础上,构建了人工环状染色体,为当前无法治疗的染色体环状疾病发生机理和潜在治疗手段建立了研究模型。该研究为深化理解生命进化、基因组与功能关系等基础科学问题提供了新的思路。相关研究进展以4篇论文形式发表在2017年3月10日《科学》[Science, 355(6329): eaf4704, eaf4706, eaf4791, eaf4981]上。研究成果引起国内外专家和媒体的极大关注。Science同期发表专文评论,Nature, Nature Biotechnology, Nature Reviews Genetics, Molecular Cell等多个期刊均发表专文或亮点介绍,高度评价本工作,认为这是第一个全合成真核生物基因组的重要里程碑。



酿酒酵母长染色体的精准定制合成

10. 研制出可实现自由状态脑成像的微型显微成像系统

北京大学膜生物学国家重点实验室程和平及陈良怡研究组与信息科学技术学院张云峰和王爱民等合作,运用微集成、微光学、超快光纤激光和半导体光子学等技术,在高空分辨在体成像系统研制方面取得突破性技术革新,成功研制出2.2克微型化佩戴式双光子荧光显微镜,在国际上首次记录了悬尾、跳台、社交等自然行为条件下,小鼠大脑神经元和神经突触活动的高速高分辨图像。此项突破性技术将开拓新的研究范式,在动物自然行为条件下,实现对神经突触、神经元、神经网络、多脑区等多尺度、多层次动态信息处理的长时程观察,这样不仅可以“看得见”大脑学习、记忆、决策、思维的过程,还将为可视化研究自闭症、阿尔茨海默病、癫痫等脑疾病的神经机制发挥重要作用。相关研究进展发表在2017年7月《自然·方法学》[Nature Methods, 14(7):713-719]上。该成像系统被2014年诺贝尔生理学或医学奖得主Edward I. Moser称为研究大脑的空间定位神经系统的革命性新工具。



质量仅为2.2克的可佩戴式双光子荧光显微镜

可高时空分辨记录神经元的突出活动 (本版图文由科技部高技术研究发展中心提供)