解读2015年度中国科学十大进展

实现多自由度量子隐形传态

量子隐形传态在概念上非常类似于科 幻小说中的"星际旅行",可以利用量子纠 缠把量子态传输到遥远地点,而无需传输 载体本身。中国科学技术大学潘建伟、陆 朝阳等组成的研究小组在国际上首次成功 实现多自由度量子体系的隐形传态,成果 以封面标题的形式发表于《自然》杂志。这 是自1997年国际上首次实现单一自由度 量子隐形传态以来,科学家们经过18年努

力在量子信息实验研究领域取得的又一重 大突破,为发展可扩展的量子计算和量子 网络技术奠定了坚实的基础。该成果被英 国物理学会评为"2015年度国际物理学十 大突破之首"。

JU JIAO

量子信息技术以一种革命性的方式对 信息进行编码、存储和传输,在信息安全和 运算速度等方面突破经典信息技术的瓶 颈。量子通信是迄今为止唯一被严格证明 是无条件安全的通信方式,可以从根本上 解决国防、金融、政务等领域的信息安全问 题;量子计算具有超快的并行计算能力,有 望为密码分析、大数据处理和药物设计等 大规模计算难题提供解决方案。在量子通 信和量子计算技术的基础上,可构架多节 点多用户的广域量子网络平台。而实现以 上所有这些技术的一个核心单元就是多自 由度的量子隐形传态。

发现东亚最早的现代人化石

作为人类起源与演化研究的重要组成部 分,现代人起源一直是古人类学研究与争议的 热点。目前,国际学术界的主流观点支持现 代人起源于非洲,认为现代人19万年前起源 于非洲,6万年前扩散到欧亚大陆,成为当地 现代人的祖先。近10年来,中国学者在这个 领域的研究取得一系列重要进展,确定早期现 代人至少10万年前在华南地区已经出现。

然而,学术界对于具有完全现代形态

的人类在东亚地区出现时 间尚不清楚。中国科学院 古脊椎动物与古人类研究 所刘武和吴秀杰研究组与 英 国 María Martin ó n-Torres 合作等报告

了对中国南部湖南省道县福岩洞的最新发 掘资料。他们先后发现了47枚人类牙齿 化石以及大量动物化石。

研究显示,道县人类牙齿尺寸较小,明显

小于欧洲、非洲和亚洲更新世中、晚期人类,位 于现代人变异范围,牙齿齿冠和齿根呈现典 型现代智人特征。这些形态和尺寸对比分析 说明道县人类牙齿已经具有完全现代形态, 可以明确归入现代智人。测年结果表明,这 批人类化石的埋藏年代在 8—12万年前。动 物群组成则指示出晚更新世早期的特点,进 一步支持测年的结果。据此可以确定,具有 完全现代形态的人类至少8万年前在华南局 部地区已经出现。这项研究以可靠的地层年 代数据和详实的化石形态特征提供了迄今最

早的现代类型人类在华南地区出现的化石证 据,填补了现代类型人类在东亚地区最早出 现时间和地理分布的空白。这是继2010年广 西智人洞下颌骨发现之后,中国学者在东亚 现代人起源方面取得的又一项重大突破,对 "中国没有早于6万年的现代人"这一国际主 流观点提出了有力挑战。

此外,与这群现代人同时代的北方地 区,还生活着形态特征更原始的"土著居 民",道县的研究描绘了一幅中国南北地区 不同人群共同存在的场景,进而提出现代 人在中国扩散的可能路线为由南向北。这 些发现对于探讨现代人在欧亚地区的出现 和扩散具有非常重要的意义。相关研究论 文发表在2015年10月29日《自然》上。

中国科学家找到外尔费米子

德国科学家外尔1929年指出,当质量 为零时,狄拉克方程描述的是一对能量相 同但具有相反手性的新粒子,即外尔费米 子。80多年过去了,人们一直未能观测到

近年来,拓扑绝缘体尤其是拓扑半金属 等领域研究的快速发展为寻找外尔费米子 提供了新的思路,它们可以作为准粒子存在 于外尔半金属材料中。寻找外尔半金属材 料是一个非常具有挑战性的科学问题,也是 该领域国际竞争的焦点之一。2015年,中国 科学院物理研究所/北京凝聚态物理国家实 验室(筹)方忠研究组(翁红明等)通过理论计

算预言,TaAs家族材料就是要寻找的外尔半 金属体系;陈根富研究组合成出了该材料的 晶体,并观察到理论预测到的因手征反常导 致的负磁阻效应;丁洪研究组(丁洪和钱天 等)与合作者用角分辨光电子能谱证实了理 论预言的三维电子能谱和费米弧。

中国科学家的一系列工作终于"找到"了 外尔费米子这样一个隐身80多年的"幽灵"粒 子。此外,美国普林斯顿大学的Z. Hasan研 究组和清华大学的陈宇林研究组及合作者也 得到类似的结果。外尔半金属的发现提出了 很多新的科学问题,同时也为开发低能耗电 子器件等变革性技术提供了新的思路。

发现宇宙早期最亮、中心黑洞质量最大天体

亮天体对了解早期宇宙的 结构极为重要,位于宇宙 早期的高红移类星体是研 究早期宇宙的重要探针。 迄今为止,天文学家通过 大型巡天已经发现了30 多万个类星体,其中大约 有40个类星体红移大于6 (即距离超过127亿光 年)。每个类星体中心都

包含一个质量约为10亿个太阳质量的黑 洞,它们正在猛烈地吞噬其周围的物质,并 在黑洞附近释放出巨大的能量。

北京大学物理学院吴学兵研究组与合 作者基于自主发展的选取高红移类星体候 选体的有效方法和判据,利用中国科学院云 南天文台的2.4米光学望远镜首先观测和国 外4台大型光学和红外地面望远镜后续观 测,发现一个距离我们128亿光年(红移6.3)、 发光强度是太阳的430万亿倍、中心黑洞质 量约为120亿太阳质量的超亮类星体。

这是目前发现的在宇宙早期最亮、中 心黑洞质量最大的一个类星体,也是世界 上第一个利用2米级光学望远镜发现的红 移6以上的类星体。该发现证实在宇宙年 龄只有9亿年时,就已经形成质量为120亿 太阳质量的黑洞,这对目前的黑洞形成和 增长理论以及黑洞和星系共同演化理论都 提出了严重的挑战,并为未来研究早期宇 宙中黑洞和星系的形成和演化提供了一个 特别的实验室。相关研究论文作为封面推 荐论文发表2015年2月26日《自然》上。

揭示埃博拉病毒演化及遗传多样性

2014年初在西非暴发了埃博拉病毒病 疫情,之前的研究显示,此次疫情病毒的变 异速率比以往有成倍的提高,该结果引起 了全球疫情防控机构的恐慌。人们担心病 毒的高速变异可能导致更加烈性的病毒变 异株产生,同时大量变异可能对基于PCR 技术的病毒检测产生漏检。军事医学科学 院微生物流行病研究所曹务春研究组与中 国科学院微生物研究所高福研究组和军事 医学科学院放射与辐射医学研究所贺福初 等合作,对2014年9月至11月间的大量病 例标本进行基因组测序,获得来自塞拉利 昂的175株病毒的全长基因组数据,发现在 此期间埃博拉病毒在系统发生上进一步分 化,遗传多样性快速增加,出现了多个新的 病毒流行分支。但此疫情中埃博拉病毒的 变异速率,与先前暴发疫情中埃博拉病毒 的变异速率接近。这些研究成果加深了对 病毒进化特点以及传播动力学的理解,消 除了国际社会对于埃博拉病毒快速变异的 担忧,同时大量基因组序列的发表为现场

首次测量到反物质间

美国布鲁克海文国家实验室的相对 论重离子对撞机(RHIC)的 STAR 实验将

质心能量为 200GeV 的金离子相互碰撞,

相互作用力

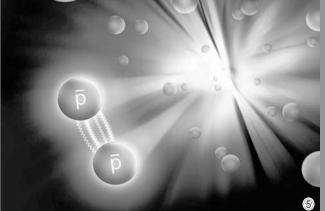
病毒检测PCR引物设计提供了参考,并将 有助于对埃博拉病毒疫苗和治疗方案的研

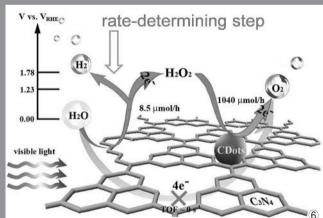
发。相关研究论文发表在2015年8月6日

Pluripotency markers: OCT4, NANOG, KLF4, SALL4, LIN28A PGC (early) markers: KIT, TFAP2C, DPPA3, ALPL, NANOS3, SOX15 MAEL, TEX14 SYCP1, SYCE3 DNA methylation (5mC)









进一步理解更复杂的反原子核及其属性 奠定了基础。相关研究论文发表在2015 年11月19日《自然》上。《自然》审稿人对该 研究给予高度赞赏:"这是首例反质子-反 质子作用的直接测量。

解析细胞炎性坏死的关键分子机制

细胞炎性坏死(细胞焦亡)是机体的重 要免疫防御反应,在拮抗和清除病原感染 和内源危险信号中都发挥重要作用。过度 的细胞焦亡会诱发多种自身炎症/免疫性 疾病,最新研究显示艾滋病的发生也和细 胞焦亡有关。然而人们对细胞焦亡发生的 机制完全不清楚。 北京生命科学研究所邵峰研究组与合

作者,利用最新的CRISPR/Cas9基因组编 辑技术,针对caspase-1 和caspase-11介导 的细胞焦亡通路进行了全基因组范围遗传 筛选,鉴定出全新的GSDMD蛋白,并证明 GSDMD 是所有炎性 caspase 的共有底物, 该蛋白的切割对于炎性 caspase 激活细胞 焦亡既是必要的也是充分的。这是20年 来首次揭示细胞焦亡的关键分子机制,为多 种自身炎症性疾病和内毒素诱导的败血症 提供了全新的药物靶点。该研究还首次发 现 gasdermin 家族蛋白(包含 GSDMD)都具 有诱导细胞焦亡的功能,进而重新定义了细 胞焦亡的概念,并开辟了细胞程序性坏死和 天然免疫研究的新领域。相关研究论文发 表在2015年10月29日《自然》上。

产生出大量的反质子,这为测量反质子-反质子间相互作用提供了机会。中国科 学院上海应用物理研究所马余刚研究组 与美国布鲁克海文国家实验室唐爱洪研 究组等合作,利用STAR实验结果,通过 对反质子-反质子之间动量关联函数的 测量,首次提取了反质子-反质子相互作 用的有效力程和散射长度。研究表明,反 质子-反质子之间存在着强吸引力,可以 克服反质子-反质子之间的由于同号(负 电荷)所产生的库伦排斥力,结合成反物 质原子核。而且他们测量得到的结果与 质子-质子相互作用的对应值在误差范 围内一致。他们的研究结果提供了两个 反质子间相互作用的直接信息,给出了对 量子场论和对称原理的一个直接验证,为

人类原始生殖细胞 基因表达与表观遗传调控特征

生殖细胞(精子和卵子)是人类维持生 命延续、代代相传的种子和纽带。在妈妈 的肚子里,胎儿除了要完成自身发育,还要 为其后代做好准备,形成原始生殖细胞 (PGC)并进行性腺发育,以保证性成熟后 形成正常的精子和卵子。

这类特殊的原始生殖细胞与其他细 胞有何不同? 基因表达调控的特征是什 么?除了遗传序列本身,祖父辈及父母亲 还把哪些表观遗传记忆留在了PGC细胞 中?哪些表观遗传记忆信息必须需要清 除?人类对其还缺乏深刻的认识。

北京大学生物动态光学成像中心汤 富酬研究组和北京大学第三医院乔杰 研究组采用最新的单细胞转录组高通 量测序等关键技术,深度解析了人类原 始生殖细胞多个发育阶段的转录组和 DNA甲基化组的动态变化,揭示了人类

原始生殖细胞基因表达调控的一系列关 键特征。

该项研究显示,处于发育早期的人 类原始生殖细胞协同表达一系列多能性 基因以及生殖系特异基因。

基因组 DNA 甲基化作为一种关键 的表观遗传修饰方式,是调控细胞分化 过程中基因表达的关键机制之一。

他们的研究首次发现女性原始生 殖细胞中X染色体重新激活明显早于 小鼠,而且 SOX15 仅特异性高表达于 人类早期原始生殖细胞,推测其是调控 原始生殖细胞发育与性别分化的重要

此外,该项研究发现人类原始生殖细 胞在发育过程中会经历大规模的表观遗

本版文图由科技部基础研究管理中心提供

传记忆(DNA甲基化标记)的擦除,在胚胎 第11周时原始生殖细胞中仅有6%-7% 的DNA甲基化得以保留;但另外一方面, 基因组中的一些特殊的重复序列元件上 仍然残留大量甲基化,这为研究人类隔代 遗传现象的表观遗传学基础提供了重要 线索。相关研究论文发表在2015年6月4

日《细胞》上。

在纳米尺度上直接测量单个分子的组 成、结构及动力学性质,是当今物质科学探 索的发展趋势。自旋磁共振是重要的物质 科学研究手段,在前沿科学和国民生产众多 领域均有广泛的应用。然而基于磁电感应 探测原理的传统磁共振技术,通常只能测量 毫米尺度以上百亿个分子系综的统计平均 性质,无法实现对单个分子的直接测量。

> 中国科学技术大学合肥微尺度物质科 学国家实验室(筹)杜江峰领衔的研究团队

图①多自由度量子隐形传态示意图 图②人类原始生殖细胞基因表达规律 图③湖南道县发现人类牙齿化石 图④钻石探针实现对单蛋白分子信号

图⑤反质子间相互作用的示意图 图 6 碳基高效光解水催化反应机制 黑洞示意图

碳基高效光解水催化剂

利用太阳光直接催化分解水同时制取 氢和氧是发展清洁、绿色可再生能源的理 想策略之一。在过去40年,聚焦于一步、 四电子过程来研究光催化分解水,已经开 发出多种无机和有机材料体系的光解水催 化剂。然而,大多数光催化剂量子效率较 低、稳定性较差。苏州大学纳米科学技术 学院康振辉、Yeshayahu Lifshitz和李述汤 研究组设计构建出一种非金属碳纳米点-氮化碳纳米复合材料高效光解水催化剂, 提出并示范了一种两步、两电子过程的高 效完全光解水新机制,实现了可见光下高 效的全分解水。该催化剂具有较好的稳定 性(可见光催化活性200天保持不变)以及 较高的太阳能到氢能的转换效率(波长 420 ± 20 nm 下量子效率为 16%, 太阳能到 氢能的转换效率约为2%)。此外,该催化 剂材料还具备廉价、资源丰富、环境友好等 优点。相关研究论文发表在2015年2月 27日《科学》上。还被《化学世界》、《国家 科学评论》等多家科学媒体进行专题报 道。伦敦大学玛丽女王学院 Steve Dunn 教授评价该研究为"是该领域的彻底变 革"。该研究结果为深入理解和设计高效 光催化剂提供了新的思路。

7 实现对单个蛋白质分子的磁共振探测

使用最新的量子操控技术,基于钻石量子 探针和新颖的自旋量子干涉仪探测原理, 实现了单分子磁共振的突破。该团队于国 际上首次获取了单个蛋白质分子(直径约 5纳米)的顺磁共振谱,并解析出其动力学 信息,成功将电子顺磁共振技术分辨率从 毫米推进到纳米,灵敏度从上百亿个分子 推进到单个分子。该新技术可用来在单分 子层面认识物质科学和生命科学的机理, 在物理、化学及生命科学等多个领域有广

泛应用前景,特别是其室温大气的宽松实 验条件为生命科学等领域的研究提供了尤 为适宜的条件。相关研究论文发表在 2015年3月6日《科学》上。这一成果在国 际同领域引起了很大反响,得到美国化学 会、德国马普所等广泛的新闻报道。《科学》 杂志将该成果选为研究亮点并配发专文报 道,称其"实现了一个崇高的目标","是通 往活体细胞中单蛋白分子实时成像的重要 里程碑"。