

## 基于氮-空位单电子自旋探针的 微观核磁共振技术取得阶段性重要突破

近日,中国科大杜江峰教授研究组与德国斯图加特大学的J. Wrachtrup教授组合作,成功实现了(5nm)体积样品质子信号的检测,取得微观核磁共振技术的突破性进展。该实验利用掺杂金刚石中距表面7纳米深度的氮-空位单电子自旋作为原子尺度磁探针,分别实现了(5nm)体积液体和固体有机样品中质子信号的检测,其中包括的质子总数为一万个,其产生的磁信号强度相当于100个统计极化的核自旋。此实验为微观核磁共振技术的应用奠定了坚实的基础。该研究成果于2月1日发表在国际权威学术期刊《科学》杂志上。

自旋在物质中广泛存在,因而自旋磁共振技术能够用来准确、快速和无破坏性地获取物质的组成和结构上的信息,是当

代科学中最为重要的物质探索技术之一。一般的自旋磁共振谱仪基于系综探测原理,它的测试对象是含有百亿个以上相同自旋的系综样品。然而,近年来随着物质科学探索的不断深入,人们开始逐渐从统计平均测量向直接探测单量子的信息迈进。在自旋磁共振领域,实现微观磁共振,甚至单自旋磁共振是这一方向发展的极为重要的科学目标。为实现这一科学目标,杜江峰教授及其合作者选取了基于掺杂金刚石中氮-空位(NV)对的固态单自旋作为探针,代替传统的电探测方式,用基于此体系单自旋态制备成量子干涉仪,将微观自旋体系产生的弱磁信号转为干涉仪的相位,从而实现高灵敏度的信号检测。

在双方及其他合作者在相关领域已有

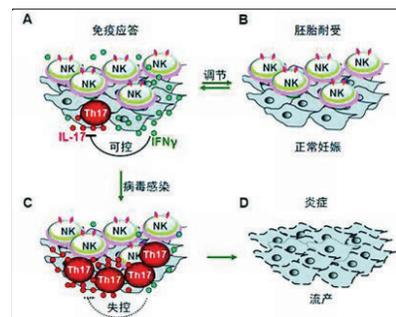
的研究基础上,中德科学家经过两年多的努力,逐步解决了此实验成功所需的关键技术:近表面NV的制备和处理及动力学解耦。这两项技术是首次成功实现(5nm)体积液体和固体有机样品中质子信号检测不可或缺的基础。

2月1日出版的同期《科学》杂志上,还发表了另一篇类似工作,这是由美国IBM的D. Rugar和美国加利福尼亚大学圣芭芭拉的D. Awschalom合作完成的,他们同样利用NV磁探针,成功实现了(24nm)体积有机样品的核磁共振信号的检测。本期杂志上,由P. Hemmer撰写的评论称,此两项工作“利用基于钻石的纳米磁强计,有效的减小了磁共振成像(MRI)的可探测体积到单个蛋白质分子水平。”

## 中国科大胚胎免疫耐受研究获重要进展 发现自然杀伤细胞对保障正常妊娠有重要调控作用

3月25日,中国科大生命学院和微尺度物质科学国家实验室魏海明教授、田志刚教授课题组发现,自然杀伤细胞对维持胚胎免疫耐受具有重要调控作用。中国科大研究人员发现,在妊娠过程中,母胎界面存在大量与众不同的自然杀伤细胞(NK细胞),天然杀伤能力很低,但可以产生伽马干扰素,抑制由于胚胎基因不合而产生的炎症细胞Th17,并将Th17的作用控制在正常生理范围内,使母体对胎儿并不产生排斥反应,而是产生保护性免疫作用。如果母体同时遭遇病毒等病原体感染,会产生大量Th17细胞,导致炎症反应,自然杀伤细胞失去抑制能力,甚至暴露出杀伤的真面目,加剧胚胎局部的免疫反应和炎症反应,最终导致胚胎丢失或流产。相关研究成果1月15日发表在《美国科学院院刊》上,第一作者为博士后傅斌清。

妊娠是一个复杂的生理过程,胚胎对于母体来说是一个基因不合的异物,母体



免疫系统识别后会发生免疫排斥,类似于器官移植后的排斥反应。但在正常情况下,胚胎不会受到母体的排斥而发育存活,这就是胚胎免疫耐受。其机制此前尚不清楚。

为什么胚胎局部的自然杀伤细胞失去杀伤功能,而变成维持母胎免疫耐受的卫

士?该课题组又利用微小RNA芯片技术进行筛查,首次发现胚胎局部的自然杀伤细胞富含一种微小核糖核酸分子miR-483-3p,该分子在胚胎自然杀伤细胞中的含量是正常自然杀伤细胞含量的近万倍,导致胚胎自然杀伤细胞不能分泌生长因子IGF-1,失去杀伤功能,转而分泌伽马干扰素,维持免疫调节功能。该研究从新的理论角度解释了胚胎免疫耐受的分子机制,相关成果发表在2月12日《自然-通讯》上,第一作者是博士生倪芳。

《美国科学院院刊》审稿人认为,该研究发现了母胎免疫耐受的新机制,证明胚胎局部的NK细胞在保障正常妊娠过程中具有重要作用。《自然-通讯》审稿人评价说,这项研究发现了IGF-1在人类自然杀伤细胞中的新功能,即IGF-1对自然杀伤细胞的杀伤功能具有促进作用,这将对NK细胞的临床生物治疗具有重要意义。

## 我成功验证星地之间安全量子信道可行性 为实现全球化量子网络奠定了技术基础

5月,中科院量子科技先导专项协同创新团队,在国际上首次成功实现星地量子密钥分发的全方位地面验证,为未来我国通过发射量子科学实验卫星,实现基于星地量子通信的全球化量子网络,对大尺度量子理论基础检验,以及探索如何融合量子理论与爱因斯坦广义相对论,奠定了必要的技术基础。

相关成果5月1日发表在国际权威学术期刊《自然·光子学》上。这是该专项继去年实验实现量子纠缠和百公里自由空间量子态隐形传输与纠缠分发后,取得的又一阶段性重要突破,也是量子信息与量子科技前沿协同创新中心的最重要成果。

量子密钥分发是最先有望实用的量子信息技术,可以带来绝对安全的信息传

输方式。而实现全球化量子密钥分发网络,需要突破距离限制。目前,由于光纤损耗和探测器的不完美性等因素,以光纤为信道的量子密钥分发距离已接近极限;而由于地球曲率和远距可视等条件的限制,地面间自由空间的量子密钥分发也很难实现突破。要实现更远距离、甚至是全球任意两点的量子密钥分发,基于低轨道卫星的量子密钥分发是最具潜力和可行性的方案。但这需要克服大气层传输损耗、量子信道效率、背景噪声等问题。尤其是低轨卫星和地面站始终处于高速相对运动中,存在角速度、角加速度、随机振动等情况,如何在这些情况下建立起高效稳定的量子信道,保持信道效率及降低量子密钥误码率,成为基于低轨道卫星平台实现

量子密钥分发面临的关键。

协同创新团队由中国科学技术大学潘建伟院士和同事彭承志等、中科院上海技术物理研究所王建宇、光电技术研究所黄永梅等组成。

为攻克星地量子密钥分发的上述难题,创新团队进行了多年合作攻关,自主研发了高速诱骗态量子密钥分发光源和轻便收发整机,自主研发高精度跟踪、高精度同步和高衰减链路下的高信噪比及低误码率单光子探测等关键技术。在此基础上,利用旋转平台模拟低轨道卫星的角速度和角加速度;利用热气球来模拟随机振动和卫星姿态;利用百公里地面自由空间信道来模拟星地之间高衰减链路信道,成功地验证了星地之间安全量子信道的可行性。

## 量子计算机成功求解线性方程组 中国科大首次实现线性方程组量子算法

潘建伟团队发展了世界领先的多光子纠缠操控技术,成功运行了求解一个 $2 \times 2$ 线性方程组的量子线路,首次从原理上证明了这一算法的可行性。审稿人评价“实验工作新颖而且重要”、“这个算法是量子信息技术最有前途的应用之一”。《物理评论快报》把该论文选为重点推介论文,在美国物理学会的网站专门撰文介绍。

在中科院、科技部、教育部和基金委的长期支持下,潘建伟团队对光学量子计算开展了系统性和战略性的研究,取

得了一系列开创性的成果:2007年在世界上首次用光子计算机实现大数分解量子肖尔算法、2008年首次实现量子容错编码、2009年首次量子模拟任意子的分数统计、2010年首次实现可容错光子逻辑门、2011年首次实现非簇态的单向量子计算、2012年首次实现拓扑量子纠缠、2013年首次实现线性方程组量子算法。上述成果被美国物理学会、英国物理学会、BBC、新科学家杂志等国际媒体广泛报道,标志着我国在光学量子计算领域保持着国际领先地位。

## 中国科大实现纳米 振动信号灵敏测量

中国科学技术大学合肥微尺度物质科学国家实验室杜江峰教授领导的研究小组基于自建的弱力探测实验平台,在室温下实现了纳米机械振子振动的精密测量。不同于已有的基于光、电、磁等的位移测量技术,该方法是通过力学的方式加以实现的,这种新的位移测量方法不仅能实现很高的测量灵敏度,而且可以确保测量过程不会引入明显的力噪声,因此对未来开展低温下的极弱力信号以及相关的基础物理研究有着潜在的应用价值。相关成果发表在5月31日出版的《物理评论快报》上。

微纳尺度的机械谐振子,是用于探测弱力信号的最重要手段。通过将待测力信号转换为位移信号并加以测量,可以实现对该力信号的测量。为了实现更高的力学灵敏度,需采用尺寸更小的机械振子,如何探测这些微小谐振子的振动,成为当前力探测面临的重要挑战之一。传统的测量振动方法难以直接应用到未来纳米甚至亚纳米尺度的机械振子运动的探测,潜在地制约了未来弱力探测研究的发展。

杜江峰研究组的方法弥补了已有振动测量手段的不足。他们通过纳米微加工,制作了两个相互靠近的纳米机械振子,通过在两个机械振子之间施加特定的电压,实现了参数耦合,用实验验证了该方法,在探测灵敏度为 $10^{-16}$ m的样品下,将探测引入的额外力噪声控制在 $10^{-19}$ N以下。

该方法针对降低位移探测引入的额外力噪声及探测纳米尺度机械系统的振动这两个当前力探测领域的关键问题,提出了一条全新的解决思路,对将来实现低温下的zN( $10^{-21}$ N)力信号的探测有着潜在的意义。而实现zN量级的弱力信号探测,将给基础和应用物理带来新突破,包括实现原子尺度引力效应,单核自旋磁共振成像等。

## 我科学家发现 纳米材料 有望用于避孕

6月3日,中国科学技术大学生命科学学院和医学中心孙斐教授课题组与王均教授课题组通力合作,发现通过纳米材料的光热效应,可以对雄性哺乳动物进行高效安全的避孕控制,从而达到降低动物繁殖能力的目的。该研究成果在线发表于5月出版的《纳米快报》。

以纳米尺寸的金纳米棒为代表的光热材料,在近红外光的照射下,可以有效地将光能转化为热能,从本世纪初即被广泛用于纳米生物学,尤其是肿瘤的光热疗法中。光热疗法依靠热量杀伤肿瘤细胞,结合红外激光准确的空间控制性能,可以最大限度地增大肿瘤抑制效果,同时避免传统治疗方法的毒副作用。

中国科大的新研究突破了纳米光热材料的应用领域,首先提出基于睾丸组织易被高温破坏的研究基础,利用纳米材料的光热实现雄性动物的避孕。通过原位注射金纳米棒,结合近红外光照射,在合理调节注射剂量及照射强度、时间的条件下,小鼠的生殖能力可实现短暂可恢复或长期永久性的破坏,但并不影响小鼠的性激素水平。该方法还可有效避免传统热疗方法对小鼠其他组织器官的破坏,集安全、有效、廉价、易操作等优点于一身。

随着城市化的发展,人类生活区域产生了许多流浪动物,在特大城市中,流浪猫狗的数量往往超过百万。流浪动物的繁殖周期短、数量多、速度快,且长期生存于恶劣环境中,是细菌和病毒传播的重要途径。绝育和免疫是目前解决流浪动物这一社会问题的关键。然而,除了传统的阉割方法外,目前化学阉割等非创伤性疗法还普遍处于研发阶段,仅有的两种在欧洲上市的药物也仅限于特定年龄和品类的动物使用。

该项研究有望实现新型雄性避孕方法,具有良好的应用前景,对下一步发展新型男性避孕技术提供了重要的前提,已申请国家发明专利。同时,该项研究还进一步证实了睾丸局部高温环境可影响生殖。