

中国科大首次观测到原子共振荧光中的双光子纠缠

本报讯 我校郭光灿院士团队在光纤微腔的腔量子电动力学领域取得重要进展。该团队李传锋、王健等基于光纤微腔-铷原子系统首次实验观测到原子共振荧光中的双光子纠缠。相关研究成果于2月5日发表在《物理评论快报》上。

原子腔量子电动力学系统是研究光与原子相互作用的理想平台，国际上该领域的研究主要集中在原子与光学腔的强耦合区域。李传锋、王健研究组长期从事光纤微腔实验研究，率先在国内搭建了完整的光纤微腔制备和应用平台，开发出一套工作在普塞尔区域的光纤微腔-中性原子实验系统。相比于强耦合区域，工作在普塞尔区域的系统具有诸多优势，包括光子读出速度快、增益谱线宽、收集效率高等，适合进行量子光学和量子网络等相关实验研究。具体而言，研究组通过二氧化碳激光器在光纤端面烧制面型并镀上特定膜层，搭建出基于光纤的法布里-珀罗微腔，该微腔具有极小的模式体积，能够实现光与原子的相互作用。此外，基于抑制偶极阱引起的腔长漂移和可移动光学晶格等多种技术，研究组实现了光纤微腔内单个原子的分钟级寿命的囚禁。

研究组基于该系统研究共振荧光中的非弹性散射过程，为原子能级跃迁提供了宽谱的增益，并同时增强了共振荧光中两光子散射。通过自主设计的基于耦合机制的光学陷波滤波器，逐步滤除共振荧光中非弹性散射成分，观测到光场从亚泊松分布到超泊松分布的转变。

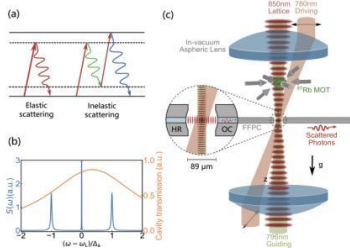


图1：实验原理与实验装置。 (a) 二能级原子的弹性散射和非弹性散射过程；(b) 共振荧光谱线和腔增益谱线；(c) 光纤微腔-中性原子系统实验装置。

进一步采用Franson型干涉仪对两光子进行联合分析，最终以违背贝尔不等式8个标准差的结果，实验证实共振荧光中非弹性散射的光子是能量-时间纠缠的。最后，研究组通过调控光纤微腔与单原子的耦合强度，成功观测到了双光子线宽的连续变化，证实了该方法产生的光子纠缠态可兼容中性原子的光子网络接口。

该工作首次实验证实了中性原子共振荧光中非弹性散射过程的纠缠性质，加深了对共振荧光过程的理解，为中性原子光子网络所需的光子纠缠源的制备提供了新思路。审稿人对该工作的创新性给予高度评价。

中国科学院量子信息重点实验室物理学院 中国科学院量子信息与量子科技创新研究院 科研部

中国科大首次观测到超冷原子气体中的对流超流相

本报讯 中国科大潘建伟、苑震生、邓友金等与合作者在超冷原子量子模拟实验中，首次观测到对流超流相这一新奇量子物态，证实了对流超流相与超流相共同形成绝缘体的特性。相关成果近日发表在《自然·物理学》上。

在此项实验中，研究团队巧妙地设计制备了无缺陷低噪声的双端自旋莫特相初态，由此出发调控两种自旋原子之间的相互作用将体系绝热演化至对流超流相。使用团队开发的具备单原子自旋可分辨的量子气体显微镜技术，他们发现了对流超流相两种自旋的粒子数涨落变大，但是总粒子数的涨落依然很小，该现象说明两种自旋的原子在格点上存在粒子数涨落反关联。进一步的时间飞行测量显示，两种自旋间存在非零的对流超流关联函数，即对流超流的关键实验证据。通过探测体系中原子之间的长程自旋关联，该研究估计出系统的温度低于1.2 nK，这为对流超流相的产生提供了重要的低温条件。

此项研究表明，超冷原子量子模拟方法为探索新奇物相提供了丰富的量子调控和观测手段，成为深入理解强关联量子多体物态中微物理机制的重要工具。相关实验技术可拓展到三组分、多组分自旋超流体系的研究中，并进一步推动对大自旋原子形成的拓扑量子物态的实验研究。

中国科大郑永光博士（现为剑桥大学博士后研究员）和博士研究生骆安为论文共同第一作者。

（物理学院 合肥微尺度物质科学国家研究中心 中国科学院量子信息与量子科技创新研究院 科研部）

中国科大提出一种超越衍射极限的无标记暗场成像新技术

本报讯 中国科大张斗国教授课题组，结合微纳光学的光场调控技术和计算光学显微成像技术，提出了一种基于光子晶体随机散斑照明的超越衍射极限、无标记暗场成像新技术。相关研究成果于2月20日在直接投稿的方式发表在《美国科学院院刊》上。

该项研究课题组利用前端物理域的亚波长结构光子晶体光场调控特性，实现了大角度和全内反射表面波动的随机暗场散斑照明；有机结合后端数字域的信息处理技术，最终实现高对比度、高分辨率的无标记暗场和表面切片成像。这项成像技术的提出将拓展暗场显微镜的潜在应用领域，并提供传统暗场显微技术所不能看到的样品细节信息。

该工作中，张斗国教授课题组提出利用一维光子晶体和多模光纤波导等微纳结构组成的平面型器件来实现随机暗场散斑照明的功能。研究人员利用前焦面和后焦面成像系统对该平面型器件生成的照明光场特性进行分析，实验结果与理论设计吻合。进一步，将所制备的平面型随机暗场散斑照明器件用作传统明场显微镜的载物平台，无需对成像系统进行任何修改，就可以实现随机暗场散斑照明显微镜（RDSIM）的搭建。通过拍摄200帧不同散斑照明的样品图像，结合Blind-SIM重建算法，就可以重构出超分辨率图像。实验中利用波长

633nm的光对直径200nm的不同间距聚苯乙烯球进行成像。通过对比RDSIM、传统暗场、明场以及电镜的成像效果，验证了RDSIM具有高对比度、高分辨率的暗场成像性能。实验结果表明，该方法将无标记暗场成像的空间分辨率提升了1.55倍，突破了该成像系统的阿贝衍射极限分辨率。同时，研究人员利用聚光子晶体验证了该系统在切换工作波长后具有表面切片成像的能力。

物理学院博士研究生范泽滔、刘新祥为本论文共同第一作者，张斗国教授为论文通讯作者。

（物理学院 合肥微尺度物质科学国家研究中心 科研部）

中国科大团队发表新自旋相互作用的量子精密测量综述论文

本报讯 中国科大彭新华、江敏及其同事，与丹麦波尔研究所陈一帆等，近日应邀在国际物理学综述期刊《物理进展》上发表题为《基于自旋传感器的新自旋相互作用研究》的长篇综述论文。

中国科学院微纳观测重点实验室聚焦自旋量子调控领域，近年来发展了固态量子、气态自旋等多种自旋体系的量子操控和精密测量技术，并推进其在新自旋相互作用搜寻等前沿领域的交叉应用。该室彭新华研究团队在这一领域取得了系统性的创新研究成果，包括自主开发了基于气态自旋的超灵敏原子磁力计，并且利用该技术实现了无需磁场的新型核磁共振技术“零磁场核磁共振”，达到了国际领先水平的

磁场探测灵敏度。团队进一步实现了新型的自旋微波探测技术，在低频段创造了国际最佳的磁探测灵敏度，并开发了新型磁噪声抑制技术以及暗态核自旋放大技术等。同时，团队将已发展的平台型量子精密测量技术用于寻找超越标准模型的新粒子，取得了一系列对推动学科领域发展有实质性贡献的研究成果，包括利用新型量子自旋放大技术搜寻暗物质候选粒子，首次突破国际公认最强的宇宙天文学界限，以及实现了对一类超越标准模型的新相互作用的超灵敏探测，实验界限比先前的国际最好水平提升至少2个数量级，并在量子窗口内开展了量子暗物质的实验搜寻。

此次受邀撰写的文章系统介绍了超越标准模型的新自旋相互作用理论，随后详细介绍了

自旋传感器的工作原理和灵敏度极限，接着详细回顾了利用自旋传感器探测暗物质、电偶极矩、第五力、重力-自旋耦合的基本实验原理和实验进展，最后展望了基于自旋传感器的新自旋相互作用研究的未来发展趋势和应用方向，为未来有志于从事该方向研究的青年人员提供参考。

《物理进展》每年仅发表约75篇学术论文，此论文是我国新自旋相互作用科学领域在该期刊发表的第一篇综述论文，标志着我国在自旋量子精密测量及新自旋相互作用研究领域处于国际领先地位。

（中国科学院微纳观测重点实验室 物理学院 中国科学院量子信息与量子科技创新研究院 科研部）

中国科大首次报道可充电锂金属-氢气电池

本报讯 近日，中国科大化学与材料科学学院陈维教授课题组在国际期刊《德国应用化学》发表文章，首次报道了氢气电极作为正极的电池化学新体系，为基于氢气正极设计高性能电池提供了一种新途径。

该论文首次报道了一种可充电锂金属-氢气（Li-H）电池，该电池利用了最轻的两种元素Li和H。Li-H电池通过正极的反应

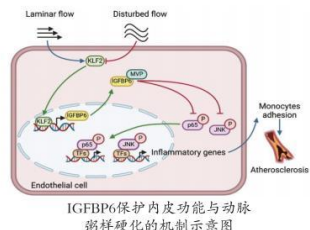
H₂和负极的Li/Li⁺沉积溶解反应实现稳定运行。H₂正极的优异特性使该电池展现出极具吸引力的电化学性能，包括高达2825 Wh kg⁻¹的理论比能量、3V的放电电压、99.7%的循环能量效率、5-20 mAh cm⁻²的可逆容量、-20-80℃的宽工作温区及活性材料的高利用率。此外，作者进一步构建了一种无负极Li-H电池，在首次充电时从低成本的锂盐中沉积锂金

中国科大团队揭示IGFBP6调控内皮细胞炎症和动脉粥样硬化的作用及机制

本报讯 1月10日，中国科大翁建平教授团队在《自然·心血管研究》发表论文。血流剪切力领域知名专家美国耶鲁大学Martin A. Schwartz教授撰文对此重点评论。

研究人员从GEO公共数据库中选择了具有动脉粥样硬化保护效果的干预（他们分类为血流剪切力）测序数据集，以及动脉粥样硬化患者体内的基因表达数据集，发现胰岛素样生长因子结合蛋白6（IGFBP6）可能是一种潜在的血管稳态相关分子。已有研究表明，IGFBP6在调节细胞增殖、增殖、细胞迁移等方面发挥着重要的作用。然而，IGFBP6在内皮稳态和动脉粥样硬化中的确切作用和机制尚不清楚。

研究人员证明IGFBP6水平在人类动脉粥样硬化斑块和冠心病患者血清中显著降低。内皮细胞中敲低IGFBP6会增加炎症分子的表达和



单核细胞的粘附。同时，由湍流和TNF α 介导的促炎作用证明IGFBP6的过表达可逆转。机制研究进一步揭示，IGFBP6在转录上受KLF2和p53因子（KLF2）调节，并通过主顶蛋白

属生成负极，进一步提升了电池的实际能量密度和经济适用性。该工作为基于氢气正极设计高性能储能电池提供了一种新途径。

化学与材料科学学院博士后刘再春和博士研究生马毅为该文共同第一作者，化学与材料科学学院、合肥微尺度物质科学国家研究中心陈维教授为论文的第一通讯作者，合作者包括深圳大学杨金龙教授。

（化学与材料科学学院 合肥微尺度物质科学国家研究中心 科研部）

新型螺旋机器人，让「科幻走进现实」

中国科学院量子信息重点实验室物理学院 中国科学院量子信息与量子科技创新研究院 科研部

中国科学技术大学受章鱼触手和象鼻等生物肢体的形态共启，研制出了一类螺旋机器人，为仿生软体机器人的设计和操控提供了新思路。

突破自然界的“密码”
研究团队发现，尽管在尺寸（长度从几厘米到数米）、生活环境（水生或陆生）以及解剖结构（有骨骼和无骨骼）等方面存在较大差异，但自然界中多种生物肢体均呈现出对数螺旋线形态，并且可以轻易实现复杂动作和高效抓取。

通过对这一规律的研究，研究团队提出了一类可复现生物螺旋形态的软体机器人及其设计理论、实现方法和操控策略。

研究团队首先确定机器人的极限卷曲形态（即遵循对数螺旋线方程），然后将螺旋线进行离散并展开，以得到机器人的直线型主体设计。机器人可采用3D打印加工成型，制作成本低且制备速度快。

由于机器人采用了螺旋线的设计，越靠近尖端，卷曲程度越高。这一特性使得机器人的尖端具有高灵活度及动作精细度，也使得机器人的负载能力大大增强。

机器人可以抓取直径变化超过两个数量级的物体，最大负载可达其自重260倍。



生物肢体的螺旋线形态及本研究所设计的螺旋机器人部分样机

仿生操作新策略
受章鱼触手的运动模式启发，研究团队提出了一种仿生抓取策略，以对螺旋机器人的运动进行操控。

该策略将机器人的抓取运动主要分为四个行为：反卷、伸展、缠绕、抓握，并基于这些行为的组合实现对未知物体的缠绕抓取。

研究还引入了一种基于电流变化检测的机器人本体感知方法，无需外传传感器，即可实现灵敏的接触感知（例如机器人手与一根羽毛的接触），进一步提高抓取的准确性，实现功能的多样性。

拓展协作易于适配
基于上述研究，团队展示了螺旋机器人的大量拓展设计，其长度从厘米到米不等，可由不同材料制备，实现2D或3D运动，且可进行多机器人阵列协作。该类机器人也易于部署在机械臂及无人机等载体上。

其中，微型螺旋机器人总长度为10毫米，尖端直径仅为0.14毫米，可以无损地抓住活动的蚂蚁。大型螺旋机器人长度可达1米，可以在1秒内抓取桌上指定位置的耳机，也可部署到无人机上从空中抓取地面上的水桶。多机器人阵列可以像真正的章鱼一样，通过复杂的缠绕和包裹完成对尺寸形态各异巨大的物体的高效稳定抓取。

螺旋机器人作为仿生软体机器人中的新成员，有望为复杂抓取任务、人机交互、低空经济产业等应用场景提供重要技术支持和创新解决方案。

（转自中科院之声公众号 文字：王展超、Nikolaos M. Freris）