

合肥微尺度物质科学  
国家实验室(筹)办公室  
主编:朱雷生  
Tel: 0551-3606123  
E-mail: zhujs@ustc.edu.cn

# 简报

2006年第一期

(总第18期)  
2006年1月

## 实验室重大研究成果连续三年入选 中国十大科技进展

微尺度物质科学国家实验室(筹)在大力吸引和稳定优秀人才、完善实验室平台建设与创新运行管理机制的同时,继续发挥学科交叉的综合优势,激励更多的创新科学研究。继“C60在半导体表面的吸附取向”入选1999年度中国基础科学研究十大新闻、“任意纠缠态纯化的实验研究”入选1999年度中国基础科学研究十大新闻和“成功直接观察分子内部结构”入选2001年度中国十大科技进展和2001年度中国基础科学研究十大新闻之后,实验室的重大研究成果又连续三年入选中国十大科技进展。

### 2003年中国十大科技进展:四光子最大纠缠态中量子力学非定域性的实验检验

量子信息学主要是利用微观粒子作为载体,凭借着量子力学所特有的一些性质,可以完成一些经典的通讯、计算和密码学无法实现的任务。量子纠缠可以说是量子信息的最核心部分,几乎所有的量子信息处理过程都与其有关。量子纠缠的提出,本来是爱因斯坦等科学家为了证明量子力学的不完备而提出的一种很奇妙的量子现象,而在量子信息学中却成为最重要一种资源,并有着大量的应用。实验室量子信息组,在量子信息领域继实现量子纠缠浓缩和量子中继器后又取得新的实验进展,成功制备了高亮度、高质量的四光子GHZ态纠缠源,并利用该纠缠源在国际上首次完整验证了四光子GHZ态对定域实在论的违背,首次证明了该方法产生的态是真正的四光子GHZ态,为实现线性光学量子计算和量子密钥共享提供了技术支持和安全保证。国际物理学权威杂志Phys. Rev. Lett. 2003年10月31日刊登了《四光子最大纠缠态中量子力学非定域性的实验检验》这一



光子纠缠源

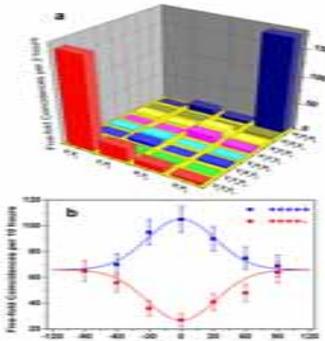
研究成果。该成果入选“2003年度中国十大科技进展”和“2003中国高等学校十大科技进展”。

### 2004年中国十大科技进展:五光子纠缠态以及终端开放的量子态隐形传输

量子计算中存在着不可避免的噪声,为了能够实现量子计算,需要采用量子纠错技术。理论研究表明,普适的量子纠错需要五个或者更多的粒子的纠缠技术,虽然三体纠缠和四体纠缠早已被实验实现并且被用来验证量子力学跟定域实在论的矛盾,但是五体纠缠的实验实现依旧是个很大的挑战,而其实现必然会带来量子纠错等量子信息处理中必要环节的实验实现。

实验室量子信息研究组,在国际上首次从实验上实现五光子纠缠态以及终端开放的量子态隐形传输,结果发表在2004年7月1日出版的Nature杂志上。“五光子纠缠以及开放目的的隐形传态的实验实现”的完成,其意义是相当深远的。首先,我们在世界上首次实验实现了五体纠缠态,这是普适的量子纠错所需要的最少的粒子数;其次,终端未定量子隐形传态的实验实现为分布式的量子信息处理提供了各种新的可能性;该实验技术还可以在实验上重新对很多量子方案进行验证,比如比特翻转的量子拒错以及非破坏的量子控制非门。五光子纠缠和终端未定量子隐形传态的实验实现意味着我国在量子信息研究方面已经成功地超越了欧美国家,处于世界领先地位。由于该工作的重要性,欧洲物理学会的新闻网站(Physics Web)与美国物理学会(Physics News Update)都专文详细报道了这一工作,高度评价:“这一实验成果代表了利用量子力学基本原理,进行量子信息处理的努力过程中的一大重要突破。与此同时,国际权威科技媒体《科学美国人》,《科学新闻》,《科技研究新闻》以及英国的《新科学家》等刊物也都对该研究成果做了报道。该成果入选“2004年度中国十大科技进展”,

同时入选由美国物理学会评选的2004年度国际物理学十大进展(The Top Physics Story for 2004),这是美国物理学会首次将中国科学家在国内取得的研究成果选入国际物理学年度十大进展。



五光子纠缠的观测结果

a. 为了证明五光子GHZ态已经被成功制备,我们在H/V基矢下对32种可能的组成成分作测量,实验结果表明其信噪比平均为40:1,这证明了在实验的精度下只有我们所希望的HHHHH跟VVVVV的成分存在;b. 为了进一步验证两种成分确实是相干叠加在一起的,我们对五个光子在+/-基矢下作符合测量,在Delay2在0延迟的情况下两种组合成分+++++跟++++-的计数关于Delay1的位置的关系曲线说明了这五个光子确实是五光子GHZ纠缠态。

### 2005年中国十大科技进展:我国科学家成功实现首次单分子自旋态控制

实验室单分子科学研究组,利用低温超高真空扫描隧道显微镜,对吸附于金表面的单个钴酞菁分子进行单分子选键化学“手术”,成功“剪裁”了分子外围的氢原子,并使其与金属表面形成稳定的化学键。通过这一方法在分子内部实现精确的“手术”操纵,调控单个分子的空间结构和电子结构,并由此改变中心钴离子的自旋态,从而实现了对其磁性控制。这是世界上首次实现了单个分子内部的化学反应,并利用局域的化学反应来改变和控制分子的磁学性质,从而实现重要的物理效应,为单分子功能器件的制备提供了一个极为重要的新方法,揭示了单分子科学研究的广阔前景。《科学》杂志发表了这项研究的论文,并在同期的“透视”栏目中对该成果进行了评价。该成果入选“2005年度中国十大科技进展”。

在这一研究中,研究人员选择了一种特殊的分子钴酞菁作为研究对象。钴酞菁是一种仅1.3纳米大小的共轭大环平面分子,其中一个钴离子通过配位杂化相互作用被大环配位体包围在分子中心,构成一个非常典型的单原子“封装”体系(图1a)。钴酞菁分子的大环配位体外端由四个苯环构成,通过两年多不断的试验,他们发现,通过针尖对分子施加特定能量和电流的隧穿电子

去激发这些苯环上的碳氢键,可以逐个“剪裁”掉分子外围的八个氢原子(图1),并使脱去氢原子的活性苯环基团与金属表面形成稳定的化学键,构造出新的人造分子结构。钴酞菁分子吸附到金属表面后,由于吸附所导致的电荷转移等相互作用,其中心的二价钴离子的局域磁矩完全消失,即分子不具有磁性,表现在中心钴离子的扫描隧道谱中为一个展宽的d轨道共振峰。通过这种在分子内部实施的单分子“手术”,使得分子与衬底的相互作用发生改变,同时整个分子的空间结构和电子结构也产生了明显的变化。他们发现这一人造分子结构的中心钴离子的扫描隧道谱中显示出由于局域磁性杂质的存在所导致的近藤效应,即原先存在的展宽d轨道共振峰被一个钉扎在费米面能级上的非常尖锐的共振峰所取代(图2)。这一现象表明脱氢后的钴酞菁分子的钴离子存在局域磁矩,即分子的磁性得到了恢复。基于第一性原理的理论计算和分析也同时证明了新的人造分子结构中局域自旋的存在,并且通过理论模拟STM图像完全重现了实验的结果。

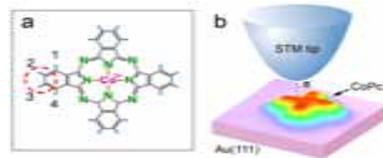


图1

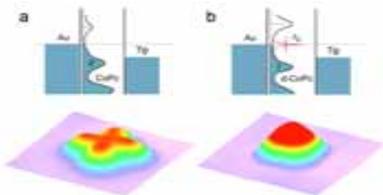


图2

论文审稿人对此成果给予了高度的评价,他们认为:“该实验数据极好,结果新颖,分析也同样出色,这是新颖的单分子功能调控的一个极好的例子”,“文章的新颖之处在于提出局域自旋可以通过这种(单分子化学)过程产生并呈现出近藤效应。作为一个完整的体系,这项实验工作开辟了一个新的领域”。《科学》杂志在同期“本周科学”栏目中以“切割与耦合(Cut and Couple)”为题对本文作介绍;并在“透视”栏目中请相关领域的美国科学家M. F. Crommie以“调控单分子磁性”(Manipulating Magnetism in a Single Molecule)为题撰写专文介绍和评价这一研究成果。”美国化学学会(www.chemistry.org),2005年10月3日的“Heart Cut”栏目下,以“利用分子手术对单分子磁性调制”(Modulate magnetism in a single molecule by using molecular surgery)为题对该项成果作了报道。