

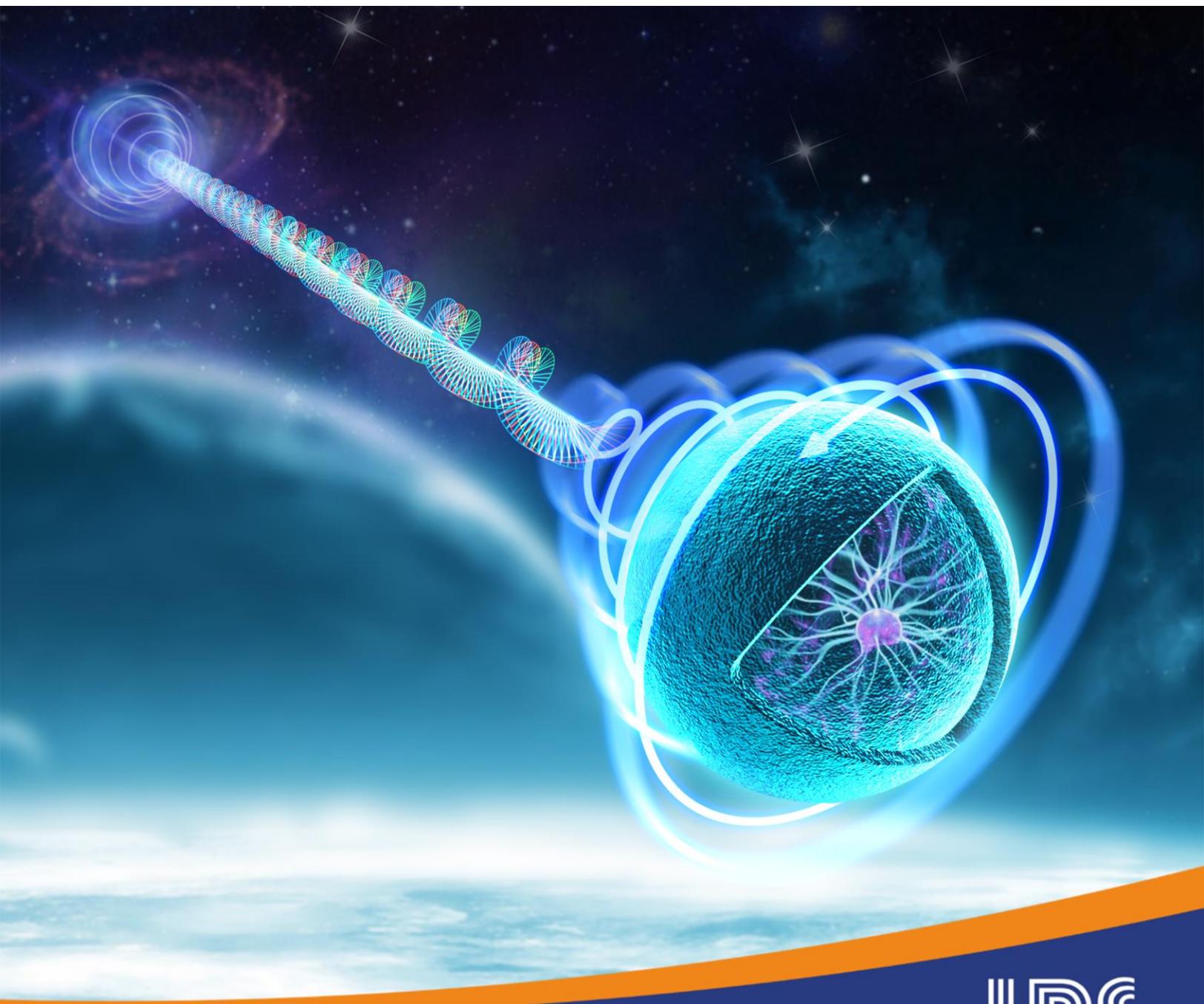
实验室通讯

SKLPS COMMUNICATIONS

No.02

2020/09, Sep.

2020年02总第2期



LPS

精密光谱科学与技术国家重点实验室 (华东师范大学)
State Key Laboratory of Precision Spectroscopy (East China Normal University)

www.lps.ecnu.edu.cn

目录

Contents

-
- | | | |
|-------|----|--------------------------------|
| 科研进展 | 01 | 全光学量子隐形传态 |
| | 02 | 非马尔科夫恢复对复杂网络上故障传播的影响 |
| | 03 | 强场多维光谱理论 |
| | 04 | 超高量级空气激光 |
| | 05 | 时-空-频四维压缩超快成像 |
| | 06 | 光子动量亚周期超快传递过程 |
| | 07 | 光学微腔中电子-空穴等离子体的室温凝聚 |
| | 08 | 热虹吸现象：热量从低温节点传递到高温节点 |
| | 09 | 基于超构表面的量子光源 |
| | 10 | 太赫兹带宽的多参量光学编码 |
| | 11 | 用神经网络方法实现光学涡旋模式的宽带高效识别 |
| | 12 | 结合电磁诱导透明的多维光谱技术 |
| 科技奖励 | 13 | 实验室“分子超快行为精密测量与调控”项目荣获自然科学奖一等奖 |
| 科研项目 | 14 | 实验室14项项目获得国家自然科学基金资助立项 |
| 队伍建设 | 15 | 12位优秀人才加盟实验室 |
| 研究生培养 | 18 | 实验室2020年“优秀大学生夏令营”圆满举行 |
| | 19 | “有谱”青年，扬帆起航 实验室迎来2020级新生 |
| 开放运行 | 20 | 2020年“极端光学”研究生暑期学校在华东师范大学举办 |
-
- 

全光学量子隐形传态

在量子信息科学中，量子隐形传态是最重要和极具吸引力的协议之一，利用该协议可以实现对未知量子态无实体地高保真异地传输。量子隐形传态的概念自1993年被提出以来，受到了全球众多科学家的广泛关注，并在实验和理论方面都取得极大的进展。尤其是近年来我国科学家在远距离星地以及光纤通道量子隐形传态方面更是取得了一系列突破性进展。在量子隐形传态的研究中，信息传输能力是衡量量子隐形传态性能的一个重要指标。在经典的光通信中，多路复用可以通过将多个通信信道合并成一个信道来大大提高信息传输能力。可以想象，多路量子隐形传态的发展将大大提高其信息传输能力。

在本研究工作中，荆杰泰教授团队充分利用这些量子纠缠源的高容量特性，并与全光量子隐形传态协议相结合，在单一体系中同时构建了九套并行的量子隐形传态通道。在此基础上，实验演示了两个相互独立且正交的轨道角动量模式的同时隐形传送。该工作为确定性地实现多通道并行量子通信协议开辟了道路，并为构建大容量全光量子通信网络奠定了基础。

实验如图1所示，该团队首先利用原子系综四波混频过程制备了多通道光学轨道角动量复用的连续变量纠缠源，并分发到参与量子隐形传态协议的发送方(Alice)以及接收方(Bob)。Alice利用一个高增益光学参量放大器，把待传输态与她所拥有的量子纠缠资源进行模式匹配的参量放大，并将放大后的光学输出无测量地通过一个全光通道传输给Bob。Bob在收到全光信号之后，利用一个线性光学分束器，将其与自身所拥有的量子资源进行相干操控，从而实现待传态的高保真复现。通过利用光学轨道角动量模式对待传态进行编码，实现了九通道量子隐形传态保真度对经典极限的突破，演示了单一体系中九个量子隐形传态通道的同时构建。

为了在实验上演示这一全光体系所具有的量子隐形传态并行处理能力，该团队在输入端用光学轨道角动量同时编码了两个模式独立且正交的待传态，利用上述构建的全光量子隐形传态体系，在输出端实现了这两个待传态突破经典极限的高保真复现，展示了该体系在信息容量提升方面的独特优势。实验结果如图2所示。该工作发表于Nat. Commun. 11, 3875 (2020).

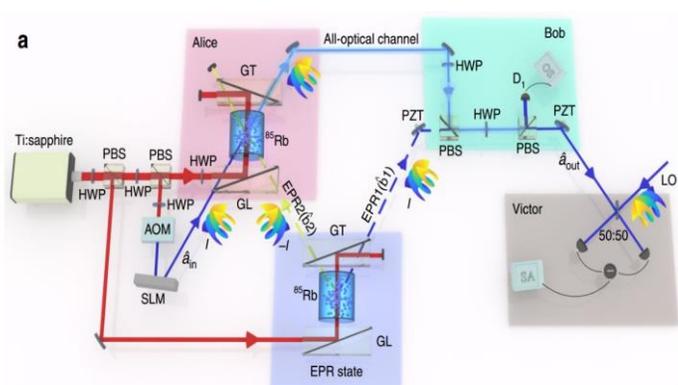


图1. 全光学量子隐形传态系统示意图

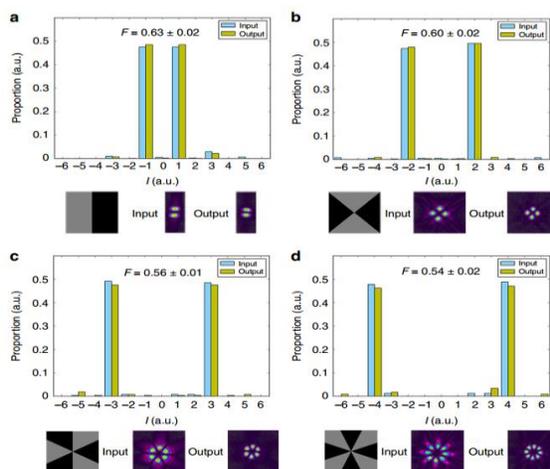


图2. 通过全光学量子隐形传态系统同时传送两个轨道角动量模式

非马尔科夫恢复对复杂网络上故障传播的影响

在许多真实复杂系统中，故障传播是广泛存在的，这其中，级联故障是最严重的一种。故障发生时，系统中的一部分节点失效，诱发级联反应，最终导致网络的大范围崩溃，例如电力网的瘫痪、交通的堵塞和经济的萧条。以往关于级联故障的研究中，大多数的建模是假设故障传播是不可逆的，即节点恢复后就不再参与信息的传播。然而在金融市场、交通和社交媒体等网络上，信息传播过程存在可逆的行为，例如股票市场中股价的上涨和下跌，社交媒体网络中谣言流行的周而复始等。因此，基于不可逆的级联故障模型及理论框架不再适用于上述场景。通常来说，故障恢复过程分为两种，内部原因导致的故障和恢复与外部原因的故障和恢复。其中恢复过程通常可以有两种类型：具有常数速率恢复的马尔科夫类型（即无记忆）和具有时间延迟的非马尔科夫恢复类型（即具有记忆性），前者往往是理想化的，而后者在真实世界中是普遍存在的。一个关键的问题是节点恢复中的非马尔科夫特性如何影响复杂网络中的故障传播？

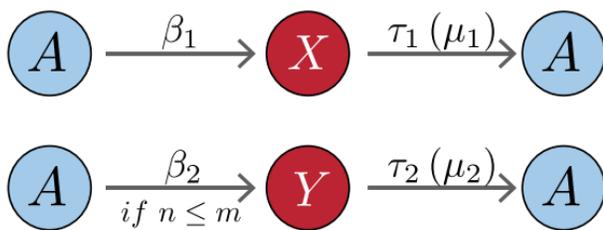


图1.非马尔科夫和马尔科夫故障恢复模型示意图

迄今为止，针对非马尔可夫恢复过程对故障传播动力学影响的研究很少，刘宗华教授课题组（林诏华博士研究生与唐明研究员等）研究了包含两种故障机制的两种模型，如图1所示，并发展了一套平均场理论和点对近似理论来进行预测，同时较为系统的对比了非马尔科夫恢复和马尔科夫恢复对系统故障传播的影响。在研究中，他们发现了惊人的现象——节点恢复中的记忆性违反直觉地可以使网络的弹性能力（resilience）更高，从而更好的帮助系统抵抗大规模故障，如图2所示。随后他们对该现象进行了系统研究。此项研究成果发表于 *Nat. Commun.* 11, 2490 (2020)。

该工作具有两点实际意义：首先在自然系统中，节点恢复中内在的非马尔科夫特性可能是使这些网络具有弹性的原因之一。再者工程设计中，将某些非马尔科夫特征加入网络中可能有利于为其提供强大的弹性能力来抵抗大规模故障。

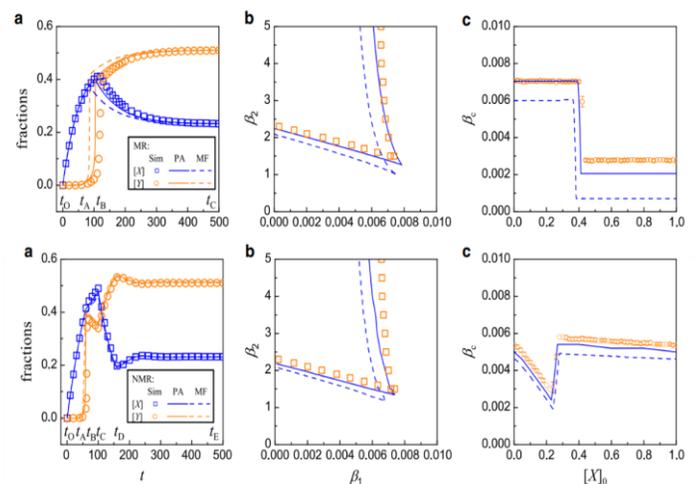


图2.非马尔科夫恢复使复杂网络在面对大范围故障时表现出更强的弹性。其中第一排(a-c)为马尔科夫结果，第二排(a-c)为对应非马尔科夫的结果

强场多维光谱理论

探测和控制电子动力学是现代超快科学领域的前沿课题之一。长程电子相干和能量转移在普遍存在于生物系统中，也影响着光化学和生物反应进程。然而，制备和探测宽激发态电子相干动力学非常具有挑战，通常需要昂贵且复杂的自由电子激光X射线光源或高次谐波光源。因此，开发更便捷的全光学手段具有非常重要的意义。

通过飞秒光脉冲隧穿电离产生中性里德堡态[Phys. Rev. Lett. 101, 233001 (2008)]和相干离子态很早就用于实验[Nature 466, 739 (2010)]，并引起来很多理论工作的广泛讨论[Phys. Rev. A 93, 023412 (2016)]。其背后的原理是强场隧道电离的超高非线性和瞬时性。过去的实验表明0.1%的相干激发能够导致28%的高次谐波产率调制[Phys. Rev. Lett. 111, 243005 (2013)]，这意味着全光学手段制备宽能级相干态以及利用高次谐波信号探测相干态动力学具有很强的可行性。目前的高次谐波泵浦探测实验仅限于共线一维光谱，即一束泵浦光和一束平行传播的探测光。一维光谱的缺陷在于无法有效区分激发态粒子弛豫(decay)、均匀退相干(homogeneous dephasing)和非均匀退相干(inhomogeneous dephasing)等动力学过程。目前的高次谐波泵浦探测实验的靶材也局限于小分子体系，其可以较容易实现高度取向。但是对于大分子体系或者液体来说，很难实现高度取向，以上缺陷因素导致高次谐波泵浦探测方案应用到生物大分子体系将有一定困难。

Konstantin Dorfman团队理论上提出全光学多维高次谐波谱方案探测分子宽激发态相干动力学。多维光谱技术能够选择性消除非均匀加宽和选择性地

探测不同激发态之间的相干动力学。然而，目前传统的强场物理模型都不适用于模拟大时间尺度的非共线多脉冲泵浦探测。Konstantin Dorfman教授课题组将微扰技术和费恩曼双边图表技术应用到强场物理领域，开发了刘维尔空间的“半微扰”模型。该模型的精髓在于通过引入强场跃迁偶极矩，将宏观极化以微扰的形式展开。通过与实验数据和严格求解薛定谔方程结果进行对比，验证了模型的有效性。该模型适用于描述多脉冲、大时间尺度的高次谐波混频信号，并且计算高效。“半微扰”模型是连接微扰理论和强场物理的桥梁，是多维高次谐波技术的理论基础。该工作发表于Proc. Natl. Acad. Sci. 117 (18) 9776-9781(2020)。

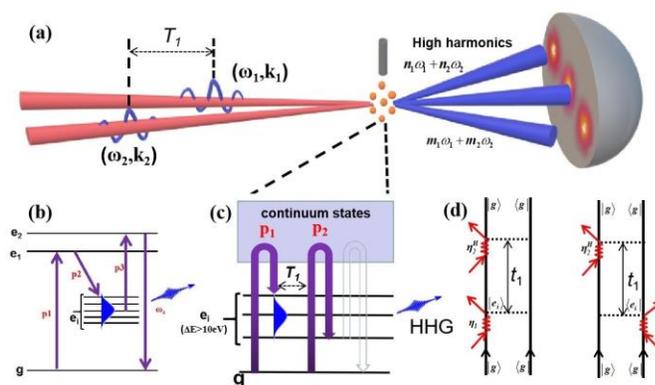


图1. (a) 双脉冲非共线高次谐波泵浦探测方案示意图。不同的混频信号将在探测端呈现空间分布。(b) 自发拉曼散射方案示意图。P1和P2两束脉冲产生相干激发态，P3脉冲在自发拉曼散射前再次激发系统。(c) 强场拉曼散射方案示意图，与图(b)产生相干激发态所不同的是，上能级为连续态。(d) “半微扰”理论中一阶极化费恩曼双边示意图。

超高量级空气激光

空气激光的概念最早期提出于2003年，将超强激光发射到空气中去，其背向会形成受激辐射。2011年，前向不同波长的空气激光信号被发现，自此空气激光领域受到广泛关注。

此前，对于原子、分子模式下的空气激光已经得到较为透彻的认识和理解，但对于离子下的空气激光还未得到清晰的解释。众所周知，空气中含量最多的是氮气，氮气离子产生的激光也是空气激光中最具代表性的一种。尽管前期许多研究者们对其产生的机理进行了深入的研究和验证，人们对它的产生过程仍然有较大的争议。且如果想将空气激光更快地推广到应用中去，就要实现激光信号的超强放大。

吴健教授课题组借助近红外波段光场构成的偏振门场，结合了红外1600 nm激光，获得了6个量级的激光强度的提高。其中，通过1600 nm的长波长中红外激光，将氮气离子的基态 $\nu = 0$ 抽运到虚能级后落到 $\nu = 1$ 能级上，实现了拉曼激发过程，此时 $\nu = 0$ 上

的粒子数几乎被抽干，而近红外光场将 $\nu = 1$ 的粒子通过电子激发继续转移到 $A^2\Pi_u$ 态的 $\nu = 2, 3, 4$ 能级上，实现了有效的基态粒子数转移，最终从 $B^2\Sigma_u^+$ 态到 $X^2\Sigma_g^+$ 态辐射的激光信号得到了超强的放大。对于这一结果东京大学的Kaoru教授团队给以充分的理论验证。

本工作中得到的接近6个数量级的激光信号强度的放大推动了空气激光走向实际应用。此外，该工作同时验证了光电离加粒子数重布居机制导致的粒子数反转机制，很好地解释了氮气离子激光现象。

空气激光的研究有助于理解强场分子超快动力学行为，因此该工作也会在相关领域获得广泛关注。特别地，该研究将推动强场原子分子物理、非线性光学、光谱探测、大气天文等领域的研究。该工作发表于Phys. Rev. Lett. 125, 053201 (2020)，且入选为编辑推荐论文（Editor's Suggestion）。后续围绕偏振门光场相关应用研究仍在开展。

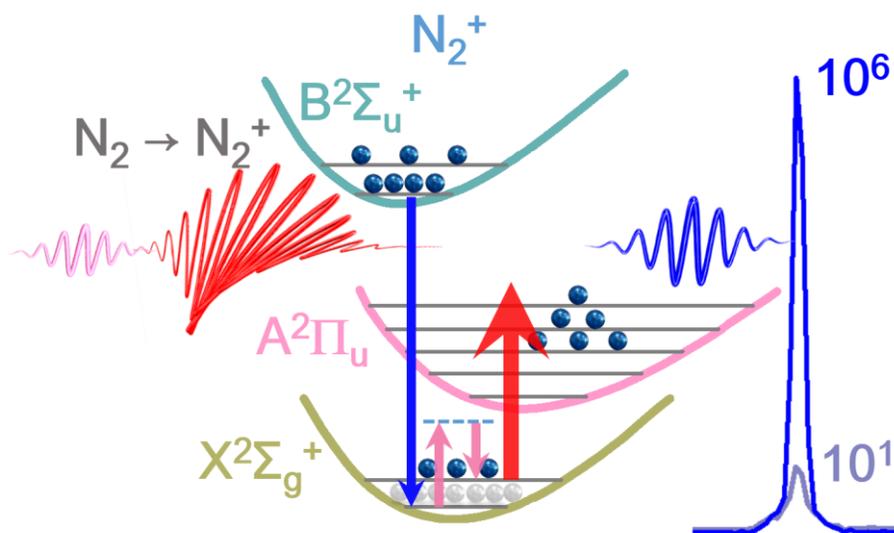


图1. 氮气分子离子的能级及相关跃迁方法。氮气激光产生分两步，一步是通过获得中红外光子实现从X态振动能级为0到1的拉曼激发过程（粉色箭头）；第二步是通过近红外偏振门场实现后续X态到A态的耦合跃迁过程（红色箭头）。

时-空-频四维压缩超快成像

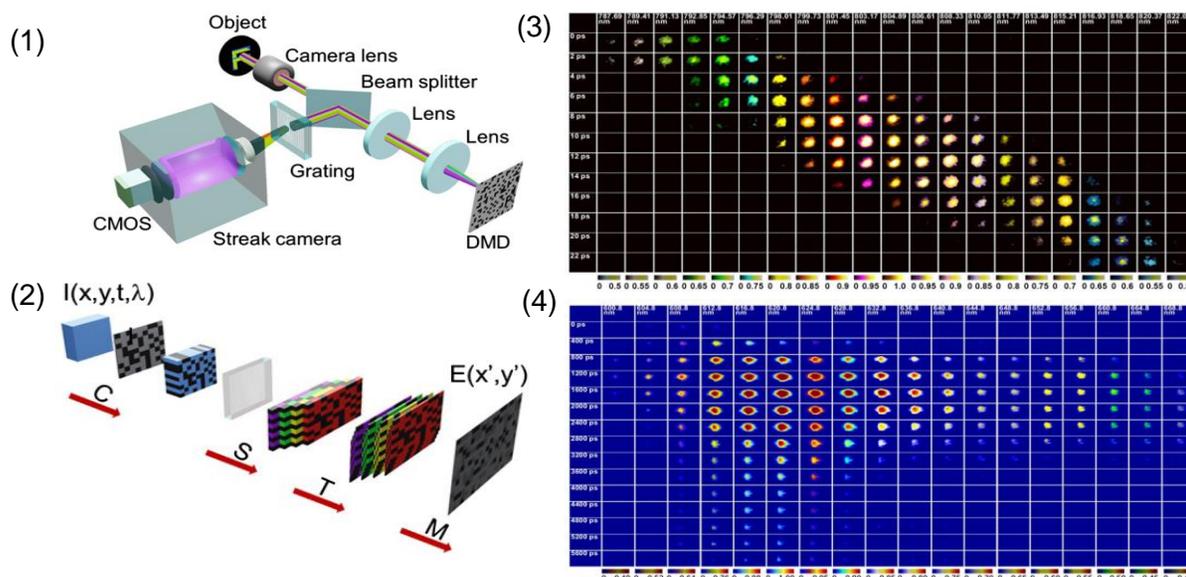
光学成像作为可以记录空间、时间和光谱信息细节，在人类探索和发现未知世界奥秘扮演至关重要角色。同时获取高空间、时间和光谱分辨率的光学成像系统是目前光学成像研究领域的发展趋势，这在基础研究和应用科学领域都有非常重要的应用前景，包括生物医学成像、遥感成像、核爆炸探测等等。

然而，在现有光学成像中，超快光学成像技术只能获得空间-时间信息，高光谱成像技术只能获得空间-光谱信息，而时间分辨光谱技术只能获得光谱-时间信息。因此，目前还没有一项光学成像技术能够在单次曝光下同时获取高空间、时间和光谱信息。

为了克服当前光学成像维度上的局限性，张诗按研究员和孙真荣教授团队发展了一种如图1所示的光谱分辨压缩超快成像（HCUP）新技术（图2为其数据流图），该成像技术不但具有超快的时间分辨能力，同时还能够拍摄光谱信息。HCUP是基于压

缩感知理论的计算成像方法，通过对动态目标进行空间编码、数据压缩和计算解码，最终还原出原始动态目标时间、空间和光谱信息，成像帧率可以达到 5×10^{11} 帧/秒，横向和纵向空间分辨率分别为1.26线对/毫米和1.41线对/毫米，不同帧频之间光谱间隔为1.72纳米。基于该HCUP系统，研究人员首次在时间、空间和光谱维度上成功测量了啁啾皮秒激光脉冲和光致荧光动力学过程，分别如图3和图4所示。

HCUP把光学成像从传统空间-时间或者空间-光谱信息突破到空间-时间-光谱信息，为探索极端条件下新的科学现象及规律提供强有力的技术支撑，有望促进科学研究和相关产业的进一步发展。该项研究成果发表在Physical Review Letters, 124, 023902 (2020)，该论文以华东师范大学为唯一完成单位，精密光谱科学与技术国家重点实验室的博士研究生杨承帅和曹烽燕为论文共同第一作者，齐大龙副研究员和张诗按研究员为论文的共同通讯作者。



图：（1）HCUP示意图；（2）HCUP原理图；（3）啁啾皮秒激光脉冲时间-空间-光谱测量；（4）光致发光动力学过程时间-空间-光谱测量。其中，图3和图4横坐标代表光谱，纵坐标代表时间。

光子动量亚周期超快传递过程

光子是电磁场的量子化形式，光子不仅携带着电磁场的能量，还携带着动量。当光子与物质作用并被吸收时，其能量以及动量均被吸收。被吸收的能量可以转化为诸如物质的热能，而被吸收的动量显示为光压作用在物质上。近年来，随着激光技术的发展，激光与物质的作用成为了学界的热门研究领域。在与原子的作用中，强激光脉冲的电场可以将原子核的库伦势压低，形成一个势垒，从而束缚态电子可以从中隧穿电离出来。最近，隧穿电离过程中光子动量传递给电离电子的物理过程受到了广泛关注。然而，此前的研究仅局限于整个激光脉冲向电离电子传递的光子动量，而没有对光子动量在震荡光场亚周期时间尺度传递给电子的超快动力学过程的研究。

倪宏程研究员课题组采用阿秒钟手段首次研究了光子动量亚周期超快传递过程。阿秒钟使用椭圆偏振的近红外飞秒激光脉冲对光电子进行角度调制，其中电子出射角度 ϕ_p 取决于电子电离时刻激光脉冲的瞬时矢势。这样，通过测量电子出射角度就可以还原电子的电离时刻。于是，激光偏振面上旋转的矢势可以作为阿秒钟的指针对激光传播方向的光子动量传递 p_z 进行亚周期时间分辨（见图1）。

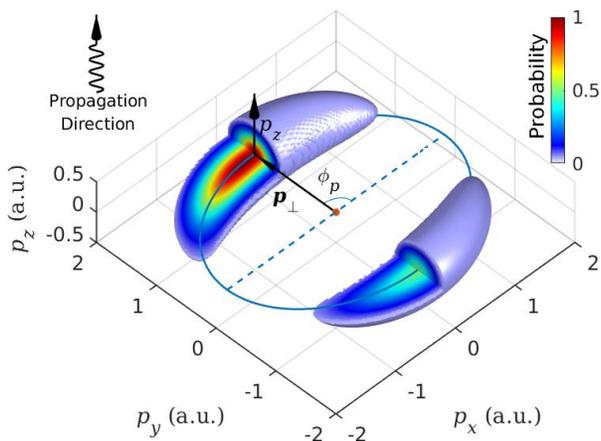


图1. 阿秒钟原理图。该图表示椭圆偏振激光隧穿电离电子的动量分布图，其中x-y平面为偏振面，z方向为激光传播方向。激光电场以及矢势在偏振面内旋转，从而为光子传递给电子的动量 p_z 提供亚周期时间分辨。

图2(b1)和图2(b2)清晰地显示了激光传播方向光子传递给电子的动量 p_z 随着偏振面上的电子出射角度 ϕ_p 的变化（蓝色、橙色线），同时还显示了不同出射方向 ϕ_p 上的电子电离率 P_I （红色、绿色线）；图2(b1)和图2(b2)的不同之处在于脉冲的载波包络相位。可以很明显地看出，在电子电离率最大的时刻（或出射角度），光子传递给电子的动量是最小的！这种看似不寻常的结果，其根源在于光子的动量传递主要是由电离时刻的脉冲矢势决定的，而电离率则是由脉冲电场决定的，脉冲电场和矢势间的90度相移导致了这样的结果。此外，隧穿电离过程中的非绝热效应也对光子动量传递造成了可观测的影响，见图2(c1)和图2(c2)中所示的 Δp_z 。

由于光子的动量传递是激光场的非偶极效应导致的，该工作首次发现了隧穿电离过程中非偶极效应与非绝热效应的耦合作用，并为该耦合作用的亚周期时间分辨铺平了道路。文章发表于Phys.Rev.Lett.125, 073202 (2020)。（注：严格来讲，亚周期时间尺度上并不存在光子的概念，本文为了表述方便仍然采用了光子图像。）

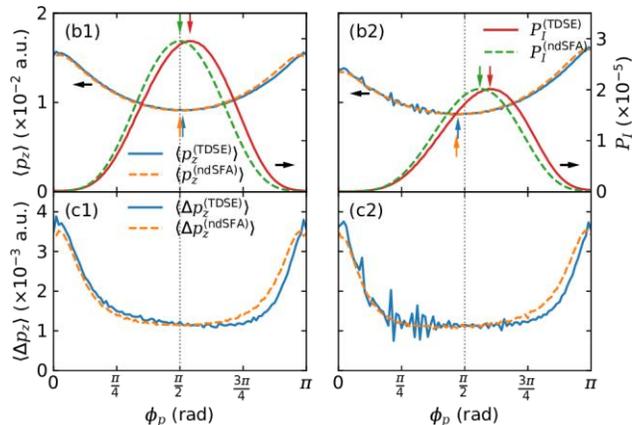


图2. (b) 电离率 P_I （红色、绿色线）以及电子动量 p_z （蓝色、橙色线）随电子出射角度 ϕ_p 的变化。(c) 隧穿过程非绝热效应对不同出射角（或电离时刻）电子获得光子动量的影响。左栏(1)和右栏(2)的区别在于脉冲的载波包络相位。

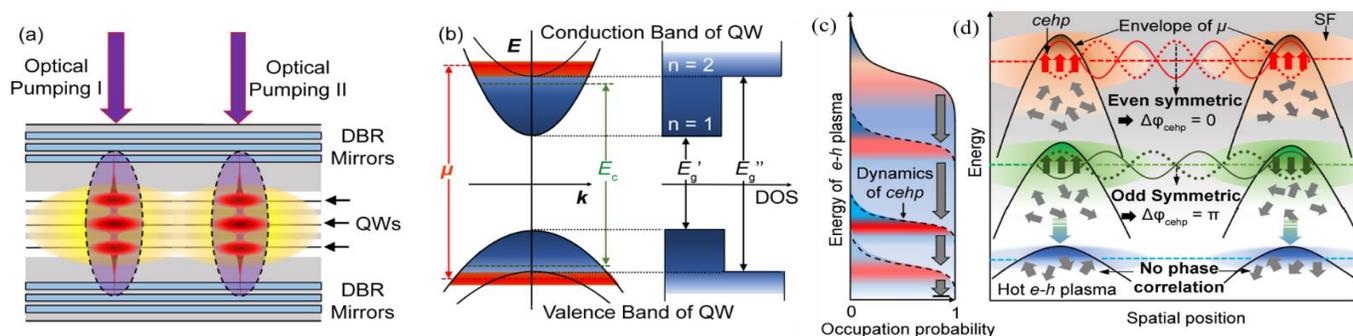
光学微腔中电子-空穴等离子体的室温凝聚

——微纳光子学与多体关联物理交汇的新前沿

随着腔量子电动力学原理和微纳加工、光学操控等实验技术的发展，微纳光子学中光-物质相互作用研究方向与多体关联物理中量子合作行为研究方向正逐步走向相互交叉与融合。这样的交叉融合孕育出许多新奇的物理现象和新兴研究成果。半导体光学微腔中的集体行为作为此类交叉方向的一个新颖分支，兼具多参量多维度操控能力和多样灵活的样品制备集成工艺优势，已成为研究多体量子统计物理，以及在固态体系模拟玻色-爱因斯坦凝聚、超流体等极端物态的一个理想窗口。

谢微研究员课题组将偶极子多体系综的合作辐射特征（超荧光效应）与半导体光学微腔体系的光-物质相干耦合性能相结合，在室温条件下实现了电子-空穴等离子体准费米面处的玻色凝聚行为。通过多体关联物理与微纳光子学的交叉融合，将半导体光学领域相干凝聚的实现范围扩展到高温高浓度的电子-空穴等离子体相。在此基础上，利用时空多维度高精度实验操控和探测技术，进一步揭示了两团凝聚体间的长程关联作用以及关联相位的动态演化，并实验演示了凝聚体关联行为的调控，为高强度超快光学元器件的新兴性能开发提供了一种基于微纳光学操控-多体关联物理联合的全新设计思路和技术方案。

区别于传统半导体光学微腔的设计理念，该工作将光学共振模式的能级设置在高于半导体发光材料禁带宽度约100 meV的激发态能级处，从而抑制禁带能级附近的快速辐射损耗，在低维量子阱材料中制备高浓度电子-空穴等离子体。在此基础上，通过虚光子交换作用有效的压制准费米能级附近粒子的散射退相，让材料准费米面处物质成分自发地建立相干，形成关联电子-空穴等离子体。当激发浓度超过阈值后，关联电子-空穴等离子体引发的集体辐射在微腔中经过受激增强后形成腔增强超荧光。该工作首次证明：利用腔增强超荧光效应，电子-空穴-光子体系可以在等离子相中展现宏观相干性并在室温环境下发生准凝聚现象。更有趣的是，若在微腔中引入两团电子-空穴等离子体凝聚体，实验表明凝聚体间可建立长程相位关联。关联相位随着系统辐射过程动态演化，并可通过改变激发条件实现调控。该工作引领性地将电子-空穴-光子体系的光-物质集体相干的实现范围拓展至高温高浓度等离子体相区间，首次研究电子-空穴等离子体凝聚团之间的相位锁定机理和调控技术，为多体量子理论的完善和基于微纳结构凝聚行为的高温高强度光电器件开发奠定基础。该成果发表在 *Phys. Rev. Lett.*, 124(15):157402, 2020.



图：半导体光学微腔中电子-空穴等离子体室温凝聚：(a) 样品结构和激发配置。(b) 能带结构和能态密度。(c) 室温下 e-h plasma 集体关联态的动力学演化。(d) 两团 e-h plasma 凝聚体间的动态相位关联

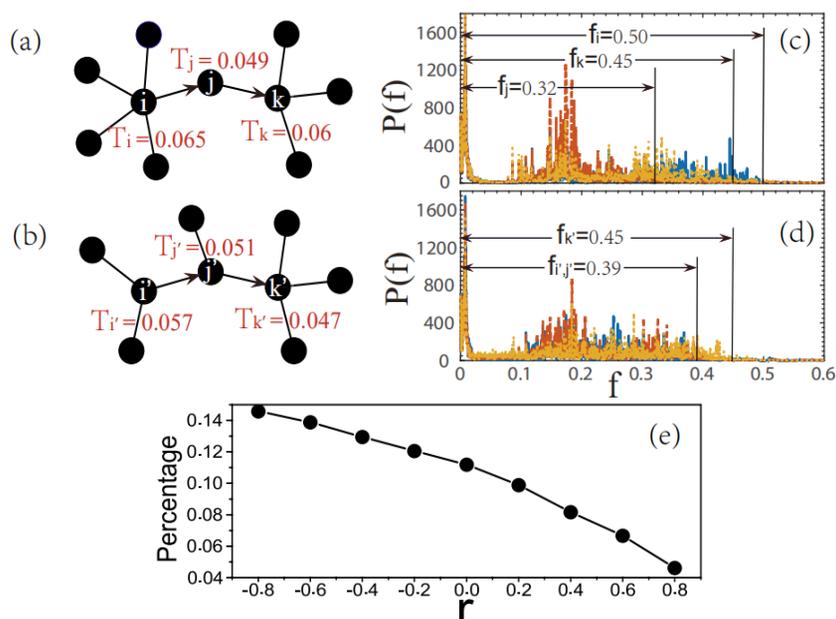
热虹吸现象：热量从低温节点传递到高温节点

日常经验和热力学定律告诉我们热流是自发的从高温流到低温。然而，最新来自华东师范大学，昆明理工大学，美国科罗拉多大学的合作研究团队（熊科诏博士、刘宗华教授、曾春华教授、李保文教授）发现了一种反常的热传导现象：在复杂网络的局部链接上，热量有可能从低温节点传递到高温节点，且这种可能性随着网络结构负相关性的增加而增加，如图(a)与(e)所示。这种现象被称为热虹吸现象，其相关研究论文“Thermal siphon phenomenon and thermal/electric conduction in complex networks”发表在《国家科学评论》(National Science Review, NSR 7: 270–277 (2020), IF=16.693)。

为了理解这个反常的热传导效应(图a)，研究者们进一步研究了每个节点的功率谱和热量在功率谱范围内的输运(图c, d)，发现在功率谱范围内传输的热依然是从(有效)高温到(有效)低温。更深入的研究发现，热虹吸现象的微观机制源自网络结构的异质性，如图(e)所示。

此外，研究还发现了同时具有较低热导率和较高电导率的网络结构。

近年来，基于纳米管和纳米线的先进设备引起了广泛关注，但基于单根纳米线或纳米管的设备不适合一般的工业应用，因为在工业可靠的尺度上控制单根纳米线或纳米管的物理化学性质、生长和校准非常困难。在现实设备中实现纳米线或纳米管应用的另一种策略是使用基于包含许多纳米线或纳米管的纳米网络。不仅如此，实验室生成的各种复合材料在显微镜下也可以观测到清晰的网络结构。目前，薄膜纳米网络和复合材料已经被广泛以用于太阳能电池、场效应晶体管、平板显示器、热电发电机、柔性可穿戴设备等多个行业。本文发现的这个复杂网络的热电特性，有可能为热电材料设计提供新的思路。



基于超构表面的量子光源

量子信息是目前世界上最前沿、最活跃的研究领域之一。随着光量子信息技术的发展，现有的量子光源制备方案在提高纠缠维度以及纠缠光子数方面面临着光学系统复杂、可集成度低、稳定性弱等问题，制约着光量子信息朝着大规模集成方向发展。最近，李林研究员与来自南京大学、香港理工大学以及中国科技大学的团队合作提出一种新型的“超构表面”人工薄膜材料的研究为量子光源及光量子信息技术的发展提供了一条全新的路径。

在这项研究中，他们将一组特别设计的超构透镜阵列与非线性光学晶体组合在一起，构成全新的超构表面量子光源系统。这个超构透镜阵列由 10×10 的超构透镜组成，它将泵浦激光均匀地分成100份并聚焦在非线性晶体BBO中间，发生自发参量下转换过程。这个过程可制备100维路径纠缠，也可以产生多光子。

实验中采用404nm的连续激光作为泵浦源，制备并测试了不同维度的纠缠态的情况。实验测得所构成的二维、三维以及四维路径纠缠态的保真度均大于95%。不仅如此，超构透镜具有灵活的光场调

控能力，可以对光场的相位、偏振、振幅等集成调控。研究团队通过对超构透镜的相位设计，对所制备的量子纠缠态进行了精细的相位编码，并通过实验进行了很好的证明。在多光子方面，利用415 nm的飞秒激光作为泵浦源，分别测量了由该系统制备的4光子和6光子的符合曲线，并展示了4光子Hong-Ou-Mandel干涉的结果，得到很高的干涉对比度，证明产生的多光子量子光源具有很好的性质。

该工作通过引入超构表面，实现了高维度、集成化的双光子、多光子纠缠光源，突破了现有量子光源的技术瓶颈和信息编码维度限制，有望应用于高维度的量子通信、量子计算、量子存储等领域，对于发展具有更高信息容量和更高安全性的量子信息技术具有重要意义。

值得指出的是，该工作提出的将超构表面与量子信息技术相结合的研究仍然处于初步探索阶段，进一步利用超构表面在光场调控和系统集成方面的优势，将为更高维度的量子纠缠的制备及探测，实现先进实用的量子信息器件和系统创造巨大的机会。该工作发表于Science, 368, 1487-1490, (2020)。

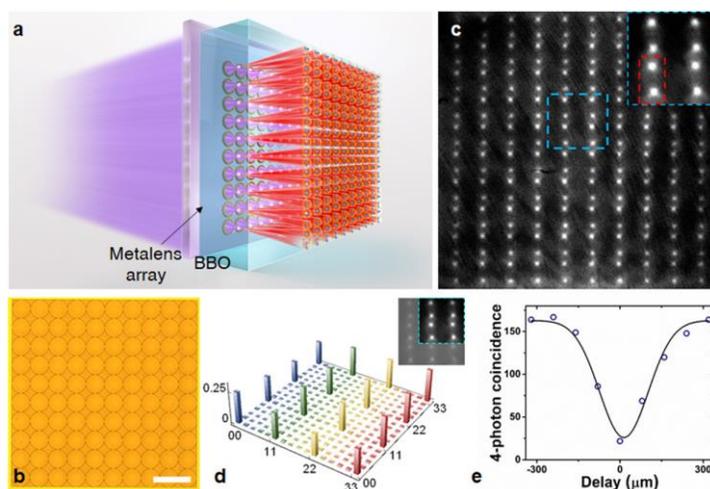


图1：基于超构表面的量子光源系统。(a) 超构表面量子光源示意图；(b) 超构透镜阵列样品显微图像；(c) 制备的100对自发参量下转换光束；(d) 典型的4维纠缠态测试结果；(e) 4光子HOM干涉测量结果

太赫兹带宽的多参量光学编码

能源和信息是当今世界两大重要议题。最近，钙钛矿作为功能能源材料，因其宽带的光吸收和出色的电荷传输能力而在光能电能转化领域表现出众。然而，当前钙钛矿材料的研究和应用主要侧重于高效太阳能电池、微型多色相干光源等能源领域。能否将钙钛矿的应用领域从储能材料拓展到信息编码器件，是此领域面临的新挑战和发展方向。谢微研究员课题组首次概念上提出并实验上证实了基于单个钙钛矿亚微米球的多参量光学编码，其可调带宽高达0.2 THz。

作者通过控制辐射源本身的辐射状态进行编码，区别于后期调控输出光场的被动编码方式。作者将光源发光和编码操作结合，发展出无源调制编码不具备的独有功能，给出了节省编码能耗的可行方案。基于亚微米钙钛矿光学微腔，作者实现了多参量关联的太赫兹超快光学编码，从而将钙钛矿材料的应用疆界拓展到光信息处理领域。这种基于光学微腔激射效应的超快编码方案，可作为一种通用范式应

用到其他新型发光材料和多种形貌的微纳结构体系，为开发超快光通信编码器件和微集成高带宽光芯片奠定基础。

作者通过化学气相沉积方法制备高质量的CsPbBr₃全无机钙钛矿微球（图1）。单个亚微米钙钛矿球结构即可输出性能稳定、功率阈值低的单模激光，又可在光学激射和非激射状态之间快速切换，实现超快光学编码。由于激射和非激射状态下辐射场性质迥异，该光学编码序列具有优异的区分度和鉴别度。而且辐射光场的强度、偏振度和相干度等物理参量在激射和非激射状态切换过程中遵循关联变化的特点。这种多参量关联的编码方式内在兼容码值纠错功能。此外，作者通过发光源的非线性特征扩展多层编码操作（图2），演示了三进制等高阶编码，进一步提升太赫兹带宽钙钛矿微型编码器的信息容量。该工作已发表于Laser & Photonics Reviews 2020, 1900398.

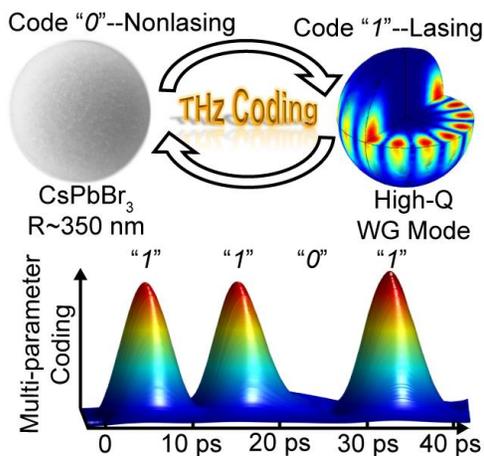


图1: 钙钛矿微型超快编码器

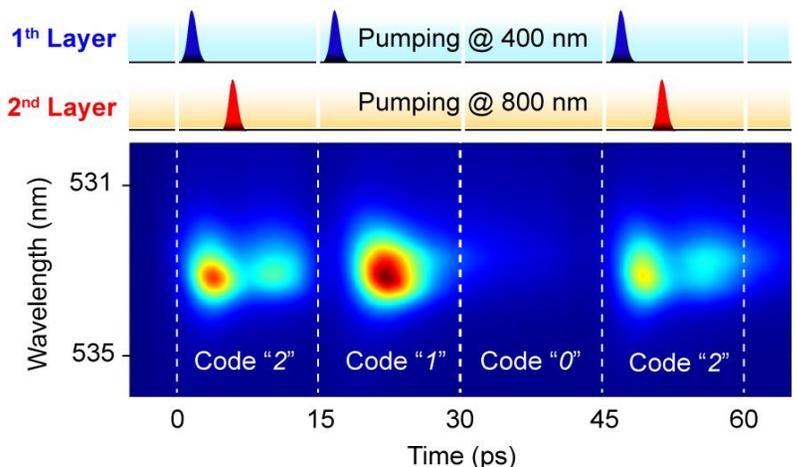


图2: 双层编码操作实现三进制多参量关联编码

用神经网络方法实现光学涡旋模式的宽带高效识别

随着大数据，云计算和人工智能等新兴领域的出现，传统的通信方式所提供的信道容量具有很大的局限性。为了提高通信系统的信道容量，携带轨道角动量 (OAM) 的涡旋光束以一种新的复用方式出现，可以从根源上解决复用通信中的速率和信道容量问题。为了实现轨道角动量复用通信，需要突破的关键技术之一就是接收端涡旋光束 OAM 的探测。

印建平小组提出并产生了一种具有混合角动量的光束，横截面光强度分布具有明显的 OAM 识别特征，提高了 OAM 识别的准确性。基于这种混合角动量的光束，利用改进 AlexNet 架构的卷积神经网络 (CNN) 的机器学习方案实现了基于花瓣干涉模式

的光 OAM 的高精度识别。研究了训练样本分辨率和数量与训练时间和识别准确率的关系。研究了识别准确率与 OAM 量子数 l ，螺旋相位占整个混合相位的角动量比例 n ，和传播距离 z 的关系。研究表明，当量子数 l 范围从 1 到 10，和 n 变化从 0.02 到 0.99 时，OAM 识别准确率接近 100%。在 OAM 模式下识别出的最小角动量比例 n 的间为 0.01。这些特点表明了这种混合角动量光束具有超高带宽，在下一代基于 CNN 的 OAM 光通信中具有巨大的应用潜力。研究成果发表在 **Phys. Rev. Appl.** 13, 034063 (2020)。

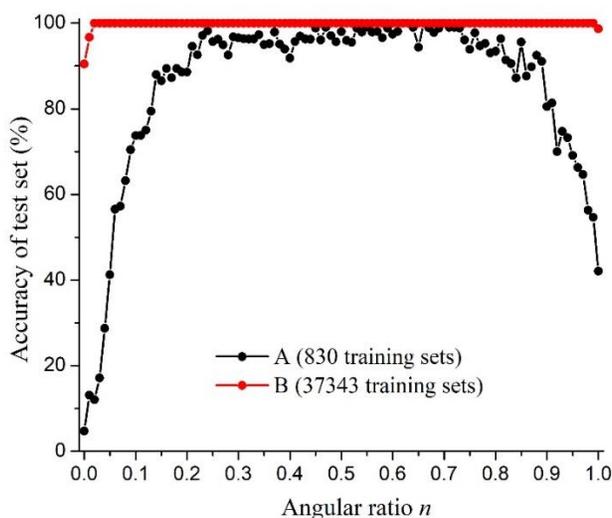


图1. 在 $l = 1 \sim 10$, $z = 21\text{cm} \sim 50\text{cm}$ 时，比例系数 n 对混合光束 OAM 识别准确率的影响。图中红、黑点分别对应不同训练集。

结合电磁诱导透明的多维光谱技术

多维光谱技术已经广泛应用于研究各种物理和化学现象。在基于光子回波信号的多维光谱技术中，第一束脉冲用于产生相干态 ρ_{ge} ，随后演化同时逐渐退相干；经过时间 t_1 后，第二束光脉冲产生激发态布局 ρ_{ee} ，随后演化时间 T ；第三束脉冲产生 ρ_{ee} ，经过复相干过程系统将自发产生光子回波信号。通过关联两两脉冲间隔中的量子相干动力学，我们能够获取分子间的耦合信息。基于光子回波信号的二维光谱技术，能够通过退相干和复相干过程选择性地消除非均匀加宽。消除非均匀加宽能够减少光谱中共振峰的互相重叠，从而能够很大程度上缓解光谱拥堵。然而，其他的退相干机制，比如均匀退相干，通常不能够被清除。均匀退相干引起的光谱展宽对于研究小能级间隔的体系动力学显得尤为重要。

多维光谱是完全基于时间域完全分开的序列光脉冲产生的量子相干。此外，当脉冲序列在时间域重叠时，会产生相干相长或者相干相消的量子相干效应，从而产生非同寻常的谱线。电磁诱导透明 (EIT) 就是时间重叠脉冲序列下的一种量子相干效应。自从被首次提出和后来被实验验证之后，EIT 现象在量子光学领域已经被广泛研究。EIT 的本质是允许两束（控制光和探测光）与靶材共振的光脉冲穿过而不被吸收。EIT 的主要特点是在吸收谱线中狭小

的范围内，介质对该段频谱透明，即不吸收。这使得 EIT 在光谱学中成为非常具有吸引力的工具。

Konstantin Dorfman 教授课题组结合 EIT 技术，理论上提出了一种新型的多维光谱技术。新方法的优势是结合了光子回波的高时间分辨率和双光子共振 EIT 技术选择性地消除均匀展宽。在新方案中，在产生光子回波的超短脉冲序列基础上额外增加一束可调谐的强 CW 控制脉冲与超短脉冲序列重叠，最终我们计算结果显示二维光谱的线宽远小于正常的均匀展宽。图 1.(a) 为方案示意图和二聚体 Cs_2 的能级结构示意图。图 1.(b)-(e) 为当控制脉冲强度逐渐增大时得到的二维光谱。可见，当控制场消失或者很弱的时候，光谱完全呈现出非均匀展宽。当控制场强度逐渐增加时，光谱图呈现出明显的 EIT 形式的二维分裂结构，投影到一维的光谱宽度也随着逐渐减小，直到明显小于正常的均匀加宽。新方案在探测具有较密集能级体系的布局或相干动力学上具有潜在应用。尤其对于大分子体系，与 EIT 技术结合的多维光子回波技术不仅能够消除非均匀展宽的影响，还能突破均匀加宽的极限。该工作发表于 *J. Phys. Chem. Lett.*, 11, 5504 (2020)。

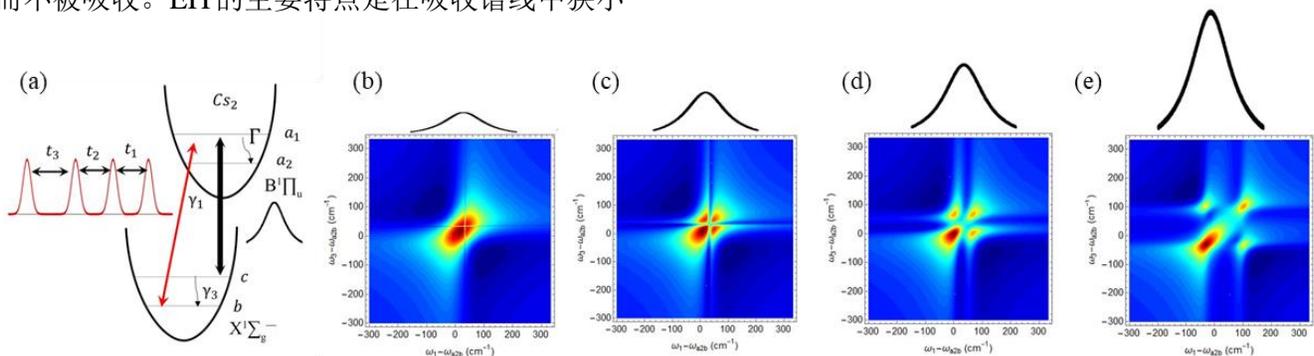


图1: (a)方案脉冲序列示意图; (b)-(e)当控制光场逐渐增强时,计算得到的二维光谱图。当控制场逐渐增强时,光谱呈现出明显的EIT分裂,使得光谱线宽最终突破均匀展宽的限制。

吴健教授牵头的“分子超快行为精密测量与调控”项目 荣获自然科学奖一等奖



▲精密光谱科学与技术国家重点实验室吴健教授牵头的“分子超快行为精密测量与调控”项目荣获自然科学奖一等奖

由华东师大精密光谱科学与技术国家重点实验室吴健教授牵头的“分子超快行为精密测量与调控”项目荣获自然科学奖一等奖。该项目属于超快激光物理领域，围绕分子内电子-核量子态演化极端超快动力学行为精密测量与调控开展前沿科学研究，取得多项创新研究成果：

- 近30多年来首次实验上揭示分子多光子能量吸收过程中电子-核关联共享新机制，重新认识了分子吸收光子能量这一光与物质相互作用的首要过程。
- 发展了强场四体符合测量和二维阿秒操控技术，实验证实了物理学家20多年前提出的分子隧穿增强的经典物理假设。
- 首次测量了分子转动回声时空演化行为，有效提高分子取向程度3倍以上，引领本领域国内外多个课题组的实验和理论跟踪研究。

该项目8篇代表性论文包括5篇PRL和1篇PRX。部分成果获中国光学学会饶毓泰基础光学奖和中国光学重要成果奖。项目第一完成人2014年获得国家杰出青年科学基金资助。

实验室14项项目获得国家自然科学基金资助立项

根据近期国家自然科学基金委已经公布的项目评审结果，精密光谱科学与技术国家重点实验室成员们申请的项目喜讯频传。

批准号	负责人	项目名称	项目类别
12022411	闫明	精密分子光谱	优秀青年科学基金项目
12074122	彭俊松	呼吸子超快激光	优秀青年科学基金项目
62035005	曾和平	宽谱超高分辨率多光梳光谱	重点项目
12034008	孙真荣	分子相互作用及其量子反应动力学共振研究	重点项目
12074124	康司坦丁	多维高次谐波探测分子激发态超快动力学	面上项目
12074121	齐大龙	超快时间分辨及低激发阈值的非线性显微成像技术研究	面上项目
22073030	梅晔	发展参考势方法框架下的自由能计算方法辅助人工酶设计	面上项目
12074123	贾天卿	多维整形超快激光诱导高空间频率周期表面纳米结构的超快动力学	面上项目
12074122	彭俊松	飞秒光纤激光器时频智能化精密调控	面上项目
12074125	武跃龙	基于 6Li - 7Li 冷原子的高精度同位素位移测量	面上项目
62075062	陈修亮	基于InGaAs/InP APD阵列的高速单光子探测技术研究	面上项目
62005079	袁翔	费米弧红外光电流研究	青年科学基金项目
12004115	史哲雨	量子气体中的标度对称性与标度律	青年科学基金项目
12004117	潘登	非平衡态石墨烯中新光学效应的研究	青年科学基金项目

12位优秀人才加盟实验室

2020年1月至今，12位优秀人才加盟实验室，他们分别是谢微、王杰、师浩森、刘胜帅、姚天军、施钧亨、曹凯强、李睿、张文斌、张凯、李思瑾、卢伟。个人简介如下：



谢微，1985年出生，2012年在复旦大学物理系获博士学位，2012年至2015年先后在复旦大学担任助理研究员、在美国密西根州立大学做博士后工作，2015年加入华东师范大学物理与电子科学学院。研究方向主要为微纳光学结构集体量子行为及调控技术、低维和表界面体系的光谱及超快时间动力学、超快光学编码。近年来在Phys. Rev. Lett., Nat. Commu., PNAS, Optica, Laser & Photonics Reviews, Nanoscale等国际知名杂志发表论文30余篇。2020年1月加入精密光谱国重实验室徐红星教授课题组。



王杰，1987年生，2016年在山西大学量子光学与光量子器件国家重点实验室获得理学博士学位，2016年9月至2019年3月在日本电气通信大学担任特任研究员，2019年4月至2020年3月在日本理化学研究所（RIKEN）担任特别研究员。主要研究兴趣为光谱精密测量、冷原子物理和腔量子电动力学。近年来在PRL, PRA, Opt. Lett., Opt. Express等杂志发表SCI论文10余篇，授权发明专利3项。2020年6月以专职副研究员加入武海斌教授课题组。



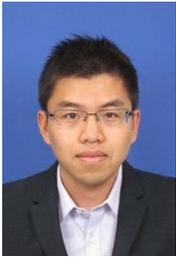
师浩森，1990年生，2018年在天津大学获得光学工程博士学位，博士期间研究方向为低噪声飞秒激光器及其在双光梳精密测量中的应用。曾参与完成国家863计划、国家自然科学基金项目。2018年至2020年在KLA公司担任半导体缺陷检测设备研发系统工程师。近年在Opt. Lett., Opt. Express, IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron., IEEE Photonic Tech. L.等杂志发表论文10余篇。2020年加入马龙生教授课题组担任专职副研究员，从事光频精密控制与精密光谱方向的研究。



刘胜帅，1992年生，2020年在华东师范大学获得光学博士学位。研究方向为：量子光源及其在量子通讯上的应用。近年来，在Nature Communications, Physical Review Letters, Physical Review Applied, Physical Review A和Optics Express等SCI期刊发表学术论文7篇。2020年8月以专职副研究员加入实验室荆杰泰教授课题组。



姚天军，1992年生，2019年在上海理工大学获得光学硕士学位。研究方向为超快激光的非线性频率变换及调谐技术，超快光纤激光技术及应用等。曾参与完成国家自然科学基金面上项目，上海市曙光人才计划项目等。近年在Scientific Reports, Sensors等杂志发表论文4篇。2020年5月以专职助理研究员加入曾和平教授课题组从事超快激光技术的研究工作。



施钧亨，1989年生，2019年在上海光机所获光学博士学位，曾于2015年9月至2017年7月赴法国里尔大学PhLAM实验室学习并获联合培养博士学位。主要研究方向为量子时域成像，量子信息和量子计算。近年在Optics Letters, Chinese Optics Letters, Journal of Optics等杂志发表多篇学术论文。2020年以博士后加入实验室 Tim Byrnes 教授课题组。



曹凯强，1992年生，2020年获得华东师范大学博士学位。主要研究领域：超快激光精密加工及其动力学过程。主要研究方向：超快激光加工涡轮叶片气膜孔、飞秒激光在半导体与金属表面制备大面积纳米光栅周期结构、偏振整形的多光束激光诱导复合纳米-微米周期结构及其发光特性。曾参与完成国家自然科学基金项目、上海市横向课题项目。近年来，在Physical Review B, Optics Express, Optics&Laser Technology 等学术期刊发表论文7篇，发明专利7项。2020年7月以博士后加入贾天卿教授课题组开展博士后工作。



李睿，1993年生，2020年在华东师范大学获得光学博士学位。研究方向为冷原子中的精密测量，超冷费米气体等，曾参与多项国家自然科学基金项目。在Phys. Rev. Lett. Opt. Express 等学术期刊上发表论文5篇。2020年7月进入华东师范大学物理学流动站，加入武海斌教授课题组从事博士后研究工作。



张文斌，1994年生。2020年在华东师范大学精密光谱科学与技术国家重点实验室获得光学博士学位。博士期间主要从事分子强场超快动力学精密测控相关的研究，研究内容包括强激光场中分子电离解离动力学、分子内电子-原子核关联效应、分子里德堡态激发等超快行为的精密测量与操控。近年来发表SCI论文30余篇，其中第一作者论文7篇，包括1篇Nature Communications、2篇PRL。2020年7月加入吴健教授课题组开展博士后研究，研究方向聚焦于纳米颗粒表面分子超快动力学的精密测控。



张凯，1992年生。2015年至2020年在华东师范大学精密光谱科学与技术国家重点实验室攻读博士学位。2019年2月至2019年5月在法国巴黎索邦大学LKB实验访学。主要研究方向为热铷原子中的四波混频过程在量子通信领域的应用研究。近年在Physical Review Letters 和Physical Review A发表论文3篇。2020年以博士后加入荆杰泰教授课题组开展博士后研究。



李思瑾，1993年生，2020年在华东师范大学获得物理博士学位。主要研究方向为基于热铷原子系综的连续变量量子光学。近年来，在Physical Review Letters, Physical Review A 发表论文3篇，其中以第一作者发表Physical Review Letters 1篇。2020年以博士后加入荆杰泰教授课题组。



卢伟，1989年生，2014毕业中央电视大学，2017年获取国家数控技师职业资格，现已从事机械制造行业10余年，先后就职于萨克斯汽车零部件（上海）有限公司、采埃孚传动系统零部件（上海）有限公司，主要从事数控及普通机械加工，期间参与多个工装夹具及机械加工工艺的改进项目，积累了丰富的机械加工经验。2020年加入精密光谱实验室，任职于精密机械加工中心。

精密光谱科学与技术国家重点实验室 2020年“优秀大学生夏令营”圆满举行

7月7日-8日，华东师范大学精密光谱科学与技术国家重点实验室2020年“优秀大学生夏令营”以线上形式顺利举行。本次夏令营共吸引了来自全国各地高校的100多名优秀本科生报名，经过筛选，来自华师大、北师大、华中师大、华东理工、山西大学等的72名同学脱颖而出，相聚云端，共同学习。

本次夏令营的主题为“精密光谱科学前沿问题及其在高技术发展中的应用”。围绕这一主题，实验室在两天的时间里组织了实验室介绍、学术报告、经验交流、优秀营员面试等活动，向来自全国各地的优秀大学生们展示了精密光谱科学与技术国家重点实验室的发展历程、师资力量、学术成果和人才培养模式，也让营员们深切感受到了实验室精湛的科研团队、良好的科研条件和浓厚的学术氛围。

7月7日上午，全体营员在云端参加了开营仪式。开营仪式由实验室党总支副书记马玲主持，实验室主任吴健、副主任李文雪、辅导员杨欣怡等参加了开幕式。吴健在致辞中热烈欢迎营员们的到来，并介绍了实验室的发展历程、规模、师资、研究方向、科研成果等情况，李文雪介绍了实验室研究生招生和培养的相关政策。

开营仪式后，结合研究方向，实验室各课题组的导师们为营员带来了23场精彩的学术报告，使学员们对精密光谱科学与技术领域的内容和方法有了深刻认识，他们认真听、用心记，并积极参与问答互动，开拓视野的同时，也找到了自己感兴趣的研究方向。

在学术报告之后，实验室为营员们安排了荣获2020届上海市优秀毕业生的张文斌和华东师范大学优秀毕业生的刘胜帅做经验分享，两位同学从自身出发，讲述了他们在华师大和实验室的科研和生活的经历及感悟，师兄们展示的累累科研硕果让大家惊叹、优越的科研条件让大家向往、丰富的课余活动让大家赞许，可口的食堂饭菜也让大家期待，他们鼓励营员们勤奋学习，期盼大家的加入。

7月8日，实验室组织了优秀营员的面试考核，面试分为思政和专业两部分，对营员的学科基础知识掌握、英语能力、科研能力以及思想政治素质等方面进行考察，最终共选拔出优秀营员51人。

“优秀大学生夏令营”首次尝试云端举行，短短的两天时间里，通过视频短片、发展历程和招生政策介绍、课题组学术报告、老生经验分享、思政和专业面试等环节，让营员们对实验室有了比较深入的了解，实验室数十位老师积极参与夏令营工作，热忱欢迎所有对光学学科感兴趣、热爱科研的学子报考实验室，期待九月与营员们线下再见。

“有谱”青年，扬帆起航·精密光谱科学与技术 国家重点实验室迎来2020级新生

金秋送爽喜迎八方学子，2020年9月12日、13日，精密光谱科学与技术国家重点实验室在美丽的樱桃河畔迎来了108名2020级全日制硕士和博士研究生新生。为帮助新生入学后尽快融入校园环境、增进师生和同学们之间的感情、全心投入专业学习，9月14日至18日，实验室开展了为期一周的新生入学教育，“有谱”青年正式扬帆起航！

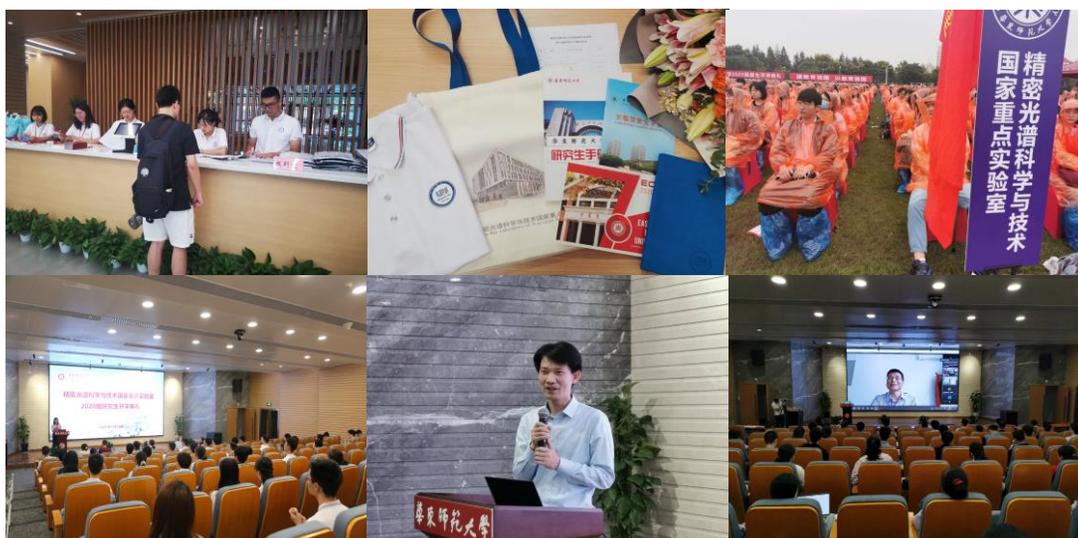
幸福起航——融入校园，做有爱师大人

9月12日清晨8点，光学大楼前台就已经摆上了精心设计的迎新礼包、各种资料，辅导员杨欣怡老师和实验室的师兄师姐们早早地做好准备，以饱满的姿态等待着2020级新生的到来。报到、核对信息、提交材料，发放礼包时的一句“开学快乐”一下子拉近了新老生彼此间的距离，紧张和陌生感瞬间被消减。

青春起航——聆听箴言，做奋进师大人

9月16日上午，实验室的全体新生参加了学校开学典礼，聆听了校长钱旭红院士的第一堂课——“思维是你的隐形翅膀！”。钱校长指出，大学教育是培养、汇聚“六才”的地方——天才、全才、专才、偏才、怪才、鬼才，正如华东师大的校徽繁体的“華”，是培养、汇聚各式各样的，不可替代的人的地方，并以“信息常杂乱无章，知识会多种多样，思维却源远流长”的箴言教诲学生。

新生们为实验室注入了富有活力的新鲜血液，一周的入学教育旨在帮助新生了解熟悉学校和实验室的相关制度规定，做好科研准备，尽快融入师大生活，之后，新生将迎来崭新的学习生活，开启属于自己的师大篇章。



2020年“极端光学”研究生暑期学校 在华东师范大学举办

在山西大学“极端光学省部共建协同创新中心”支持下，华东师范大学精密光谱科学与技术国家重点实验室于2020年7月13-17日举办了“极端光学”研究生暑期学校，旨在加强光学领域研究生创新能力培养，提高研究生培养质量以及实现优质教育资源共享。极端光学暑期学校吸引了来自全国十余所高校科研单位学生积极报名，共录取了203名正式学员。暑期学校还邀请到20位极端光学领域的著名专家学者，围绕极端光学的科学前沿与关键技术，较为系统地介绍极端条件下的新物理、新现象、新技术和新器件方面的研究进展，以及极端条件下光场调控、光与物质相互作用等研究方面的创新成果。

“极端光学”研究生暑期学校开班仪式由华东师范大学精密光谱科学与技术国家重点实验室主任吴健教授主持，华东师范大学副校长孙真荣教授为开班仪式致辞，希望同学们通过此次暑期学校加强彼此了解，互通有无，共同进步。极端光学省部共建协同创新中心主任贾锁堂教授、极端光学省部共建协同创新中心首席科学家、北京大学常务副校长龚旗煌院士出席了开班仪式，并分别作了讲话。暑期学校课程在中国科学院上海光学精密机械研究所李儒新院士的“超强超短激光及其重要应用前景”报告中拉开帷幕，浙江大学的杨青教授、杨旸教授，南开大学的蔡卫教授、胡毅教授，北京大学的吴成印教授、王剑威教授，武汉大学/华东师范大学的徐红星院士、上海交通大学的盛政明教授、向导教授，中国科学院西安光学精密机械研究所的田进寿研究员、华东师范大学的段纯刚教授、武海斌教授、李文雪研究员，深圳大学的袁小聪教授，山西大学的肖艳红教授、苏晓龙教授，中国科学院物理研究所的曹则贤教授、翁羽翔教授，中国科学技术大学的卢征天教授先后分别授课。本次授课共开设华东师大、山西大学、西安光机所等多个分会场，学员们积极主动向授课专家提问，深入交流，虚心学习。

本次暑期学校除了精彩的课程外，还设置了线上云参观的活动，让由于疫情影响没有来现场的专家和学员们深入了解精密光谱科学与技术国家重点实验室，同时还设置了优秀张贴海报奖，在结班仪式上由华东师范大学武愕研究员为优秀张贴报告奖学员代表颁奖，以此鼓励学员们积极展示介绍自己的科研工作，加强国内科研单位之间的学术交流与合作。





华东师范大学精密光谱科学与技术国家重点实验室
State Key Laboratory of Precision Spectroscopy, East China Normal University

地址：上海市闵行区东川路500号光学大楼A229（200241）

电话：021- 54836023

邮箱：lps@phy.ecnu.edu.cn

Optics Building A229

Minhang Campus: 500 Dongchuan Rd., Shanghai 200241

Tel: 021-54836023

Email: lps@phy.ecnu.edu.cn



官方微信公众号



实验室招生群