



学科漫谈

# 超快介观光学:追求时空极致之光

■ 本报见习记者 袁一雪



李焱

北京大学物理学院教授,博士生导师;北京大学人工微结构和介观物理国家重点实验室常务副主任;中国光学学会常务副秘书长

2015年是光和光基技术国际年,目前世界上科学家对于光学的研究正在向极致发展,其中就有超快介观光学。

量级的空间中传播,这时麻烦就来了,除了要考虑电磁波的相位特性外,其矢量特性以及多重散射效应都要考虑,这些因素导致了复杂而多样的现象,如光子带隙、负折射、超透射、表面等离激元、消逝波等等。这就是介观光学研究的范围。人工微结构和介观物理国家重点实验室学术委员会主任甘子判院士为这门学科下的定义是:介观光学是空间尺度相当于光波波长或小于光波波长的光学。实验室主任龚旗煌院士则从实验的角度如是说:“光在聚焦之后将变成一个点,在常规光学系统中这个点不可能小于波长的一半,这就是所谓的光学衍射极限,而介观光学就是利用各种新的方法使其聚焦或作用的点比衍射极限更小。”

一般而言,只有波长在390纳米至760纳米范围内的光对人眼是可见的,波长小于390纳米的光还有紫外线和X光等,而波长大于760纳米的光还有红外线和太赫兹波等,可见光只占很窄的范围。对可见光而言,介观光学研究的尺度就是纳米量级,与纳米光学基本一致。“介观光学的研究范围按照光学波长来划分,避免了用长度描述物理过程,适用于各种波长下的研究,不至于在研究其他波段(如太赫兹波段)的介观光学过程时受到‘纳米’的限制。”北京大学物理学院教授李焱介绍说。

人们在突破光学衍射极限的征途上已取得不少进展。2014年的诺贝尔化学奖颁给了三位物理学家,以表彰他们突破光学衍射极限使光学显微技术进入了纳米尺度。

在此之前,常规光学显微镜的分辨率一直处在200纳米,即可见光中短波波长一半的瓶颈处,并在这个瓶颈上停留了一个多世纪,原因就是无法突破光学衍射极限的问题。于是,有些人选择使用分辨率达到0.2纳米的电子显微镜,但是不利于研究活体生物样本。

为了让光学显微镜的分辨能力更上一层楼,三位诺贝尔化学奖得主分别发挥各自的优势,终于突破光学衍射极限,让光学显微技术进入了纳米尺度。利用这样的光学显微镜,科学家们可以观测活细胞中不同分子的运动——他们能够看到细胞间神经细胞间的突触是如何形成的,他们能够观察到与帕金森氏症、阿尔茨海默症和亨廷顿舞蹈症相关的蛋白聚集过程,他们也能够观察到受精卵分裂形成胚胎时追踪不同的蛋白质。

自科学诞生之日起,人类最先接触的研究对象就是宏观世界,伽利略、牛顿、爱因斯坦等科学家逐步认识到了宏观物体的运动规律。宏观层次研究的对象在尺度上没有上限,但有一下限制即人的肉眼能够看见的最小物体。当显微镜出现后,科学家意识到物体中存在更微小的成分,揭开了微观世界的面纱。微观层次研究的对象在尺度上的上限是分子和原子,其下限为最小的基本粒子即夸克。我们可以用牛顿力学和爱因斯坦的相对论来描述宏观体系,而用量子力学和粒子物理来描述微观体系,宏观体系和微观体系的研究,都已非常成熟。

然而,人类并未止步于对于宏观与微观两类“极端”的研究,一种介于宏观与微观之间的研究渐渐成为热门,这一领域被称为“介观”。

上世纪80年代,人工微纳结构制备和探测技术的发展导致了介观物理研究的兴起。介观体系出现了许多既不同于宏观物体,也不同于微观体系的大量新奇物理现象,成为当代物理学研究最为活跃的领域之一。1990年,北京大学人工微结构和介观物理国家重点实验室在建设之初就在国内率先开展了介观物理的实验和理论研究,介观光学就是其中的重要方向。

## 突破光学衍射极限,进入介观

在光学领域,要研究光波在远大于或远小于波长的系统中的传播,相对好处理。怕就怕当光波在相当于或小于自身波长数

## 研究高端,应用“接地气”

介观光学的研究不断拓展人们对光的认识和操控能力,在光的产生、传输、转化、调控、探测和传感等方面具有诱人的应用前

景。我国在介观光学与纳米光子学方向有较强的研究队伍,在对光子晶体、负折射现象、表面等离激元以及光学隐身等问题的新现象、新方法的探索方面有很好的积累。

通过表面等离激元效应,光可以被局域在金属表面纳米范围内并极大增强,突破衍射极限实现纳米尺度的光信息传输与处理,使得它在超分辨率纳米光刻、高密度数据存储、近场光学、高灵敏生物检测、传感和新型光源等领域获得了广泛的应用。

实现完美透镜也是介观光学渴望达到的极致。“光照到自然界存在的物体上,都会在界面发生反射或者折射等现象,其中折射光和入射光总在界面法线的两侧。”李焱说。科学家们通过微纳技术研发了一种自然界并不存在的材料,光通过它的时候,产生的折射光线与入射光线却在法线的同一侧,这就是负折射现象。“如果用这种具有负折射率的材料制成透镜,从同一点发出的光线经过这种完美透镜后可以再次会聚到一点,实现理想成像。”李焱表示。

为太阳能板穿上“介观外衣”可以增加光利用率。在目前应用的太阳能板中,部分太阳能板只能吸收某些波长范围的太阳光,其他波长的光则被“浪费”了。如果在太阳能板表面添加一层微纳结构,那么太阳光中大部分波长的光都可以被吸收利用,同时极大减小界面反射,增加了太阳能的利用率。

利用介观结构实现“光学隐身”的研究吸引了无数眼球。人眼在观察物体时,总是根据光的直线传播原理来反推物体的位置和形状,所以人眼也经常“受骗”,比如海市蜃楼,真正的物体并不在人眼“看见”的地方。“光经过物体后,光的方向和强度等会因为反射、折射、散射和吸收等发生变化,这样人类通过眼睛可以推测物体的存在。”李焱解释说,“而介观光学研究的‘隐身’就是通过某种特殊的材料构成特殊的结构,让光从‘隐身衣’表面滑过,当光离开隐身衣的时候,它的传播方向就和来时一样,而且光也没有损耗。对于外部的观察者来说,光线好像是沿直线传播过来的,就不能捕捉隐身衣和它里面的物体。”

想在任何光环境下实现360度隐身,做起来并不容易。“首先要考虑材料问题,另外就是还要制备出大面积的结构。而且如果考虑让所有波长的光都看不到就是难上加难。比如躲避了可见光,但可能躲不开雷达电磁波或者红外线的照射。”李焱进一步说明。

## 未来追求更小更快

在北京大学的人工微结构和介观物理国家重点实验室中,科研人员正在让光子

学元器件向着更小、更快“进化”。这些研究在未来的互联网、电脑、手机终端中将初现端倪。

实际上,未来信息技术提出了超高带宽、超大容量、超低能耗、超快响应等要求,是下一代光信息、光显示、太阳能利用、光刻技术等应用所必须解决的关键内容。这些要求一方面必须依靠减小尺寸到微米纳米来实现,同时也必须研究微纳米尺度下的超快动力学过程。超快介观光学研究不仅揭示出新的物理现象和新规律,而且在许多方面都有重要的应用前景,形成当今科学与技术的重要前沿领域,也是产业应用的迫切需求。

超快介观光学就是在时间和空间上都追求极致。“现在,实验室中有许多研究人员从事飞秒甚至阿秒光学。”李焱说。在时间单位中,秒并非最小的计时单位,在“秒”之下还有毫秒(10<sup>-3</sup>秒)、微秒(10<sup>-6</sup>秒)、纳秒(10<sup>-9</sup>秒)、皮秒(10<sup>-12</sup>秒)、飞秒(10<sup>-15</sup>秒)和阿秒(10<sup>-18</sup>秒)等。“光在一秒内可以跑30万公里,相当于绕地球7圈半。但是,光在1飞秒时间内行进的距离不到1微米,相当于把人的头发竖着劈成上百份后的长度。不难想象,飞秒和阿秒过程有多短,以至于没有现在的电子设备来计时。”李焱对笔者解释说。

上世纪90年代,艾哈迈德·泽维尔开创了“飞秒化学”的新领域,他运用飞秒激光光谱技术可以观察到原子合并并为分子,分子再分裂为原子的过程。他因为“目睹分子的诞生和死亡”获得了1999年的诺贝尔化学奖。科学家们的追求总是“没有最快,只有更快”。利用阿秒脉冲,人们甚至可以追踪氢原子中电子绕核的超快运动。

比如,光子晶体全光开关是介观光学应用重要的原型器件,实现其超快响应和低泵浦功率是其实用化的关键。2009年,人工微结构和介观物理国家重点实验室就发表了关于“低功率光开关”的论文,将光开关泵浦功率降低了4个量级,并同时达到了80%的高开关效率和1.2皮秒的超快开关时间。这项研究成果不仅促进了全光开关等介观光子学器件的实际应用,而且为非线性光学新材料的研究提供了新的途径。近年来,实验室科研人员又将工作波长推进到通讯波段,而且通过新型非线性材料大幅降低泵浦功率。

“光学元器件体积越来越小,响应时间也越来越短。未来,互联网速度就会更快。”李焱补充道,“不过,在时间和空间内追求光的极致,完全实用化还有一段距离,不仅是技术手段要更上一层楼,理论上也需要突破。”

## 趣味科学

当今,无线网络信号无处不在,如果能够把游弋在我们身边的这些信号收集起来——不需要数据线、不需要充电器,而转换成电能,来为我们的设备,包括手机充电的话,岂不便捷?

最近,有媒体报道,在美国西雅图,有六个家庭参与了一项实验,在实验里被改良的电子设备以及一个无线网络路由器被放在他们的家里。在24小时内,这些设备仅通过路由器的信号进行充电,同时路由器还将为家庭提供无线网络……

这是否可行?即利用一个名为整流器的部件,路由器发出的无线电波的能量将被转化为直流电,这个原理类似于太阳能电池板将光能转化为电能。然后通过直流变换器将电压提升到可用的水平。

中国人民解放军空军某飞行学院原机电工程师任丽君在接受《中国科学报》记者采访时表示,利用Wi-Fi信号为手机等小家电设备充电,其原理是,将收集起来的电磁波能量转换成电能,再通过整流滤波,转换成直流电,以达到为手机等小家电充电的目的。

实际上,人类生存的地球空间充斥着电磁波辐射。可以说,我们就生活在电磁波的辐射当中。

追溯人类文明发展,人类自从发明无线电开始,就巧妙地将电磁波的原理应用到生活的各个方面。

电报是最早利用电磁波的技术之一。上世纪40年代,美国贝尔实验室制造了战地移动电话机,之后,电磁波技术不仅服务于战争,还更多地投入到了民用。例如广播、电视,都是将发射到空中的电磁波转换成声音或影像。

Wi-Fi是一种可以将个人电脑、手持设备(如Pad、手机)等终端以无线方式互相连接的技术,事实上它就是一种无线电信号,即功率非常小的“发射机”,它把那些有线传播的东西通过Wi-Fi的形式传给手机,同时手机恰好可以接收它。而用Wi-Fi为手机充电,就是因为它本身能够辐射一定的电磁能。

任丽君表示,利用电磁波的技术从原理上讲并没有更多新鲜内容;但是目前从实验室阶段走向商业化却是创新之举,因为这要解决Wi-Fi发射功率非常微弱的问题——它的功率不够大,如果把它作为一个电源充电的补充很容易做到,但是想利用它快捷地把电充好就是这项技术的瓶颈问题。

任丽君坦言,Wi-Fi为手机充电与光伏电池和电动汽车目前遇到的问题同理,光伏电池为什么不能普及?首要问题就是它的能源转换效率低,光伏电池的体积能量比也太低,如果一旦突破这一技术瓶颈,电动汽车这种新型能源的交通工具就会得以广泛应用。

因此,用Wi-Fi为手机充电这项技术,要完成从实验室走向普遍应用技术上还需要一个飞跃。



图片来源:百度图片

# Wi-Fi充电 手机更自由

■ 本报记者 王剑

## 场馆巡礼

# 方寸之间藏乾坤 ——访中国邮政邮票博物馆

■ 本报见习记者 袁一雪

坐落在长安大戏院东侧的中国邮政邮票博物馆,是邮票爱好者的“天堂”。这里陈列的邮票种类繁多、样式齐全,不仅可以让集邮爱好者大饱眼福,也可以让普通人了解关于邮票的知识。

几十年前网络尚不完善,邮寄信件还是普通人家最常用的通讯手段之一。一张信纸,寥寥数字,封上信封,写好地址,贴上邮票,再投寄到邮筒中……一张小邮票承载着对亲朋好友的浓浓思念。

随着电话、电脑、网络的普及,现在已经很少有人用笔写信,邮票也渐渐“卸下”了邮递的重任,成为邮票爱好者的“专属”。在二层的邮票主展厅,展出了自清代起到现在各类邮票数十万种。从清朝政府发行的“海关大龙”,到“文革”时期编号为“文”的邮票,再到新中国至今各类邮票、小型张等,甚至世界各地的邮票都可以在这里觅到踪影。

“文”字头、“特”字头、“T”字头……这些编号的邮票都有什么含义?每一张邮票发行背后所承载的是什么样的历史背景?都可以在这方寸之间找到答案,浓缩的是国家甚至世界发生的重大事件。而在邮票防伪技术区域展现的高科技更是让人叹为观止,异形孔齿、微缩文字、荧光点防伪纸、荧光加密防伪油墨等都确保了邮票不被伪造,翔实的实物也给人直观的认识。



袁一雪摄

符、轺车、悬泉置、孟城驿、龙场九驿,到信使腰牌、兵票、火票,向参观者讲述了古老递信的发展历程。

实物、图文讲解,加之视频与互动项目,将通信的发展声情并茂地展现出来。直到19世纪中叶后,因为受到了先进生产力的影响,在借鉴西方近代邮政的基础上,总理衙门请光绪皇帝扩充海关邮务,改为正式的国家邮政,光绪皇帝当日即在此奏折上朱笔“依议”字样,就这样,清代国家邮政诞生了。从邮政办事员的服装样式,到使用的投递工具,这里都有着详



细地记载。而这段故事并没有结束,一直延续到现在。在四楼的珍宝馆,甚至专门辟出区域展示近代的邮政工具,包括现代使用的打印机、电脑等。

来到四楼,还有博物馆的镇馆之宝——红印花小字当壹元邮票、蟠龙加盖“临时中立”票、官门倒印变体票、湘赣边省赤色邮票、未发行的《毛泽东给日本工人的重要题词》四连票、撤消发行的《全国山河一片红》九连票等等。

而且,为了方便市民,这里还有邮票鉴定室,是目前我国最权威的邮票鉴定机构。

## 北京科普

(本栏目由北京市科委协办)

# “12396 科技服务热线”：架设专家与农民的桥梁

近日,“12396 科技服务热线”专家和服务人员冒雨前赴北京市最偏远的山区之一,密云县新城子镇蔡家甸村,对果树栽培技术迫切的百余名农技员和农户进行培训和解答答疑。

蔡家甸村是果树种植专业村,种植苹果已有多年历史,当地生产的苹果品质优良,是远近闻名的优质果乡,但由于地处偏远,种植中的一些技术问题亟须专家给予指点,缺乏种植技术的农技人员和农户渴望得到专业培训。

培训中,“12396 科技服务热线”果树栽培专家鲁朝强用生动形象的语言详细讲解了苹果栽培的相关知识,并重点介绍了当下果树生长过程中可能遇到的问题以及生产优质苹果应采取的管理措施和应注意的关键环节。参训的农技员和农户认真听讲并记录,不少果农主动就苹果管理的相关技术问题与专家互动交流,并从鲁老师对栽培管理过程中疑难问题所作的详细解答中获益匪浅。

活动中,“12396 科技服务热线”服务人员还针对需求发放了宣传材料及宣传产品(宣传袋、宣传扑克和宣传本等)共300多份,向农民推介了“12396 北京新农村科技服务热线”热线电话、微信、QQ群等,重点介绍了“北京农村科技服务热线App”的使用方法,并帮助农民现场安装和演示。此外,还对部分农户进行了访谈,了解他们在农业技术方面的需求,以为下一步的跟踪服务作好准备。

据了解,12396 是科技部与工业和信息化部在全国统一开通的农村科技信息服务公益热线,12396 北京新农村科技服务热线由北京

市科委农村发展中心与北京市农林科学院联合共建,是面向“三农”开展农村科技信息服务的综合平台,是一条宣传党和国家方针政策、指导农民生产生活、汇集民情民意的民生热线。

据介绍,开通12396 北京新农村科技服务热线,是科技部门转变职能、为“三农”服务的新的工作方式,将架起新时期农民与专家、农民与市场、农民与政府互动沟通的直通桥,全面提高农业信息服务水平。热线有一支由近百名农业专家组成的专家服务团,将以农民科技需求为基础,提供全方位的科技服务,解决农民的生产难题,为政府提供决策信息。

记者了解到,12396 科技服务热线内容包括:提供新品种良种信息服务、提供农业生产技术咨询、提供农产品市场信息咨询服务、提供农业政策法规信息咨询服务、提供农村生活常识信息咨询服务、提供与专家的双向视频诊断服务等。

而12396 热线服务形式也是尽量贴近农民。据了解,服务形式包括电话咨询、农户可以用固定电话或者手机拨打12396,按照语音提示,收听语音信息。此外,还可以双向视频咨询答疑服务,如果农户有摄像头并能够上网,可以与专家在摄像头下进行面对面对话,也可以把有问题的事物拿到摄像头下,专家通过摄像头能进行诊断,帮农户解决问题。此外,还可以进行网上在线客服,农户可以在12396 网站“网上咨询”栏目上提出想问的问题,专家看到后将在第一时间为农户作出解答,把回复答案公布在问题后,以供参考。

(郑金武)