

光物理研究的进展

Progress in the Research of Photophysics

杨国桢

(中国科学院物理研究所, 研究员 北京 100080)

章志鸣

(复旦大学, 教授 上海 200433)

一、光物理的战略地位

光物理是研究光辐射的基本性质及其与物质相互作用特性的基础学科。它的主要研究领域包括光的产生、传输, 光与原子、分子、凝聚态物质、等离子体相互作用的线性和非线性光学过程及光谱学特征。从学科发展的角度讲, 光物理的主要内容源于光学与物理其它分支学科的若干交汇点, 因而它

与光学、原子分子物理学、凝聚态物理学等学科有相当紧密的联系。近 30 年来, 光学的面貌发生了革命性的变化, 光物理领域的新现象、新效应不断涌现, 光物理已成为近代物理学的重要学科之一。在未来的 21 世纪中, 光物理必将成为高技术光电子产业发展所依托的基本学科基础。

光物理研究在科学发展史上的重要性可追溯到本世纪初物理学的巨大变革。划时代的量子理论的建立就起源于人们对黑体辐射“紫外灾难”的光

过弱、资产负债率过高, 是经济危机和萧条阶段的普遍问题。

一般而言, 企业的债务率达到 50%, 效益受到影响(不包括流通企业; 我国流通企业相当多是全额负债的), 因为利润中有相当一块要变成银行利润; 当企业负债率达到 60% 时候, 一般产业几乎无利可图; 到 60% 以上的时候, 企业出现负利润; 而如果达到 80% 以上, 多数就该破产了。

理论界有人说, 银行应把债权转为股权, 就是把企业欠的债务转成银行对企业的股权。也就是银行从左口袋拿钱, 右口袋装钱。也有人说, 过去从财政拨款改为银行贷款是改革, 现在改回去, 把企业债务再算成财政拨款。总之, 还是在原体制内部的循环。

还有一种说法: 从管理要效益。认为只要加强企业管理, 就能增加效益。“十四大”的政治报告中明确讲, 建立市场体制的前提是产权清晰化, 就是先要搞产权制度改革。显然, 不能以加强管理来否定产权改革。好在从党的十四届五中全会起又讲明晰产权了。只讲加强管理的说法早在 1978 年就提过, 但就是执行不下去。当不触动产权的城市改革导致企业的亏损面进一步扩大时, 1986 年才认识到要调整、盘活存量资产。从那时起因为非经济环境变化又耽误了 10 年。现在企业负债率进一步提高,

坏帐率进一步增加, 当老路再走不下去的时候, 才终于又走回来。

与产权改革对立的另一种说法是产权改革将会导致“国有资产流失”。事实上从建国起两代劳动者的剩余价值都转化在国有企业资产中间。如果不承认劳动者在国有企业中的产权, 只给他们一个劳动合同, 使他们一旦被解雇就失去生存基础, 那他们当然不是“主人”了。因而承认劳动者的产权绝不是什么“国有资产流失”, 真正的国有资产流失起因于前述的官场腐败, 设租寻租。从根本上讲, 如果不改革现行产权制度, 就不能防止真正的国有资产流失。

有一派国际知名的理论说中国的改革是“渐进式的增量改革”。但是农村改革一开始就是“突变式存量改革”, 就是大包干让农民分地。第二步农村改革的突破是南方率先开始搞的“股份合作制”。就是要包括土地在内的农村资产, 进一步以股份形式量化到人。不触动财产关系的改革不是改革; 建立新的财产关系, 是其它制度创新的基础。由于农村人口占中国的 74%, 因而可以说对大部分中国人是搞了动产权的存量改革的。也许渐进式增量改革只反映城市, 但那块只是“渐进”, 结果是没有增量; 而且存量越来越少, 差不多全变成负债了。再若延宕, 无异自毁。

(责任编辑 蔡德诚)

物理研究。对光量子波粒二象性的研究则为量子力学的发展奠定了重要基础。30~40年代量子电动力学的建立也在一定程度上依赖于人们对光辐射认识的深化。

早期光物理的研究曾在本世纪50~60年代导致了在机制上完全不同的新光源,即激光的问世。这一划时代的成就带来了科学、技术、工业诸方面的革命性变化。由此形成的激光物理这一分支学科也显示出了其强大的生命力。在激光最初出现的20年中,人们的注意力还较多地集中在激光及其本身特性的研究;到80年代以后,人们已经更多地关注激光与其它学科的交叉和应用。目前,激光已发展成为探测物性和改变物性的重要手段。光物理的研究由此已成为非常活跃的现代物理学分支。与此同时,激光本身的研究正在向前所未有的超快、超强、短波长和宽调谐的方向发展。新型光源(如X射线激光、宽频带可调谐固体激光、大功率的面发射半导体激光)由于其显而易见的重大应用前景,正在得到迅速发展。与激光发展密切有关的光学新材料的研究也已成为光物理研究的基本内容之一。

激光的问世为原子分子物理和古老的光谱学注入了新的活力。激光光谱学目前几乎代替了传统的光谱学。光谱分辨率的水平越来越高,目前已达到超越自然线宽的水平。激光的时间分辨率已达到飞秒级水平,为探测各种超快过程和各种不稳定过程提供了技术基础。光谱测量的高灵敏度已达到可探测单个原子内 10^{-2} ~ 10^{-4} 区域的水平。激光光谱技术已成为研究物质微观结构和形态的必不可少的工具之一。痕量原子的探测,激光分离同位素,新的时间、长度标准的建立,都完全依赖于激光光谱研究所达到的精度和水平。

光物理在凝聚态领域中的研究,导致发现了许多崭新的光学效应,如光学变频、光学双稳、相位共轭、光学烧孔等非线性光学效应。正是这些新效应的出现,才使人们有可能形成光电子学、光盘存贮、光计算机等方面的若干新概念,并为其在未来的高技术中的地位描绘出宏伟的蓝图。

光物理开拓了量子光学研究的新内容,压缩态的产生使光场某一正交分量的量子噪声水平下降到标准量子极限以下。腔内量子电动力学效应、激光冷却气体原子也已成为国际上近几年最活跃的领域。量子光学研究不仅能大大加深人们对光场本性的认识,而且在未来的光通讯、精密测量等领域中将显示出重要的应用前景。

光物理与化学、生物学等学科的交叉研究,深刻地影响了这些学科的发展,并产生了巨大的效果。进一步的深入研究将使化学和生物学变成分子水平的精密科学。激光选择性的催化、聚合反应、激光化学淀积、刻蚀、超微粉合成、化学反应瞬态过程

的激光探测等已成为光物理与化学交叉的前沿研究领域,其研究成果将对化学和化学工业起着越来越重要的作用。光物理与生命科学的交叉无疑也将导致新的生命机理的不断发现。

光物理研究不仅对促进现代物理学的发展有重大的意义,而且为应用发展研究提供了广阔的前景和大量的高科技项目。毫无疑问,在未来的高技术产业革命竞争的潮流中,新效应、新技术的应用将首先在那些对于基础科学有深刻了解和深入研究的领域占有竞争优势。

可以预料,在未来的一二十年中,超强激光的研究将有可能使核聚变的研究和应用有突破性进展;相干的X射线激光的研究将可能成为生物细胞的全息摄影的基本手段;低功率密度下光学非线性研究将可能为下一代计算机奠定基础;激光超微加工技术将可能使微电子和集成光学发生深刻的变化;激光分离同位素将逐步达到工业化生产规模;激光诱导的链式反应研究将可能极大地推动石化工业的发展;半导体激光器的发展将可能使光纤通讯达到新的水平。

二、光物理的主要分支学科

1. 激光光谱学

光谱学在研究物质结构、物化特性和物理化学定律等方面发挥了无可估量的作用。激光的发明和激光光谱学的建立使光谱学发生了重大变革,从而使人们对物质世界的认识达到了一个前所未有的高度。一系列新的光谱技术的建立,大量有关物质结构新信息的获得以及激光光谱学在众多科学技术领域中的应用都超出了人们的预料。美国两位科学家也因在高分辨率和非线性激光光谱学发展中所作出的重要贡献而获得1981年诺贝尔物理学奖。

从光谱中能获取多大的信息量主要取决于所能达到的光谱分辨率和灵敏度,而激光光谱学正是在这些根本问题上得到了飞跃。激光光谱学不仅包括了基于光与物质线性相互作用机理的线性激光光谱学分支,而且建立了一种全新的基于非线性效应的非线性激光光谱学分支,其中又包括了频率(或波长)范畴以及时间范畴的高分辨率光谱学。因此,激光光谱学不仅是物理学、化学、生物学、医学等学科基础研究的重要工具,而且在国民经济、国防建设和高科技中得到了广泛的应用。同位素分离就是一个突出的例子。

2. 非线性光学过程的研究

非线性光学研究相干光与物质相互作用出现的各种非线性效应及其产生机制与应用途径,是激光出现后迅速发展起来的学科。它既是光物理的重

要分支,又同时渗透在原子分子物理、凝聚态物理和现代材料科学的研究中。随着各种基本非线性光学效应的相继发现,非线性光学已越过纯粹基础研究阶段,而迈入应用基础研究阶段。

就总体而言,近年来非线性光学研究在国际上出现了几个明显倾向。一是弱光场中的非线性光学过程和巨光学非线性研究引起人们广泛注意,代表性的是光折变晶体、多量子阱结构材料、有机高分子材料中各种非线性过程及其特殊机制的研究。二是与其它学科的交叉日益广泛深入,代表性的是表面非线性光学研究的深入开展。三是与光电子学等高新技术领域的应用研究日益密切结合。四是材料、效应和器件的研究日益结合。

3. 短脉冲高功率激光及强场激光物理

近年来,短脉冲强激光技术得到迅猛发展。根据最新进展,今后几年可望在远较传统方案小型化的全固化激光系统上获得千焦耳级的皮秒短脉冲,或在 KrF 准分子激光系统中获得 100 焦耳、100 飞秒的激光输出。这种量级的高功率激光经过适当聚集后,可以产生出甚至高达 10^{12} 伏/厘米的高强度局域电场,这相当于氢原子第一玻尔半径处场强的 170 倍。短脉冲强激光系统的建立和发展使得激光与原子、分子、离子、自由电子、团簇(Cluster)以及等离子体的相互作用研究进入到一个全新的高度非线性的强场范围,并将光与物质相互作用研究深入到原子核层次甚至用于研究真空性质,形成了强场激光物理这样一个全新的光物理学分支。

4. 超短光脉冲与超快现象

超短脉冲激光与超快现象的研究,近 20 年来一直是个十分活跃的前沿领域,在激光脉冲的脉宽、功率和波段等三个方面的研究取得了重大进展,脉冲激光的宽度已由皮秒进入飞秒,其最小的脉宽已达 6 飞秒,激光的可调谐范围扩大到紫外至中红外波段,在探测器方面也得到了相应的发展。

超短脉冲激光由于它具有脉宽短、峰值功率高和波长可调的范围大等特点,已广泛应用于物理、化学、生物和超快速光电子等学科的研究,对揭示在皮秒~飞秒时域内物质内部的运动规律有重大意义。

5. 量子光学

量子光学是现代物理学中重要的基础学科之一。它是现代光学、激光科学和激光技术的基础。量子光学是研究光场的量子统计性质及光与物质相互作用的量子特征的学科。量子光学所研究的现象一般用量子理论描述,不用经典理论解释。量子理论的深刻意义不仅在于把光看成具有能量和动能的光量子所组成,而在于把光与物质相互作用中能量和动量的交换看成是以一种光量子的产生和另一种光量子的消灭的方式进行。量子光学就是研究

这种交换中产生的千变万化的现象和离奇古怪的性质。量子光学研究的主要范围是,各种光场量子的统计性质、原子(物质)与真空的相互作用、压缩态光场和光子动量的传递规律。

自从 1956 年著名的汉伯里·布朗(Hanbury·Brown)和特维斯特(Twist)的光子相关实验发表以后,量子光学发展就十分迅速。经典的杨氏干涉实验测量只给出电磁场的一次相关性,而二次相关给出的是不同光子间的干涉,提供了一个观测纯粹量子效应的手段,展示了光子反聚束效应的存在,这就促使人们渴望了解光场的纯粹量子力学性质。激光出现后光压偏转原子束实验的成功,重新引发了人们对光子动量传递规律的兴趣,极大地丰富了量子光学研究的内容,因此量子光学的研究成了发展十分迅速的学科。近几年国际上最活跃的研究领域有,腔内量子电动力学效应、压缩态和 Fock 态、光子动量传递、激光冷却和囚禁气体原子等。

6. 新型光源、激光器等机制中的基本物理问题

新型光源和新型激光器的发展趋势是波长的扩展与可调谐、光脉冲宽度的压缩以及器件的小型化、固体化等。可以预见,如能在 XUV 及 X 光波段有较理想的新型光源或激光器,则在生物学、化学以及物质结构等很多方面的研究与应用开拓上将会获得重大发展。激光器的可调谐也显然是很多研究(如激光光谱学)与应用(如分离同位素)所需要的。固体可调谐激光器是发展最活跃的领域,进一步拓宽可调谐波段(如远紫外、红外可调谐激光)也是值得重视的发展方向。器件的小型化乃至固体化是激光器发展的总趋势,这是激光器进一步实用化、商品化所必需的。半导体激光泵浦的固体激光具有全固化、小型化、高效率 and 长寿命等优点,是新一代较为理想的激光源,正引起人们极大的兴趣。

7. 非线性光学材料和激光材料

非线性光学材料和激光材料的主体是晶体材料,在此以激光晶体和非线性光学晶体为主进行评述。

激光晶体泛指能产生光受激发射的晶体,非线性光学晶体则是指在激光作用下能产生各种非线性效应的晶体。当前的主要问题是缺乏为发展各种激光器件所需要的性能更为理想和实用的材料。激光和非线性光学材料无论是对基础研究还是对高技术应用都是十分重要的,国际上发展很快,竞争激烈。我国在非线性光学材料特别是无机非线性光学晶体方面有一定优势,但激光晶体的研究与国外相比还存在较大的差距,必须很好地规划,以保持和发展优势。

激光和非线性光学晶体主要研究范围如下:基于结构和性能的研究,改进和探索新的晶体材料,

(下转第 8 页)

始由传统农业向现代农业转变,综合生产能力明显加强,单位面积产量已达国内先进水平。然而仍面临一些亟待解决的问题,如耕地减少、土地产出率不高、农产品质量不高、耕地与农副产品不同程度地受到污染等等。从而与人民对优质、天然、无害、健康食品日益增长的需求形成尖锐矛盾,而且随着城市现代化的发展,这种表现会更为突出。因此要把发展高效、优质、生态与设施农业作为建设现代化一流城市的基础性工作来抓。“九五”期间,上海市郊首先要确保粮食生产总量稳定在 20 亿公斤左右,其次要加强农业资源、农业科技、农业结构、农业功能及农产品产加销等方面的系列开发,提高农业集约化程度。可考虑先发展一批设施农业、示范农业、特色农业、生态农业和创汇农业,形成都市型现代农业的框架。在此基础上通过推行规模经营,发展特色农业、特种种养业,发展产加销一体化生产体系,完善农业服务体系,建立健全农业育种中心、引种中心和科技信息中心等,促进其健康、协调、持续地发展,从而在我国农业领域也起到“龙头”、“支柱”作用,带动全国城郊型农业和“都市农业”的发展。

3. 国外农业的借鉴

上海作为特大型城市,随着城市发展,农业自然资源日益紧缺,在发展中借鉴以色列、荷兰、日本等发达国家特色农业的经验是十分必要的。

以色列是个面积只有 1.4 万平方公里,一半以上国土都是沙漠,人均水资源只有 300 立方米,自然资源十分贫乏的国家,却创造了世界一流的农业。其根本原因就是依靠科技,发展高效农业,并瞄准国际市场,大抓出口创汇。在农业科研上,他们十分注意与市场的紧密结合,重视应用研究和科技开发,而且具有很强的针对性,比如根据本国的资源特点,在生物技术、喷滴灌技术、微咸水利用技术、设施农业技术等方面的研究与利用上独具特色。

(上接第 25 页)

特别是要加强材料设计工作,探索和制备新的非线性光学材料;激光晶体(包括半导体激光器)扩展波段和多功能化;晶体中各种非线性光学过程,特别是发展多量子阱材料非线性光学过程;相应生长理论和工艺。

总之,光物理是一门处于基础科学、应用科学和技术科学汇合点的学科,它广泛地渗透到相邻学科领域而形成代表着新生长点的交叉学科,并为许多学科提供新技术和新方法。光物理的发展已在与其它物理分支学科、化学、生物学、材料科学、信息科学及计量学等所形成的交叉领域中结出丰硕的成果,成为高新技术的研究与开发的重要基础。

(责任编辑 肖庆山)

以色列农业重视经济上的高效益,重视资源利用上的节约型,重视生产经营上的集约化,着重发展高产高效的罗非鱼、鲢鱼、鳊鱼、蕃茄、西瓜、花卉等动植物的种养,以节约用水、提高水资源利用率为目标,大力发展设施节水灌溉。目前以色列的灌溉农业已成为世界上的特色农业。

荷兰也是个土地十分珍贵的国家,因此十分注重科学有序地利用国土,先后通过了 4 个土地开发法案,具体规定土地开发的法律程序和监督机制,有效保证了荷兰国土开发的合理性和有序性。目前荷兰国土利用是相对合理的,耕地占 26%,草地占 34.5%,花卉园艺占 3.6%,工业用地仅为 1.3%,住宅用地 5.6%,湖泊河流 9.1%,森林面积 8.8%。

荷兰农业之所以能经过几十年时间在 60 年代末一跃成为世界第三大农业出口国,主要是走专业化、机械化发展的高效农业之路。耕地少种粮食经济上不合算,他们就集中力量发展价值相对较高的蔬菜和鲜花等高效种植业。从自然条件上看,荷兰并不适合花卉栽培,但该国依靠科学技术发展玻璃温室栽培,成为“世界的庭院”。目前荷兰已建成 1.1 亿平方米的温室,专门用于种植蔬菜和鲜花。由于实现了专业化集约生产,花卉品种不断增多,质量不断提高,竞争力不断增强,荷兰鲜花在世界鲜花市场的占有率已达 60% 以上。共有 7 000 多农户从事花卉栽培,培育出 9 700 多种品种,每天向全世界出口 1 700 万枝鲜花和 170 万株盆花,每年获得 112.5 亿美元的收益。花卉已成为该国的主要支柱产业,所创造的产值占荷兰农业总产值的 35% 左右。

世界各国都在积极探索适合本国国情的农业发展道路,并积累了一些成功经验。我国人多地少、自然资源相对紧缺,尤其是东南沿海地区更显突出,在农业现代化建设中借鉴以色列、荷兰等国的成功经验是十分必要的。(责任编辑 王宏章)

(上接第 60 页)

纽工程,可解决宁、甘、蒙、陕 4 省上千万亩土地的灌溉问题,但此举会进一步加剧黄河下游地区的严峻负面影响。由于中上游大量开采黄河水,1996 年黄河下游断流超过 150 天,断流长度达 1 000 公里以上。仅山东东营、滨州、淄博、济南 4 个工业城市不完全统计,1995 年每断流 1 公里就损失 0.1 亿元人民币。合理开发利用河西千百年来白白流失、蒸发的水资源,不损害其它地区利益,反而能增加数千万亩的植被,彻底改变河西生态环境并对西北生态产生重大影响。只要我们能对开发黄河和河西水资源问题保持清醒的对比认识,早下决心,发扬大禹治水的光荣传统,上千公里的河西走廊就一定能变成米粮川、林果川!(责任编辑 刘先曙)