

# 英、法激光科学技术发展的概况

中国科学院激光考察组

我国科学院应英国皇家学会的邀请，派出了由上海光机所、大连化学物理所、物理所和院部三局七位同志组成的“激光考察组”，于1979年2月13日至3月8日在英国进行了为期三周的参观访问，回国途中路经巴黎时，承法国科研中心的安排，还参观了法国的几个有关单位。

这次考察，我们访问了英国包括著名的“皇家研究院”、“帝国学院”、“卢瑟福实验室”、“剑桥大学”和“赫尔大学”等9所大学、4个科研单位和3家工厂，共参观了50多个与激光有关的研究室、组，接触到百余位博士以上的学者。我们认为，英国的激光研究发展较为迅速，近十多年来，无论是科研队伍的规模、实验室装备的优良程度，还是科研工作的深度和广度都有很大的变化。他们在超短脉冲激光和红外激光器的研究上有非常出色的成果；用激光来研究化学动力学和在化学研究上应用激光技术的工作都有较广泛的发展，而且已开始把激光应用到许多其它科学研究领域中去。

过去，对法国的激光研究我们了解得不多，这次虽然只是在巴黎参观了5所大学和1个科研单位的激光研究工作，却给我们留下了深刻的印象。法国的基础研究力量雄厚，思路开阔，他们的调频激光、稳频激光、原子和分子光谱的工作在世界上有良好的声誉。

现仅就英、法两国在激光器及其物理问题、激光光谱学和非线性光学、激光化学、激光等离子体物理和激光核聚变四个方面的研

究情况略作述评。

## 激光器及其物理问题

英、法两国非常重视激光器的基础研究，其中着重发展激光新体系，开拓新波段，研制综合多个技术参量的激光系统，研究激光物理参数的测试方法。但是，他们都没有建立起完整的激光工业，常用的激光器以及玻璃、晶体、光学元件等主要还是依赖国外进口。我们看到的一些高水平的氩离子和染料激光器大多是美国光谱物理公司和相干辐射公司的产品。

### 1. 超短脉冲激光器

英国帝国学院布雷德利(D. J. Bradley)教授领导的实验室是最早开展超短脉冲研究并获得亚微微秒脉冲激光的单位之一，在国际上负有盛名。他们利用主动锁模的氩离子激光同步泵浦被动锁模连续染料激光器获得了0.3微微秒的可调谐激光输出，经过倍频实现了在紫外波段超短脉冲的频率调谐；还用锁模氩离子激光泵浦染料激光器，在近红外波段获得25微微秒的超短脉冲。他们发展了微微秒脉冲的测量技术。此外，还开展了脉冲锁模的钹玻璃、钷铝石榴石和红宝石激光器的研究。

### 2. 可调谐激光器

在英、法两国，这类激光器的种类很多，有用钹玻璃、钷铝石榴石、氩离子、氦离子、氮

收稿日期：1979年4月16日。

分子等激光器或闪光灯来泵浦染料获得的,也有用参量振荡、高次谐波、受激散射来实现的。值得注意的是英国有些学者认为今后最有前途的是半导体调谐激光器。

法国研制多个参量结合在一起的调频激光系统很有成绩。南巴黎大学艾米科顿(Aime Catton)实验室建立了一台单模脉冲可调谐的紫外激光器,它是用连续的和脉冲的激光束同时来泵浦染料激光器,既保证单模和窄谱宽,还得到较高的功率输出,已用于研究原子的高阶里德伯态。

### 3. 稳频激光器

英国国家物理实验室进行了用碘或甲烷稳频氦-氖激光器的研究,碘稳频的633微米波长可作相对长度标准,重复性达 $3 \times 10^{-11}$ 。法国北巴黎大学的CO<sub>2</sub>稳频激光器,重复性已做到 $10^{-12}$ 。巴黎第六大学的氩离子激光器,重复性已提高到 $10^{-14}$ 。因此,稳频激光器的研究工作水平也是很高的。

### 4. 大功率激光器

大功率激光器以钎玻璃激光器最为成熟,已有工业产品。英国卢瑟福实验室1977年建成了两路激光系统,输出功率0.5兆瓦,脉宽100微微秒。他们准备改换成磷酸盐玻璃,预计输出功率可提高一倍。

高功率CO<sub>2</sub>激光器在实验室里也是普遍使用的激光器,英国考勒姆(Culham)实验室建立了一台1~2千焦耳,脉宽1~2毫微秒的CO<sub>2</sub>激光器系统。工业用的连续工作的输出功率为几百瓦直至千瓦的CO<sub>2</sub>激光器已有产品出售。

### 5. 新型激光器

英、法正在研究准分子、稀有气体、硒等激光新体系。建立了具有较高水平的电子束激励和预电离技术。开展了各种原子、分子的吸收、荧光、碰撞、离化、弛豫、激发等光谱的研究。

在开拓波段方面,他们的远红外激光器有较高的水平,发展了光泵的和电激励的多

种远红外激光器,如HCN(337微米、150毫瓦)、CH<sub>3</sub>F(394.2微米)、D<sub>2</sub>O(66、114、385微米)HCOOH(428微米)和CH<sub>3</sub>OH(118.8微米),其中一些激光器已有产品出售。

为了探索X激光,英国赫尔大学在炭靶上观察到粒子数反转并测得了增益。

## 激光光谱学和非线性光学

激光光谱学和非线性光学的研究是激光科学技术中最重要的基础研究之一,它关系着同位素分离、新型激光器、材料、光纤通讯、大气污染检测、激光核聚变、精密计量等重要前沿课题的发展。英法绝大多数单位都重视开展这方面的工作。

许多单位都开展了高分辨率和高激发态原子光谱的研究,不少实验室建立了原子束装置。其中,法国的赫茨光谱实验室是世界上最早进行双光子光谱实验的单位之一,他们在里德伯原子能级结构、塞曼效应和斯塔克效应的研究上有较高水平。

激光用于高分辨率分子光谱研究方面,法国的北巴黎大学激光物理实验室建立了线宽极窄的CO<sub>2</sub>调频激光器,用来进行SF<sub>6</sub>和OsO<sub>4</sub>超高分辨率光谱研究,分辨率达到了几个千周。英国的海莱瓦特大学用CO<sub>2</sub>激光器得到了SF<sub>6</sub>吸收截面与时间的依赖关系的结果。

利用激光与物质相互作用引起的喇曼散射和布里渊散射进行着两类研究工作。一类是利用气体的喇曼散射得到红外的调频光源,如法国多学科理工学院量子光学实验室利用染料调频激光在H<sub>2</sub>和HF中的受激喇曼散射,得到了一种较强的脉冲红外调频光源。另一类是利用激光散射对固体、液体、等离子体的性质进行研究,这类工作极为普遍,已成为研究物质的有力工具。研究工作所需的整套设备亦可在市场上购到。

非线性光学方面,倍频和混频技术已趋



成熟,并开始广泛应用。高次谐波的研究工作也在进行。值得注意的是一种新的非线性现象——光学双稳态的研究工作在有些单位也已开展。

激光物理的研究工作与新型激光器的探索是紧密相连的。英国的赫尔大学和法国多学科理工学院都利用激光产生的等离子体研究其 X 射线的谱线分布,并观察 X 射线通过等离子体获得增益的状况,这种基础研究对于探索 X 激光的途径显然是必要的。

激光用于计量和基本物理实验方面,英国国家物理实验室用高稳定的 CO<sub>2</sub> 激光器测定光速,精度达到 10<sup>-9</sup>;用调频激光器测定里德伯常数,精度达到 10<sup>-8</sup>。英国牛津大学用激光测量原子中弱相互作用(宇称不守恒)的贡献,以判断目前流行的韦温伯萨兰(Weinberg Salam)理论是否正确。

## 激 光 化 学

在英、法两国,激光已成为化学研究的有力工具,激光选择引发化学反应的工作正在深入,同时化学也为发展新型激光体系作出贡献。

以选频激光使分子有选择地激发到特定的能级,跟踪由此产生的荧光是一种极为重要的实验方法。英国皇家学院波特(G. Porter)教授领导进行了红藻吸收光子的机制研究。他们用另一套锁模激光器(脉宽 1.5 微微秒)准备开展电子能级间的转化、分子间振动弛豫和激子迁移等亚微微秒过程的研究,最终企图阐明光合作用的机制。

分子间传能过程的研究,法国巴黎第六大学用激光感生荧光法对多种气相小分子进行了长达十年的实验,讨论了分子间短程力和长程力的影响,含氢分子转动的贡献等问题。剑桥和牛津大学除了进行这类工作外,还用激光闪光光解法研究自由基 C'D、CH<sub>3</sub> 等的反应动力学。

交叉分子束与激光荧光结合研究选态动力学的工作在英、法正在兴起。牛津大学和巴黎第六大学都有这种装置,赛萨克斯(Susses)大学用圆偏振激光研究分子—原子碰撞,观察荧光的偏振,取得了有关分子间势能取向的信息以及传能过程中磁量子数变化的规律。

在激光新体系研究方面,帝国学院根据激发态氙和碱金属铯的相似性,研究了 XeOH\* 准分子体系,得到 234 微米的发射带。剑桥大学讨论了稀有气体卤化物和氧化物体系,牛津大学和卢瑟福实验室共同发展着长寿命 489 微米可见光的激光体系。牛津大学用 ArF 激光光解 NaBr 蒸气,得到 589 微米的钠激光。

高灵敏度和高分辨率的激光光谱在化学研究上已广泛应用。海莱瓦特大学还用吸收光谱、荧光光谱和光声光谱同时研究碘,称为“三重光谱”,以探测微弱的预解离现象。

激光技术已成为遥测大气污染的一种先进手段,赫尔大学用两台选支单模稳频的 CO<sub>2</sub> 激光器,采取外差接收的办法,将检测的信号经过计算机处理可检测臭氧、乙烯、氯乙烯等分子。

多光子解离过程在英、法都有研究。在英国海莱瓦特大学我们看到了理论计算模型,发展了 12.7 微米的氩激光器,并开展了四波混频产生 16 微米激光的工作。法国北巴黎大学利用 SF<sub>6</sub> 振动激发态与里德伯态的氩作用下,形成 SF<sub>6</sub><sup>-</sup> 离子,它不同于 SF<sub>6</sub> 分子,只需极少的光子即可解离,预计用 1 瓦的连续 CO<sub>2</sub> 激光即可分离 S 同位素。这是一个崭新的概念。

化学激光方面,在剑桥、爱萨克斯和巴黎第六大学都有科研用的小型卤化氢器件,而赫尔大学的水平最高,HF/DF 小型器件的光束质量接近衍射极限,亮度达 8 × 10<sup>12</sup> 瓦/厘米<sup>2</sup>,并进行了大气击穿和多光子解离过程的实验。

## 激光等离子体物理和 激光核聚变

近年来英、法在这方面的研究发展很快,规模也逐渐增大。法国是早期获得中子输出和压缩效应的国家之一,在国际上仅次于美、苏。他们的主要工作在里梅尔原子能中心进行,这次我们没有看到。法国多学科理工学院的激光等离子体实验室成立不到两年,已经建立起0.3兆瓦的单路钨玻璃激光装置,目前正扩建成两路装置以进行压缩实验。

英国卢瑟福实验室的激光装置也是近两年内急起直追建成的。他们的两路钨玻璃装置的输出功率达到0.5兆瓦,脉宽100微微秒,今年要扩建成六路装置,输出功率可达3兆瓦。英国考勒姆实验室建立了大功率CO<sub>2</sub>激光器(1~2千焦耳、1~2微秒)用以加热仿星器中磁约束的等离子体。英国还在爱萨克斯、赫尔、海莱瓦特等四、五个大学的物理系建有10~100千兆瓦的钨玻璃激光装置或0.1~2千兆瓦的CO<sub>2</sub>激光装置,进行激光等离子体的基础实验。

参观了研究激光等离子体物理和激光核聚变的有关单位后,给我们留下较深印象之处有:

1. 他们自己不生产钨玻璃,而是从美国进口,一块200×100×25毫米的磷酸盐玻璃,价值1500英镑。建立一套兆瓦级的高功率激光装置,要花费一千万美元。这种做法,建设速度虽快,但花费太大,且关键材料依赖外国,易使研究工作陷于被动状况。

2. 实验装置完整配套,具有现代化水平。

他们不仅有较高水平的大功率激光器,

而且使用计算机来控制、调整整个激光系统和监测光束质量。实际上,作为聚变试验装置,激光器不过只是其中的一部分,而更多的是光学测试设备和等离子体诊断设备。在这方面,他们的装备可谓齐全,能保证实验安全可靠、准确无误地进行,具有现代化的水平。

3. 认真踏实地进行大量的基础研究。

在与许多科学家的交谈中,他们认为聚变研究尚处于科学原理的论证阶段,应该加强基础实验和研究。他们也确实进行了激光与等离子体相互作用的吸收过程、能量平衡、激光的散射、反射和各次谐波、界面不稳定性、等离子体磁场等实验;系统地研究了爆炸推进型和消融型压缩实验;目前正在进行的消融型压缩实验设计上和用X光阴影法测量压缩密度上有自己的特色。建立了一维平面靶的数值模型编码和两维三维温度流体力学模型与编码以及等离子体和光学的计算编码。

4. 激光核聚变研究的意义和前途如何?这是科学界所关注的问题。第一,对它能否作为受控热核反应的能源尚有争议,因为,这是一个需要长期探索的重要科学课题。第二,模拟核爆炸,这是各国目前大力发展激光聚变研究的近期目标。第三,这种强激光装置可以产生高温、高压、高密度的等离子体,它是人们研究激光与物质相互作用的有力工具。英、法两国都在这类装置上研究各种元素,如碳、铝、镍、钴、钨等的X射线谱,并试图获得X射线的增益。

总之,从对英、法两国的考察的一个侧面,使我们感到激光这门科学技术的发展依然生机勃勃,令人鼓舞。它不仅在军事上和工业上展现了广阔的应用前景,而且在现代科学的深邃研究中,更显出这一手段的潜在能力。