

编号: (74)015

内 部

出国参观考察报告

美国、加拿大激光技术发展情况

科学技术文献出版社

一九七五年六月

出国参观考察报告

美国、加拿大激光技术发展情况

(内部发行)

编辑者：中国科学技术情报研究所

出版者：科学技术文献出版社

印刷者：中国科学技术情报研究所印刷厂

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经销

开本 $787 \times 1092 \cdot \frac{1}{16}$ 12印张 303千字

统一书号：15176.59 定价·0.70元

1975年6月出版

毛主席语录

列宁为什么说对资产阶级专政，这个问题要搞清楚。这个问题不搞清楚，就会变修正主义。要使全国知道。

自力更生为主，争取外援为辅，破除迷信，独立自主地干工业、干农业、干技术革命和文化革命，打倒奴隶思想，埋葬教条主义，认真学习外国的好经验，也一定研究外国的坏经验——引以为戒，这就是我们的路线。

目 录

一、概况	(1)
(一) 第八届国际量子电子学会议的情况	(1)
(二) 关于美加两国激光技术发展状况和动向	(4)
(三) 各种激光器件发展现状	(10)
(四) 其它方面	(13)
二、激光核聚变与等离子体物理研究	(34)
前 言	(34)
(一) 劳伦斯·利弗莫尔实验室激光核聚变发展情况	(36)
(二) 洛斯·阿拉莫斯实验室激光核聚变发展情况	(47)
(三) 罗彻斯特大学激光能学实验室有关激光核聚变研究的工作情况	(53)
(四) 等离子体物理的研究、发展与激光	(56)
三、美国、加拿大气体激光器概况	(60)
(一) 大功率和大能量气体激光器	(60)
(二) 中小功率气体激光器 (包括金属蒸汽激光器)	(62)
(三) 正在探索研究的新激光器	(64)
四、气体激光器若干技术问题	(67)
(一) 横向激励大气压CO ₂ 激光器	(67)
(二) 长寿命CO ₂ 激光器	(74)
(三) N ₂ 激光器	(75)
(四) He-Ne激光器	(78)
(五) Ar ⁺ 激光器	(87)
(六) 封闭式气体激光器寿命问题的讨论	(89)
(七) 其它	(90)
五、中小功率固体激光器的若干应用	(91)
六、超短脉冲技术	(93)
七、半导体激光器	(96)
八、美国和加拿大在化学激光器方面的部分研制情况	(98)
九、美国和加拿大 CO 激光器点滴	(103)
(一) 小型电激励CO激光器	(103)
(二) 电子束稳定的高能CO激光器	(104)
十、美国和加拿大在激光化学方面的研究概况	(104)
(一) 激光诱导化学反应	(104)
(二) 激光增强化学反应	(105)
(三) 激光光解引发的化学反应	(107)
(四) 激光应用于化学反应的前景	(109)
十一、激光同位素分离	(110)

(一) 激光分离同位素方案的必要条件及目前提出的方法	(111)
(二) 激光同位素分离实例	(111)
十二、激光用于污染检测	(113)
十三、可调谐染料激光器	(115)
(一) 器件发展现状	(116)
(二) 几点看法	(119)
十四、自旋反转拉曼激光器	(119)
十五、激光光谱学	(121)
(一) 发展现状	(121)
(二) 几点看法	(127)
十六、非线性光学与光子回声	(127)
(一) 光子回声	(128)
(二) 激光频率的转换	(135)
(三) 非线性极化学	(142)
(四) 自聚焦	(143)
(五) 其它	(144)
十七、激光在精密计量上的应用	(145)
(一) 高稳定度激光的波长和频率计量	(145)
(二) 光速测定和长度基准问题	(154)
(三) 利用激光的计量传递	(155)
(四) 晶体晶格常数的直接测定	(157)
(五) 关于物理常数的精密测定及物理规律的精密验证	(159)
(六) 关于He-Ne激光器频率再现性的进一步提高	(160)
(七) 激光精密度量在科技上的特殊应用	(161)
(八) 几种精密技术装备	(164)
十八、激光能量及功率计量标准	(167)
十九、光导通讯和集成光学	(169)
(一) 利用光学纤维的光通讯	(170)
(二) 集成光学	(178)
二十、MOM光频二极管的发展	(183)
二十一、激光技术晶体	(185)
二十二、关于光栅刻划机	(187)

美国、加拿大激光科学技术发展情况

中国激光代表团

根据中美两方学术交流协议和中加两国文化交流协定，我有关部门派出激光代表团赴美国和加拿大，对两国激光科学技术进行考察。代表团于一九七四年六月五日出国，七月二十五日返回北京。期间自六月十日至六月十三日参加了在旧金山召开的第八届国际量子电子学会议。六月十四日至七月六日在美国参观访问；七月七日至七月廿一日在加拿大参观访问。

在美国期间，我们共访问了八个地区，参观了科学研究机构5个，大学八个，企业研究单位及工厂9个，见附表一。

在加拿大期间，我们共访问了五个地区，参观了科学研究单位九个，大学六个，企业研究单位及工厂二个，见附表二。

通过这次参加会议和参观访问，对于激光科学技术当前的发展情况和动向，特别是美加二国，有了初步的较系统的了解，对于其中某些技术情况，也有一定收获。

遵照毛主席关于“自力更生”“洋为中用”的方针，我们将考察情况进行了整理，供参考。由于各专题报告由代表团成员分头执笔，未经充分讨论，不当之处希批评指正。

一、概 况

(一) 第八届国际量子电子学会议的情况

这次第八届国际量子电子学会议在旧金山召开，自六月十日至十三日，为期四天。参加会议人数约一千三百人，参加国家二十余个，主要有美、加、英、苏、法、西德、日本等国。我国是第一次参加会议。这次会议就规模而论是历届最大的。做为专业会议，这样的规模在国际学术会议上也是少有的。这说明激光科学技术还在迅速发展，所涉及的范围也日益广泛。据知，申请提交宣读的论文报告达六百余篇，经审定挑选列入会议的论文报告约二百篇。会议分三个会场同时进行。共列有二十一个专题，每个专题给半天时间，一般都有近十篇论文报告，另有三个单元时间（半天）作为临时追加报告时间。各专题内容如下：

(1) 可调谐激光器及光谱学；(2) 大功率气体激光器；(3) 固体激光器及材料；(4) 大功率激光器；(5) 天体物理，超辐射，光学相关；(6) 激光染料及非线性光学性质；(7) 化学激光，激光引致的化学反应和同位素分离；(8) 自聚焦问题与非线性光学；(9) 半导体及固体激光器；(10) 激光形成的等离子体；(11) 量子，量子统计与强光；(12) 锁模，与短脉冲激光；(13) 紫外激光，X-射线及 γ 射线激光；(14) 光通讯，

集成光学；（15）气体击穿与激光破坏；（16）气体及蒸气激光器；（17）超导与量子电子学，共振相互作用；（18）微微秒激光应用于物理及化学；（19）高分辨率光谱与共振相互作用；（20）气体激光；（21）激光光学；

每个专题都有一两篇特约报告，论述某方面的特殊进展或是有关方面的综合评述。

我们感到，这些特约报告以及临时追加报告最能说明当前国际上激光发展的形势和动态。会议还举办了一个激光商品展览会，参加厂家有52家，其中美国厂家占多数，还有加拿大，西德，日本的厂家参加。展出的产品，除了各种激光器件而外，还有各种测试设备，元件和材料。由此也可看到激光技术的一般进展情况。

会议发出的文件不多，除了会前发送的会议日程载有论文摘要而外，会议期间印发有论文报告，内容摘要及追加论文摘要。但是许多重要特邀报告，却只列了题目，没有具体的文字叙述。

在这次会议上，许多国际上知名的科学家参加了会议，并有论文发表，例如有发明激光现象的唐斯（C. H. Towns）和沙乐（A. Shawlow），发明 CO_2 激光的巴得尔（C. K. N. Patel），量子电子学家亚列夫（A. Yariv），非线性光学理论物理学家布伦勃根（N. Bloembergen）以及青年科学家染料激光的发明者索乐金（P. P. Sorokin）和发明约瑟夫孙效应的约瑟夫孙（B. D. Josephson）等。与此同时，给我们印象很深的是，参加会议的绝大多数是年青的科学工作者，在激光这门新科学的迅速发展，他们成了发展这门科学的主力。

限于专业和水平，我们只能有选择地听了一部分论文报告。有些论文，后来在美、加参观中又得到进一步的介绍，得以了解得深入一些。下面仅就了解所及，谈一下发展情况和动向。

（1）会议上有较多篇论文是和近几年来引起重视的激光核聚变问题有关的。几年前，提出有向心照射的理论，利用多路激光向心照射聚变物质，借助于惯性内爆，可以有效地提高受爆物质的等离子体密度和温度，从而大大降低聚变阈值。这一理论，引起了国际上很大重视，被认为是利用核聚变解决能源问题的很有希望的途径之一。两年来，围绕激光核聚变这一目标，从理论上和实验上进行了很多准备工作。有关问题的报导和分析成为这次会议的一部分主要内容。这可说是自从上届会议提出这一问题以来，在本届会议见到了问题的进一步深入和具体化。我们看到专题（4）高功率激光器，主要报导了初步建成或正在设计的多路钨玻璃激光系统，是为研究向心照射实验而建立的。专题（2）大功率气体激光器，主要是发展了大功率 CO_2 激光器，作为研究等离子体和核聚变的工具。专题（8）自聚焦问题是提高大功率激光器照射效率的关键问题，还提出了用“软”光栏来解决出光不均匀的问题。专题（10）关于等离子体研究，是了解和设计聚变条件的主要科学问题之一。其他如气体击穿与激光破坏也都是和研究大功率器件有关的。另外，关于大功率化学激光器以及高压 Xe 激光器等，也是为此目的寻找新的有效的激光器件。引起注意的是美国 KMS 核聚变公司原来准备在会议上提出一篇报告，却被临时撤消了。据说，如果这篇报告公开出来，将在会议上引起很大震动。另外，利用电子激励的氢氟化学激光已达到了100千兆瓦的脉冲功率，从而也迈进了大功率器件的行列。

另外，据最近来我国访问的美国高能物理代表团说，KMS公司的成果，现已部分解密。他们利用激光进行双路大相对孔径的对击照射，已从实验上得出向心照射提高聚变效益的初步结果。

(2) 利用可调波长激光的光谱技术,特别是可调谐染料激光器(结构简单,使用方便)为化学研究提供了有力的方法和工具。正如在一篇特约报告题目所表明的“激光予化学以革命”。激光技术已在神奇地改变当代光谱学的面貌和化学动力学的研究方法。对于物质微观结构的研究不是从发射和吸收光谱上着眼,而是利用可选择的波长来进行能级的激励。利用激光所引致的荧光可用来研究各种碰撞或散射反应过程,并达到前所未有的选择性和灵敏度。

这次会议对于激光用染料问题,有专题报导。值得注意的是气体染料的出现,已用来做成具有相当功率的激光器。

(3) 激光同位素分离在会议上引起普遍兴趣,目的是为了寻找和发展核燃料铀同位素分离的有效方法。据报导,利用激光进行铀同位素分离,在实验室中已经实现。当前问题是进一步研究方法的经济性。与此同时,还需发展大功率的波长可调激光器。据估计这类的工程措施,有可能在较短时间内实现,生产成本比现用同位素分离方法降低一半。

(4) 远紫外, X射线等短波长激光器,正在积极进行探索。对于可调谐远紫外也有利用倍频和双光子效应等产生形式。利用Xe、Kr等形成受激准分子(Excimer)的激光器正在研究实现。对于较长波X—射线激光产生的可能性有所分析,目前对实现这种激光极为乐观,如果成为现实,将是量子电子学的又一重要发展。

(5) 激光高分辨率光谱技术及超短脉冲激光继续有所发展。利用两束激光相对照射的双光子共振吸取可以消除被照射气体的多普勒展宽的影响,从而有效地得到高分辨率的吸收谱线,这是一项新的发展。

关于锁模和超短脉冲的产生原理继续有所深入。超短脉冲激光正在用于研究化学和生物物理的快速反应过程上,例如电子与极化分子的相互作用,叶绿素中的能量转换及机制等。

(6) 有关激光本性和非线性光学的理论问题又有进一步的阐述。对于激光的相干性质,光子统计性质,以及对量子电动力学的验证和其他方法的可用性都有所评述。由于短波激光器的要求,1972年在光频范围发现的Dicke现象继续有所阐明,在超导体中的约瑟夫效应,视同于激光产生的机制,引起了注意。

(7) 有关双异质结半导体激光器的寿命问题,从实验上阐明了原因,从而使双异质结半导体激光器的性能大大提高,寿命已可达万小时以上。光通讯的研究工作,这几年来有了较快的进展。作为光信息传输介质的光导纤维,在衰减率上每公里透过1%上升至可透过50%以上。光纤结构对于多模传输的时延问题有了系统的研究,从而为远程高频带通讯提出了方向和可能性。与此同时,集成光学的一些单元技术达到可用阶段,对于激光应用于集成光学也已有初步头绪。这将不但用在光通讯上,对于计算技术及光信息处理也将从中得到新的发展。

(8) 激光器件设备的产品化。在会议附设的展览会上,我们了解到一般成熟的器件,如氩氟激光器,CO₂激光器等,都有较长的使用寿命,如氩氟激光器的寿命可达三万小时。比较引人注目的,是成套的染料可调激光器,一般都具有宽的波段选择,分辨率可高可低,可倍频使用等多种功能。和染料激光器连用的有氩激光器(连续)和氮激光器(脉冲)都有产品。前者功率最大达20瓦,后者峰值功率达一兆瓦。作为材料加工用的连续大功率横向流动TEA CO₂激光器也有商品模型。此外展览会还展出了各种材料,元件,实验室辅助设备等。这样对于从事激光科研工作者,特别是对于使用激光器做为工具的科研工作者提供了许多方便条件。我们感到这是在开展激光科学技术工作中值得注意的方面。

(二) 关于美加两国激光技术发展状况和动向

我们这次考察的内容以科学性的、研究性的和长远性的为多，而且是浏览性质的。限于时间有限，许多项目了解得不够深入具体。大体说来，我们考察所得，有：

对于激光核聚变和有关大功率激光器，有比较系统的了解。

对于激光在化学上的应用以及激光光谱的发展及其功能有了较深刻的印象。

对于各种激光器件的发展现状和趋向有了一定的了解。

对于激光一些特殊用途诸如精密计量、光通讯等有了初步的了解。

此外，也了解到若干技术上的细节。

现分述如下：

1. 激光核聚变

当前激光核聚变被看做是受控热核反应的一种很有希望的途径，由于关系到解决远期能源问题而得到国际上的注意，特别是美国和苏联正在集中力量有组织地进行。在这次量子电子学会议上，对这一重大科学问题也是特别有所反应的。我们从参观访问得知，美国原子能委员会对激光核聚变订有专案规划，以劳偏斯—利弗莫尔实验室 (Lawrence Livermore Laboratory) 和洛斯阿拉莫斯科学实验室 (Los Alamos Scientific Laboratory) 作为主要研究基地 (两个实验室都是美国研制原子武器的主要基地)。另外，如罗彻斯特大学，KMS 公司，贝尔实验室的彬地亚实验室等也有研究计划。从研究投资来说，以利弗莫尔实验室最多。当年美国原子能委员会在激光发展方面的投资有三千三百万美元，仅利弗莫尔实验室就占用一半还多。

当前利弗莫尔实验室的主要工作是筹建一座输出脉冲能量达10000焦耳，脉冲时间100微微秒的钹玻离固体激光系统。这是一个十二路的同步向心照射系统，用以验证核聚变的可能性。这个装备计划于1977年建成，今年的重点是实现其中单路系统的工程研制。这个装置，包括振荡器锁模脉冲装置，经过八级放大，每路最后的光束的输出直径大约为30厘米。为此设备连同电源及实验场地，正在筹建一座体积约为 $80 \times 20 \times 25$ 米³的专门建筑。

洛斯阿拉莫斯实验室于四年前成立了激光专业研究所。当前的重点是用大功率脉冲CO₂气体激光系统来实现核聚变。目前正在建立一座脉冲能量也是10000焦耳，脉冲时间为1毫秒用八路气体激光进行向心照射的系统，也准备在两年内建成。

我们在利弗莫尔实验室看到当前工作之前型的钹玻离激光设备，输出能量约为350焦耳曾用以打出中子，现在已成为展览品。

我们在洛斯阿拉莫斯实验室也看到大功率CO₂气体激光系统的初型，输出能量达950焦耳，输出窗口直径达400毫米。放大器的最后几级都是高能电子束激励的横向高压激光器。

值得注意的是，这样的设备虽然是以实验热核聚变为较远目标，但是也有其为武器服务的近期目的。利用这种大功率激光系统可以产生近乎原子能爆炸的高温等离子体。因此，这种设备也是研究核爆炸的有效模拟实验设备。利用它可以获取核爆炸的科学实验数据。

为了弄清实现激光核聚变的原理和现实性，还有大量的理论、实验以及外围的科学问题需要进行。以利弗莫尔实验室为例，就开出了下述课题：

- (1) 激光设备的发展。
- (2) 靶型及打靶设计。
- (3) 激光打靶研究(等离子体形成机制)
- (4) 诊察项目(发展微微秒时间范围的激光及等离子体测试及照象设备)。
- (5) 系统分析(对应用现实性的估价及提出重要技术问题)

其中许多工作,还需要先期在中型的实验装备上进行。我们看到已建成或正在建立这种设备的单位,有如:

洛斯阿拉莫斯实验室: 钕玻璃激光器, 四路, 输出能量共1200焦耳, 已基本建成, 现在建立靶室。

罗彻斯特大学光能研究站, 钕玻璃激光器四路, 输出能量共800—1400焦耳, 已建成, 日夜工作。

我们从量子电子学会议上了解到俄亥俄州巴斯梯尔实验室已建成12路的钕玻璃激光系统, 总输出量1400焦耳, 3.5毫微秒, 为解决大型设备的工程问题做出了验证。此外, 据了解KMS核聚变公司也有相应的设备, 并已作出同心照射提高聚变效益的初步结果, 已如前所述。

我们在加拿大也从参观访问中了解到进行激光核聚变试验的意图。许多研究单位, 包括国家研究委员会的物理分部, 魁北克电力局的研究所和省研究院的力能研究所以及几个著名的大学, 如拉伐尔大学物理系, 阿尔勃塔大学电工系等都在从事大功率CO₂激光器和等离子体的研究工作。在大功率CO₂激光器方面, 突出的是用紫外予电离的方法, 这和美国用电子束激励方法还有所不同。这些单位已在组织协作, 探索利用CO₂气体激光作为核聚变能源系统的可能性。

从现状来说, 用大功率钕玻璃激光器和CO₂气体激光器有效地实现核聚变, 更关切地是有效地做为能源, 前途如何, 还不能肯定。据认为, 固体激光器虽然很有希望做成突破热平衡的结果, 但要成为持续的能源, 现在已予见到工程上的困难。CO₂气体激光器的持续性要好一些, 但因波长太长, 有人怀疑其产生等离子体的热效果。因此, 对于激光新途径的探索, 仍然是主要课题。利弗莫尔实验室和洛斯阿拉莫斯实验室, 如我们所看到的, 除做大功率气体激光器和大功率钕玻璃激光器外, 对于化学激光器和氙激光器也都在积极进行。

总之, 一般认为激光核聚变做为受控热核反应的一种手段, 是一项长期科研项目, 即便是现实性得到验证, 进一步发展成为能源工程也还需要时日。预计要到1980年实现能量得失平衡, 1990年实现能源工程模型, 也许要到本世纪末或下世纪初才能见诸实用。

正因如此, 科学家也在注意这一科学实验的近期利用。一种是利用这种核聚变做为引发系统, 用来提高铀燃料的反应效率, 即裂变效率, 从而形成聚变-裂变原子能体系。另外一种途径是把激光照射和磁约束等离子体结合起来, 利用激光来提高等离子体的温度和压力。我们看到在麻省理工学院的磁体研究室, 加拿大水电局的研究所都在进行这方面的研究。

这里也提一下, 加拿大的水电局研究所也正在利用CO₂激光产生等离子体来研究高压放电现象。利用激光照射空气, 可使高压放电沿着激光光路产生, 从而可使高压放电沿固定的路径出现, 以便于对放电进行研究。

2. 大功率激光器, 有很大发展

除了上述应用于核聚变和等离子体物理的短脉冲大功率激光器而外, 应用于其他方面的

大功率激光器, 据悉也有很大发展, 但我们在参观访问中所见不多。

关于大功率气动激光, 我们在阿符科—爱弗里特 (Avco-Everett) 实验室被告知五年前已达到连续输出十三万五千瓦的水平, 这比三年前在文献上发表的数字高出一倍, 据那里的主要科学家说, 他们现在不搞这方面的工作了, 如果继续搞下去, 输出功率会大大超过上述数字。另外, 我们在联合飞机公司得知该公司从事有关关键技术问题的科研工作, 支持在佛罗里达州 (Feorida) 军方大力开展这方面的工作。

加拿大的阿尔勃大 (Alberta) 大学电工系, 原来曾进行过爆炸气动激光的工作。这次我们去参观时, 据说已不搞这方面的工作了。照一位主要科学工作者说, 搞气动激光现在是搞军事技术人的事, 他们的兴趣在研究等离子体物理, 而爆炸气动激光不适于作这方面的研究, 所以歇手而转向 TEA CO₂ 激光器方面了。

在整个参观访问中, 我们未见到大功率气动激光的实物。第八届量子电子学会议上亦未见有报导。

关于大功率连续输出 CO₂ 激光器, 我们在上述爱弗里特实验室看到用高压电子束予电离激励、横向流动的 TEA CO₂ 激光器, 连续功率可达 10000 瓦—15000 瓦, 已成商品, 可用于难熔金属切割, 快速表面热处理, 快速焊接等用途, 已为若干生产厂家所采用。在联合飞机公司也看到用射频激励的流动立体 TEA CO₂ 激光器, 连续功率可达 25000 瓦。加拿大的留摩尼克 (Lumonics) 工厂则在量子电子学会议上展出了利用紫外予电离的横向流动 TEA CO₂ 激光器, 连续功率可达 700 瓦。

关于化学激光器, 我们所到各大学化学系 (有美国加利福尼亚大学勃克莱分校, 哥伦比亚大学, 加拿大的多伦多大学) 都在从事化学激光工作的研究。另外, 得悉美国柯奈 (Cornell) 大学也是研究化学激光器的中心, 但我们没有去。其他主要激光研究所如洛斯阿拉莫斯实验室也大力开展化学激光器的研究, 并且在短脉冲化学激光器的新成就方面在量子电子学会议上做了报导。给我们的印象是美、加两国对发展化学激光器都是非常重视的。在整个参观访问中除了在加拿大留摩尼克斯 (Lumonics) 工厂介绍了可做为 TEA CO₂ 激光和氢氟化学激光的通用器件而外, 未见到其他化学激光的实物。

3. 激光在化学上的应用正在大力开展

利用激光能量的集中性和单色性, 特别是近年来可调谐激光器的出现, 可使分子和原子经过激光照射, 有选择地形成激发态。这种技术和荧光光谱技术结合起来, 可以研究化学反应的微观动力学过程, 达到前所未有的精细度和灵敏度。我们参观各大学的化学系 (例如加利福尼亚大学, 哥伦比亚大学, 加拿大的多伦多大学) 都在大量开设利用激光进行化学反应研究的课题, 其他如美国的国家标准局, 以及利费莫尔实验室和洛斯阿拉莫斯实验室也不例外。

所用的设备, 在可见光及近红外, 近紫外波段, 大都采用染料激光器, 在红外波段采用参量振荡器, 或用 CO₂ 激光器倍频、或 CO 激光器激励的半导体自旋反转拉曼激光器, 在紫外波段则需通过低波段可调激光器的倍频方法得到紫外或远紫外的可调谐波长。

对于快速反应还要利用超短脉冲技术。进行这种研究一般要借助于对分子或原子受激发态的荧光光谱及寿命分析, 为此在某些情况须要采用高灵敏度的光探测系统, 例如光子计数器以及电子积分装置等。

从化学技术来看, 利用分子束原理使受作用的分子得到人为的控制的技术正在发展, 但

是我们看到,当前有许多工作是可以比较粗的条件下进行的。

值得注意的是,在这些化学研究中染料激光应用普遍程度,已有如一般的单色光计。大都是商品,有时根据使用目的加以修改,但很少是自己设计制造这种激光器的。

当前研究的主要课题有(1)化学激光的激发和反应机制,特别是氢氟化学激光的产生和效率问题;(2)同位素分离。目前虽然对有些元素的工作有所进行,但主要目标还在于有效地分离铀同位素。原理上是要将混合着的同位素原子或分子经过激光照射形成有选择的能态跃迁,然后用化学或物理方法将处于不同能态的同位素摘取出来。问题的一个重要方面是经受选择激励的同位素如何不再由于不同同位素间的能量交换而降低分离率。此外,要使激光同位素分离成为生产工程,还需要研制大功率连续输出的精细调频器件。同位素分离的研究工作是利弗莫尔实验室和洛斯阿拉莫斯实验室的主要研究项目之一。至于各大学则主要是进行原理性实验。我们只是参观了一些大学的工作。当前利弗莫尔实验室的工作特别引人注目。

激光在化学上另一重要应用是激光测污问题。有关原理性试验分析的研究除了大学而外一些企业的研究室也在进行,例如贝尔实验室、福特汽车公司的研究所等。利用激光的强度和单色性,(一般是可调谐激光)对被测杂质进行适当的谱线激励,再用光谱方法进行测量,在特定条件下,灵敏度可达 10^{-9} 。我们在加拿大环境研究所看到测量水流污染的研究和设备,在遥测中心看到装有测量水污的装备飞机。在加拿大多伦多的约克大学我们看到观测烟囱气流污染的激光测量雷达。

给我们的印象是激光在化学上的应用已为化学反应的研究打开了新的天地,目前还是开端。因此,把课题首先集中在几个当前需要突出解决的问题上,尚来不及把研究面铺得太宽。据我们和福特厂研究室主任谈话,认为激光对化学研究的重要意义,还没有得到应有的普遍认识。他认为激光工作者有责任来推进这一领域的开展。我们在加拿大遇到 TEA 激光的发明者勃留,他认为把激光和化学结合起来大有可为,他自己现在已转而和化学工作者一起工作了。

4. 激光光谱学

激光物理和激光光谱学已成为当代物理学进展中少有的活跃学科。预计这种局面还将继续相当长的时间。

在我们参观访问中,不论是美国或是加拿大从事激光物理和光谱问题的研究到处可见。不但是物理部门和化学部门,从事大量的研究工作,其它如电子工程和通讯研究单位也在进行有关的基本研究。

目前有关激光的基本现象以及激光和物质的相互作用的许多非线性光学问题已有了相当的了解,在此情形有些物理问题的研究,一方面基于实际需要,提出了新出现的科学问题,例如为了有效实现大功率激光而需解决激光在工作物质中出现的自聚焦的破坏问题。为了解核聚变需进行大量的实验和理论计算来研究等离子体。另一方面,是发展新型激光,诸如 X 射线激光,受激准分子激光等等,以及利用强激光作为抽运手段来产生新型激光。此外新现象还在不断发现,如双光子共振吸收,表现超辐射现象的 Dicke 效应等。新的探测技术也在不断发展,例如光频二极管的出现,使光频波段的激光可以直接用频率来测量。这些都已经或即将进一步开辟激光技术的新领域并引致新的技术上的应用。

特别是激光光谱技术和红外光谱学的形成为深入研究物质的微观运动规律和物质微观转

换机制(包括物理的,化学的,原子、分子、固体、等离子体等)提供了新的武器。正如麻省理工学院的物理系主任费师傅和谈话所指出的三个高分辨率(波长分辨率—精细可调的单色性,时间分辨率—短脉冲和空间分辨率—相干性)为光谱学的研究提供了广阔的自由度,使一度处于低潮的光谱学获得了新的活力。

举例:在激光出现不久就已发现的拉姆凹陷效应(Lamb Dip),被用来研究由于热运动而被掩盖着的精细谱线。从而作为精细谱线分析的有力方法并能借此来测得谱线的自然宽度。新近利用对击照射的双光子共振吸收,能更有效地消除热运动的影响使在不同运动速度的原子和分子都能对共振吸收作出反应。在适当条件下,这种方法不但得到高的吸收效率,而且在测量上可以免除背景的出现。这个方法,来源于斯坦福大学的韩师(T.W. Hänsch)和沙乐(A. L. Schawlow)。现在有很多研究单位都得出了显著的结果。这里单提一下罗彻斯特大学光学研究所的研究结果。用此方法不但显示出钠谱线的自然宽度,而且可以准确测得谱线的轮廓分布,从而为验证量子电动力学以区别于其它理论上的处理方法提供了实验依据。另外,这一原理,已被用来产生高效率的倍频和参量转换的可调激光(紫外激光)得出了良好的效果。

追溯过去,光谱学在研究典型原子分子,以及其他物质形态,以弄清微观结构和运动规律是起到过决定性作用的。今天用于对物质的分析也还不可或缺。激光光谱学,能研究更为复杂的物质结构和微观运动过程,无疑它将象过去的光谱学那样,继承已起到的作用,进一步深入认识微观世界。预计它将在很长一段时期内继续发展下去,不但用于现代物理学和现代化学并将应用于现代生物学,为发展科学技术,改造物质世界上起到先驱作用。

在访问中我们看到的有关研究项目有:

双光子共振及参量振荡,
分子束及原子束光谱学,
等离子体散射,
反拉姆效应稳频,
驻波拉姆凹陷,
外差光谱学,
光子回声,
布里渊散射,
激光荧光光谱,
激光拉曼光谱等。

5 激光使精密计量技术出现了新的突进

目前利用激光进行精密测距、测速等技术应用于工程测试,已日臻成熟。不少已有成效地得到不同广泛程度的使用。这里特别要提出的是近年来利用对气体精细谱线的饱和吸收,加上精密反馈控制,发展了高稳定频率激光。具体说来,突出的成就是用 CH_4 来稳定的 3.39μ 的氦氖激光,利用碘同位素蒸气来稳定的 6328Å 的氦氖激光以及用 CO_2 气来稳定的 CO_2 激光。例如,对于用 CH_4 稳定的氦氖激光,稳定度优于 10^{-12} ,再现度达 10^{-11} 。由此表现的波长需用 Kr^{86} 灯的 6056Å 谱线波长为基准得出,而后者再现度却只达 $10^{-8}\sim 10^{-9}$ 。利用现代波长的精密比较技术,上述各激光波长间的比数精度可达 10^{-10} 。但如果和 Kr^{86} 灯的谱线相比,则精度由 Kr^{86} 的谱线所局限。

在时间、质量、长度这三个基本物理量的国际基准中，以长度的精密计量为最差，现在超稳定激光的计量，已在改变这种局面。

与此同时、另一突出的成就是使频率标准和长度标准在同一激光器上体现出来（ CH_4 稳定氦氖激光）。关键技术是红外频率二极管的发现。利用这种管的非线性性质可使较长波的激光产生高次谐波（例如 CO_2 10.6μ 的三次谐波）来和同时注入的较短波长的激光（例如氦氖的 3.39μ 激光）产生拍频，因此只要测量出较低的拍频频率，就可以把一种稳定激光的频率和另一种激光的频率关连起来。用级联逐次测频过渡的办法，可以和铯原子钟的频率进行比较（通过 HCN ， H_2O ， CO_2 激光器做为中间比较器件），从而得出如氦氖 3.39μ 稳定激光的频率。

有关这方面的工作，美国国家标准局的波尔多分部和华盛顿总部都在分头进行。麻省理工学院也在进行类似的工作。另外，据悉加拿大、英国等都在进行。目的是通过各实验室独立的不同的实验方法，取得数据的相互验证。例如，波尔多实验室从对氦氖激光器（ CH_4 稳定）测得的频率和波长，计算出光速的值是 $299792456.2(1.1)$ 米/秒。最近华盛顿方面通过对 3.39μ 和 6328Å 氦氖激光波长的精确比较，得出 $C=299792458.5$ 的数值（用同一 ν_{CH_4} 值）。

另一超精细技术，是利用 X-射线驻波来测量完整单晶（硅）的晶格常数。这是由于能实现超稳定的激光波长才有可能的。现测得完整单晶硅的晶格常数为 $d_{220}=192.01715\pm 0.00006$ 微微米，（ 25°C ），精度达千万分之三。由此可以算出精密的克分子数。这对于在计量基准上用原子质量来代替人为的质量基准迈出了重要的第一步。

这种在计量精确度上的新的突进，使有条件来重新研究光学物理中的一些经典的最基本的科学实验。除了光速常数已如上述，其它如斯坦福大学利用可调驻波激光对氢谱线的精细吸收，精确里德勃尔格原子常数（Rydberg 常数）；科罗拉多大学的天文物理研究室用来验证狭义相对论中的二次多普勒频移。

这种精密计量技术在其它科学技术上也得到了应用。国家标准局的波尔多分部在附近废弃的金矿中建立了一台长达 30 米的高稳定激光干涉仪，用以测量地壳微小的变形，目的是为了研究地震预报问题。类似的技术也用来测量精密材料的尺寸稳定性。在阿里森那大学的光学中心用以研究大望远镜主镜玻璃的长期变形问题。

关于利用激光波长作为长度计量基准的计量传递问题，国家标准局已建立起一套以碘蒸气稳定的氦氖 6328Å 激光作为原始基准，用以标定氦氖工作基准的设备（例如，利用拉姆凹陷稳定的氦氖激光器）。还建立了工作范围达一米的激光干涉仪，用以标定线纹尺或块规。此外，进一步提高氦氖激光稳定性的工作也还在进行。为此，在波尔多的联合天文物理研究室中进行了 CH_4 精细谱线轮廓的工作，经发现在 3.39μ 的 CH_4 精细吸收谱线，还有可以测得出的超精细结构。

6. 关于光通讯、集成光学、光信息的探测和处理

有关光通讯及集成光学的发展动向，在本文记述国际量子电子学会议情况中已经谈过，在参观访问中见到贝尔实验室（Bell Lab.），国际商用机器公司（IBM）和加利福尼亚电工系所进行的工作，在加拿大也听到通讯部通讯研究中心的有关介绍。我们看到和了解到下述内容：

（1）使光进入和输出薄膜的耦合装置，

- (2) 光在薄膜中的传输情况和透镜、稜镜效应的形成,
- (3) 薄膜反馈光格的制备工艺(利用激光干涉)的光刻技术,
- (4) 电光及磁光调制器,
- (5) 薄膜激光器件,
- (6) 光通讯元件和导光纤维的连接问题,
- (7) 有关光通讯总体的一般介绍。

关于激光应用于光信息探测,我们看到加利福尼亚大学物理学以及阿里森那大学光学中心正在研究以激光为本地振荡的外差探测器,用来作为天文物理观测手段。利用非线性晶体(例如 LiNbO_3 , 经用强的相干光照射(例如单膜振荡的红宝石激光或YAG激光)来和外来信号混频,可得到上转换或下转换的频率信号。这样,可将不易探测的红外信号转换成与本地振荡形成和频或差频的信号来进行接收。上转换可使在可见光范围或较易观测的红外波段,下转换可变成微波信号来观测。

实验结果证明,利用强相干光作为本振光源,可以达到接近于量子噪声的探测度。

当前这种手段主要用来研究红外星体,研究火星大气辐射等问题。

利用适当的光学措施,还能得到变频的图象。也可对某一特定波长的谱线(红外谱线)进行外差观测。

预计这种光外差技术将继续有所发展并应用到其他红外探测技术上去。

有关光学信息处理及全息摄影技术方面,在这次参观访问中了解得不多。全息摄影只见到表演性的图象。在联合飞机公司所示涡叶片变形的干涉图谱也是从文献上早已熟知的。

关于光学信息处理,在美国阿里森那大学光学中心看到自宇宙探测器拍摄传递回来经过处理的木星图片,在加拿大空间研究中心经介绍了为地球资源探测卫星的多光谱照相而建立的地面数据整理和图片扫描装置。利用激光的精密扫描制成经过整形的彩色地貌图。

利用空间滤波原理的信息处理技术,在罗彻斯特大学光学研究所和加拿大拉伐耳大学做了示例性的介绍。

(三) 各种激光器件发展现状

归纳这次参观访问,我们见到或对我们有所介绍的各种激光器达四十多种。如果算上每一种由于不同用途而采取不同的形式,在数量上还要加倍。现综合如表3。一些大型激光装备,例如从事激光核聚变的装备,不是单一器件,而是不同激光器件的组合,形成一个系统。有些在技术上比较成熟的激光器,已成为商品或产品,并且有的已形成系列。老产品如氦氖激光器的性能,也在继续有所提高。有些则是针对某种科学问题的专用设备。有些目前还在实验室发展阶段,以后可以成为定型产品。有的还在探索实现的途径。现概述如下:

① 钹玻璃大功率激光器,用作放大及功率放大器件。中间放大一般为棒形,功率放大采用盘形的多片组合。有代表性的水平是单路输出的能量350焦耳,脉冲时间100—1000微微秒。已在设计制造输出能量1000焦耳,脉冲时间1000微微秒的单路激光器,并实现十二路同步向心照射,用于核聚变实验。

②横向激励大气压或超大气压CO₂激光器 (TEA CO₂激光器), 用于核聚变及等离子体试验。代表性指标, 为250焦耳/脉冲, 脉宽1毫微秒。现正设计1250焦耳/脉冲, 脉宽1毫微秒的器件。最大功率的器件采用电子束予电离措施。也有用紫外予电离和双放电型的TEA激光器。值得注意的是在用紫外予电离的方法中, 在气体中掺入小量低电离阈值的种子气体, 可以大大提高予电离的效益。

③连续流动电激励CO₂激光器 当前水平: 连续输出可大于2500瓦, 流速达100米/秒。有商品, 用于金属切割, 焊接及表面热处理。

④气体动力激光 五年前达到十三万五千瓦的连续输出。现在的水平比此要大得很多。估计主要用于军事目的。考察组未见到实物。

⑤大功率化学激光 (HF反应型) 最新水平, 用电子束激励, 得脉冲峰值功率100千兆瓦, 脉宽35毫微秒, 脉冲输出能量—2400焦耳。

在一般固体的器件方面:

⑥钕玻璃激光器 用作固体大功率激光系统的锁模振荡器及选脉冲前级放大器。

⑦钕铝石榴石 (YAG) 激光器 用作固体大功率激光器的锁模振荡源及选脉冲前级放大器, 以及作为超短脉冲光源。另外, 其连续单模形式用作外差接收的本地振荡源。

⑧红宝石激光器 我们看到的是用作共振实验的单模形式。这种单模输出也可用作外差接收的本地振荡源。

⑨掺Nd³⁺及掺Ho³⁺的YVO₄作为工作物质的激光器。

⑩掺Nd³⁺的钆镱石榴石 (GGG) 激光器。晶体易于生长, 可能是YAG 的代替品。

⑪磷酸钕激光器 受激发射阈值功率仅600微瓦, 可得室温连续输出。

以上三种是新型晶体工作物质的激光器, 在第八届国际量子电子学会上有报导, 值得注意。

在气体激光器方面, 除上述大功率器件外:

⑫中、小型CO₂激光器 有500瓦以至数瓦的连续输出功率, 纵向激励型, 已形成系列商品, 可作为加热, 以及切割等加工用途。单模输出的CO₂激光器可用作波长标准。小型CO₂激光器寿命可达万小时以上, 已有商品, 可用于激光通讯 (空间通讯)。

⑬He-Ne激光器 常用的商品寿命达二、三万小时, 售价自原来的万元美金降至百元左右。主要是用作工程准直和长度干涉计量的波长标准。用兰姆效应稳频的He-Ne激光器也已有商品。在精密计量上, 利用甲烷和碘饱和吸收稳频激光, 已成为国际上实际使用的长度基准。

⑭N₂激光器 这是常用的脉冲式紫外激光器 (3371Å), 当前商品水平是峰值功率一兆瓦。这种激光器的特点是结构简单。麻省理工大学专门介绍了业余科学爱好者可以制造的形式, 峰值功率也能达一、二十千瓦。这种激光器通常被用作可调谐染料激光器脉冲式激励光源。

⑮氙离子激光器 商品水平是输出功率15—20瓦。有石墨间隔子及氧化铍管两种形式。另外, 我们在加拿大拉伐耳大学看到连续功率达50瓦的器件, 用聚四氟乙烯及铝环作间隔子。他们已在致力于100瓦的器件。商品现被用为激励可调谐染料激光器的连续激励光源。

⑯氦激光器和氙离子激光器用作彩色图像扫描的显示光源。

⑰CO激光器 作为红外光源, 例如用以激励半导体自旋拉曼激光器。在第八届量子电子学会上有论文探讨这种器件作为大功率器件的可能性。

⑮HCN激光器, H_2O 激光器, 作为远红外激光源, 例如HCN激光器用于等离子诊断, 量测红外折射率。两者在He-Ne3.39激光频率测定中用作铯原子钟频率的中间过渡频率器。

化学激光器件, 除前述大功率器件外, 还有:

⑯一般氢氟化学激光器 目前正在研究各种有关反应, 以提高这种激光器的效率。

⑰ I_2 激光器 在第八届量子电子学会上有特约报导(我们未听)。在利弗莫尔实验室作为大功率器件探索方向之一, 但未见介绍。

⑱ N_2O 激光器 在第八届量子电子学会议上提出了用化学激励的方法产生激光属于蒸气激光器的, 有

⑲He-Cd激光器和He-Se激光器, 我们看到的这两种激光器都具有与He-Ne激光器相似的结构形式。Cd和Se金属以环状形式置于放电路中, 在放电过程中产生金属蒸气。He-Cd激光器具有4416Å和3250Å的谱线, 是输出功率很易达到十毫瓦量级的蓝色和紫外单色激光光源。He-Se激光器在 $\lambda=4467\text{Å}\sim 1.6\mu$ 范围内有46条谱线, 可作为可见光多谱线激光源, 总输出功率可达200mW。

⑳铜蒸气激光器, 铅蒸气激光器 在发展中, 需用适当温度的炉子使金属气化。

㉑He- I^+ 蒸气激光器 据第八届量子电子学会报导, 现在已可做成封闭式激光管, 具有5761Å(最强), 6127Å, 5678Å, 6585Å五条谱线, 总输出功率可达40mW, 最强线可达18mW。可与He-Cd $^+$ 及He-Se $^+$ 激光管具有类似的用途。

关于高压气体激光器, 在第八届量子电子学会上有所报导, 在加拿大渥太华地区见到一些。

㉒高压 CO_2 激光器 压力为7大气压的大功率 CO_2 激光器; 压力达15大气压, 用紫外电离, 做为锁模激光器。另一些 CO_2 激光器压力达33大气压, 用HBr横向激励激光作为光泵。

㉓高压 N_2O 激光器 当掺入小量 CO_2 , 压力可达42大气压。

以上两种激光器都可用作锁模超短脉冲激光之用, 也有可能用作可调谐波长激光器。

当前使用比较普遍的波长可调谐激光器有:

㉔可调谐染料激光器 利用 N_2 激光器(脉冲)及氩激光器(连续)甚至用高压脉冲氙灯作为激励源, 照射置于共振腔内的染料溶液, 加上分光装置, 可得波长在一定范围内可调的激光。更换染料, 可以变调整谐波段。如果再利用倍频措施(用脉冲形式, 以得到高峰值输入功率)更可使波长延至紫外。在腔内加入标准具, 还可按需要提高分辨率。

这种设备已商品化, 在物理及化学研究试验中得到日益广泛的使用。

㉕参量振荡激光器 利用晶体的非线性光学效应, 可得倍频以及波长连续可调的激光。目前主要应用于红外。有商品。

㉖自旋反转拉曼激光 利用电子在半导体中在磁场下的自旋反转, 变更磁场大小, 可得连续可调的拉曼激光。半导体一般是用InSb形成共振腔处于液氮温度。作为激励源用单模 CO 激光器或 CO_2 激光器倍频(用Te作为倍频器)。利用这种激光器适宜于进行红外高分辨率的光谱工作。由于技术上比较复杂, 目前还是实验室装备。波段范围 $5\mu\sim 6\mu$ 连续可调, $9\sim 14\mu$ 间断可调。

除了上述波长可调激光器而外, 新的进展有:

㉗上转换激光器 利用可调染料激光器以及晶体非线性效应或对气体的双光子效应通过倍频、和频等手段, 可得连续可调的紫外波长以及远紫外波长的激光器。据第八届量子电子学会上报导, 最短波长达1570Å。看来有希望做到更短波长, 例如达800Å。另外, 形成