

出国参观考察报告

英国、法国激光科学技术发展概况

科学技术文献出版社

刊登国内、外广告启事

我社出版的科技刊物，学科较全，专业较广。为给国内、外各厂矿、企业、科研单位、大专院校等刊登广告提供方便，决定从即日起开辟广告栏，欢迎选用。

有关刊登广告的具体手续、价目及刊物，详见我社的“承办国内广告业务暂行办法”及“承办国外广告业务暂行办法”。此项业务请直接与我社广告组联系，统一办理。

(社址：北京和平街北口 电话：46局4504)

科学技术文献出版社

一九八〇年四月十日

出国参观考察报告

英国、法国激光科学技术发展概况

(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：787×1092¹/₁₆ 印张：4 字数：97.6千字

1980年7月北京第一版第一次印刷

印数：1—4,550册

科技新书目：166—27

统一书号：13176·79 定价：0.62元

目 录

一、考察概况.....	(1)
(一) 一般情况.....	(1)
(二) 激光器及其物理问题.....	(2)
(三) 激光光谱学和非线性光学.....	(4)
(四) 激光化学和激光在化学中的应用.....	(5)
(五) 激光等离子体物理和激光核聚变.....	(7)
(六) 体会.....	(8)
二、英国大学和科研单位的激光研究工作.....	(8)
(一) 剑桥大学 (University of Cambridge)	(8)
(二) 埃塞克斯大学 (University of Essex)	(13)
(三) 海里奥特—瓦特大学 (Heriot—Watt University)	(15)
(四) 赫尔大学 (University of Hull)	(18)
(五) 伦敦大学帝国理工学院 (University of London, Imperial College of Science and Technology)	(20)
(六) 牛津大学 (University of Oxford)	(23)
(七) 谢菲尔德大学 (University of Sheffield)	(25)
(八) 南安普敦大学 (University of Southampton)	(27)
(九) 苏塞克斯大学 (University of Sussex)	(30)
(十) 卡勒姆实验室 (Culham Laboratory)	(31)
(十一) 国家物理实验室 (National Physical Laboratory, 即NPL)	(33)
(十二) 英国皇家研究院 (The Royal Institution)	(35)
(十三) 卢瑟福实验室 (Rutherford Laboratory) 激光装置中心.....	(37)
三、法国大学和科研单位的激光研究工作概况.....	(42)
(一) 巴黎第六大学 (Université Paris VI) 和高等师范学校 (École Normale Supérieure) 共同领导的赫兹光谱实验室 (Laboratoire de Spectroscopie Hertziennne)	(42)
(二) 法国高等理工学校 (Ecole Polytechnique)	(45)

(三) 巴黎第六大学分子光谱实验室 (Université Paris VI, Laboratoire de Spectronomie Moléculaire) (46)

(四) 巴黎第十一大学(南巴黎大学)光学研究所[Université Paris XI (Université de Paris-Sud), Institut d'Optique] (47)

(五) 巴黎第十三大学(北巴黎大学)激光物理实验室[Laboratoire de Physique des Lasers, Université Paris XIII (Université de Paris-Nord)] (49)

(六) 法国核研究中心等离子体物理和受控聚变部(Centre d'Études Nucléaires de Fontenay-aux-Roses, Département de Physique du Plasma et de la Fusion Contrôlée) (51)

(七) 埃梅·戈登实验室 (C. N. R. S. Laboratoire Aimé Cotton) (52)

四、英国公司 (53)

(一) 相干辐射公司英国分公司[Coherent Radiation(U.K.)Ltd.] (53)

(二) 爱丁堡仪器公司 (Edinburgh Instruments Ltd.) (53)

(三) 派伊—尤尼卡姆 (Pye—Unicam) 科学仪器公司 (54)

附录: 参观单位表 (55)

英国、法国激光科学技术发展概况

中国科学院激光代表团

千福熹 刘颂豪 张存浩

沙国河 杨国桢 吴令安 刘翔声

一、考察概况

根据中国科学院与英国皇家学会商定的1978年学术交流协议,中国科学院应英国皇家学会邀请派出激光考察组于1979年2月13日至3月8日在英国进行了为期三周的参观、考察。回国途中路经巴黎,通过法国科研中心的安排,参观了几个单位。考察组于3月19日返抵北京。整个考察过程经历了35天。现将参观、考察情况报告如下,供有关部门参考。

(一) 一般情况

激光考察组由中国科学院上海光机所、大连化学物理所、物理所和院部三局的七位同志组成。考察目的是了解激光的基础研究情况。考察的主要内容是激光物理、激光化学以及新型激光器。

在整个考察过程中,英、法方面对我们的接待是礼貌的、友好的,一些教授和科学工作者更是十分热情,愿意给我们多讲多看,赠送给我们研究报告,为我们查询仪器和样品规格。

这次在英国,我们访问了九所大学,四个科研单位和三家工厂,共参观了五十多个与激光有关的研究室、组,接触到一百多位博士以上的学者。可以说,基本上看到了英国从事激光基础研究的主要单位,其中著名的有皇家研究院、伦敦大学的帝国理工学院、卢瑟福实验室、剑桥大学和赫尔大学等。

英国的激光研究发展较快,近十多年来,无论是科研队伍的规模、实验室装备优良的程度,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。

过去我们对法国的激光研究了解得很少。这次虽然只是在巴黎参观了五所大学和一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国际上有良好的声誉。

现将两国研究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情況简述于后。

(二) 激光器及其物理问题

就我们所参观访问的单位(英国13个单位,法国6个单位)的情况进行分析,可以看到,英、法两国开展激光器研究有其本身的特点,既不同于美、苏,又有别于日本。首先,他们不象美、苏那样对激光器全面地开展研究,而是有选择地进行工作。他们没有建立起较完整的激光工业体系,在激光研究和供应上较多仰赖于外国,因而激光的基础研究(如激光物理、激光化学)不可避免地受国外激光器发展动向的影响。其次,英、法两国也不象日本那样崇尚实用,侧重技术,而是比较重视基础,还由于历史原因,他们无论在光学还是激光研究上均有较坚实的基础和较深厚的根基。

在参观过程中我们看到许多为开展激光基础研究所需的激光器是从外国购买的,主要购自美国光谱物理公司和相干辐射公司,特别是一些常用的而又在技术上要求较高的激光器如氩离子、钕铝石榴石激光器等,即使某些高功率激光器是自行设计、加工,但元件如钎玻璃、晶体等也是从国外买来的。近年来,他们已察觉到过分依赖国外可能出现的后果,因而打算开展某些常用激光器(如氩、氦离子激光器)的研究并加强原有新型激光器研究的力量。同时一些有条件的单位逐步建立规模较小的工厂生产若干简单的产品。他们这些做法理应引起我们的注意和重视。

在激光器研究方面,英、法两国着重于发现新的激光体系,开拓新波段(真空紫外和X射线激光器),发展综合多个技术参量(短脉冲、窄谱宽、调频范围宽广、频率稳定和输出功率高等)的激光系统,研究各种激光物理参数的测试和实验方法。英国在超短脉冲激光研究上具有特色,无论在锁模机制、脉冲压缩、超短脉冲的测量、测量设备的标定以及超短脉冲激光的应用等方面都取得有意义的成果,在国际上处于先进行列,甚至领先地位。在调频和稳频激光器研究方面,法国有较高的水平,特别是调频激光系统给人以深刻的印象。在这方面,英国也有相当的水平。现就英、法两国在超短脉冲激光器、调频与稳频激光器、大功率激光器和新型激光器的主要工作内容和水平简介如下。

1. 超短脉冲激光器

英国伦敦大学帝国理工学院布雷德利(D. J. Bradley)教授领导的布莱克特(Blackett)实验室在超短脉冲激光研究领域内在国际上是很负盛名的。该实验室最早开展超短脉冲激光研究,也是近年来最早获得亚微微秒脉冲激光的研究单位之一。他们从理论上研究了锁模和压缩脉冲的机制,提出被动锁模准连续近似激光器的理论模型和速率方程动力学。在理论和实验研究的基础上,利用主动锁模氩离子激光器的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,从而可以实现在紫外波段超短脉冲的频率调谐;也可用锁模氦离子激光器泵浦染料激光器在近红外获得超短脉冲(如25微微秒)输出。为开展超短脉冲激光的研究,他们发展了微微秒脉冲的测量技术,将象转换管的条纹照相机改进成为时间分辨率少于1微微秒的测试设备,现已有产品出售。为标定条纹照相机,他们建立了不同脉宽输出的激光器并开展高次倍频的研究(为获得软X射线超短脉冲激光)。除上述系统外,英、法两国还开展脉冲锁模钎玻璃,石榴石和红宝石激光器的研究。以上超短脉冲激光器已用于激光聚变、化学反应动力学、光合作用和其它研究领域中去。可能由于超短脉冲激光器及其测试设备复杂而价昂,在科研工作中的应用仍不甚普遍。

2. 调频和稳频激光器

目前,激光器作为一种先进工具正广泛而深入地应用于各个学科领域,由于研究对象不

同,对激光的要求也有所不同。但是具有普遍性的要求是可调频(许多应用的要求),稳频(特别在计量、通讯和激光光谱等方面的要求)和较高的功率输出,根据研究对象还可能要求短脉冲,窄谱宽和宽广的输出波长和调频范围。在法国多个参量结合在一起的激光系统水平较高,系统中的单元技术也做得比较好。法国国家科研中心(CNRS)埃梅·戈登(Aimé Cotton)实验室建立了一台单模脉冲可调谐的紫外激光器,它是同时用连续和脉冲激光束泵浦染料激光器和放大器的。利用这台激光系统可作为高分辨光谱来研究原子的里德堡态。又如法国在帕莱索(Palaisseau)的高等理工学校的量子光学实验室建立了一台红宝石泵浦多级染料放大的红外调频激光系统,输出功率100—1000兆瓦,线宽 0.07厘米^{-1} ,脉宽2.5毫微秒,调频范围 $0.72\text{—}1.09\text{微米}$ 。利用它与氢作用所得到的受激喇曼散射可实现从 $0.72\text{—}7.7\text{微米}$ 波段的连续调谐。在法国和英国,调频激光器的种类很多,有用各种激光器(如 Nd^{3+} :YAG, 钕玻璃, Al_2O_3 : Cr^{3+} , Ar^+ , Kr^+ , N_2 等)或闪光灯泵浦的染料调频激光器(连续或脉冲),有用参量振荡、放大高次谐波、受激散射来实现调频的。值得提出的是半导体调频激光器,英国某些学者认为这是很有发展前途的器件。英国海里奥特—瓦特(Heriot—Watt)大学史密斯(S. D. Smith)教授是自旋反转喇曼激光器创始人之一。这类器件由于使用低温和强磁场而未能得到广泛应用。

稳频激光器多用于计量和激光光谱研究。英国国家物理实验室用碘稳频He—Ne激光器的633毫微米辐射波长作相对长度标准,重复性可达 3×10^{-11} 。也进行了甲烷吸收的He—Ne激光的 3.39微米 的稳频研究。英国剑桥大学卡文迪许(Cavendish)实验室利用 CO_2 吸收气体的荧光来实现 CO_2 激光器的稳频,重复性做到 $10^{-9}\text{—}10^{-11}$ 。法国北巴黎大学的 CO_2 稳频激光器其重复性可达 10^{-12} 。巴黎第六大学为开展分子光谱研究把稳频氙离子激光器的重复性提高到 10^{-14} ,在国际上水平是很高的。

3. 大功率激光器和新型激光器

用于激光聚变和激光与等离子体相互作用研究的大功率激光器主要有钕玻璃激光器, CO_2 激光器和电子束激励的气体激光器与新型激光器。

钕玻璃激光器在技术上比较成熟,在法国已有工厂生产。但激光系统中的钕玻璃和晶体都是从国外买来的,器件的设计,排布和单元技术主要也是模仿美国的。英、法两国在我们曾参观的单位中以卢瑟福实验室的钕玻璃激光系统最为突出。现有的三路激光系统是1977年末建成的,输出功率0.5兆瓦,脉宽100微微秒。他们准备把现用的硅酸盐玻璃,换上磷酸盐玻璃,据估计输出功率可提高一倍。利用钕玻璃激光的二次谐波(0.53微米)来进行打靶实验据说有较好的结果。他们对激光系统的调整,光束质量的监视等工作很重视。如在系统的中部装有监视预脉冲的装置,用二个硅光二极管检测并通过计算机在电视屏中显示出预脉冲的形状和幅度,同时能把曲线马上复制出来。今后对于钕玻璃系统一方面是提高单路器件的水平(如改用磷酸盐玻璃,改进激光器,特别是振荡器的设计和改进某些技术单元等),一方面是建立多路激光系统,如卢瑟福实验室正安装六路装置(输出功率3兆瓦)。

利用 CO_2 激光系统来进行与等离子体相互作用的实验在英、法两国特别英国是比较普遍的;英国的卡勒姆(Culham)实验室建立了一台输出1—2千焦耳,脉宽1—2微秒的 CO_2 激光装置。他们对于 CO_2 和其它气体激光器的优越性是抓住不放的。为此,开展激光体系的基础研究,如脉冲横向激励系统获得极高功率的途径,电子束,紫外预电离技术用于高增益,大体积放大器以及锁模技术的研究等,还用计算机程序来研究激光器的重要特性。

电子束激励的新型激光器如准分子激光器,稀有气体激光器,硒激光器等都是既作为探

索新的激光体系,同时又是作为激光聚变研究的候选者而进行研究的。

在研究激光与等离子体相互作用过程中,他们注意研究各种元素的X射线谱(如C、Al、Co、Ni、W等)目的是寻找实现X射线相干辐射的技术途径。如赫尔大学从亚毫微秒激光与固体打靶作用产生的等离子体中研究在真空紫外和软X射线波段的粒子数反转和激射作用。

为托卡马克装置诊断等离子体(低等离子体密度 $\sim 10^{14}$ 厘米 $^{-3}$)发展了多种远红外激光器,如法国原子核研究中心等离子体物理和受控聚变部建立了HCN远红外激光器(输出波长337微米,功率150毫瓦),利用这台激光器装成一个8通道的干涉仪来测量托卡马克装置产生的等离子体的电子密度,相应地建立了DCN气体放电远红外(波导)激光器输出波长有:189.95微米、190.01微米、194.70微米、194.76微米,连续输出功率可达250毫瓦,最高400毫瓦。此外还建立了CO₂泵浦的CH₃F(波长394.2微米),D₂O(66微米、114微米、385微米)和HCOOH(428微米)、CH₃OH(118.8微米)远红外激光器,其中某些激光器已有产品出售。

(三) 激光光谱学和非线性光学

激光光谱和非线性光学的研究是激光领域里最重要的基础研究之一。它与原子物理、分子物理、等离子体物理、材料科学、化学等学科有着密切的联系;它的进展与突破直接影响着激光分离同位素、新型激光器的探索、材料研究、大气污染检测、激光聚变、精密计量等重要领域的进展和突破。在英法两国我们参观的单位中,绝大多数都开展了激光光谱学或非线性光学的研究工作,主要包括原子光谱、分子光谱、固体、液体、气体和等离子体的光散射、非线性光学,新型激光器的探索,计量和基本物理实验等方面的工作。

许多单位都开展了高分辨率原子光谱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。其中法国巴黎第六大学的赫兹光谱实验室工作比较出色,它们是世界上最早进行双光子光谱实验的单位之一,此类工作目前还在进行。他们在里德伯(Rydberg)原子能级结构、塞曼效应和斯塔克效应的研究上也有较高水平。

激光用于高分辨率分子光谱研究。法国北巴黎大学的激光物理实验室建立了线宽极窄的CO₂调频激光器,用来进行SF₆和OsO₄超高分辨率光谱研究,分辨率达到了几千赫。英国海里奥特—瓦特大学用CO₂激光器,得到了SF₆吸收截面与时间的依赖关系,这些都是比较好的工作。这些工作与激光分离同位素有着直接联系。

除激光光谱外,用大型光栅光谱仪和傅里叶变换光谱仪进行分辨率较高(10^{-2} 至 10^{-3} 厘米 $^{-1}$)的传统光谱研究尚在少数几个单位继续进行。例如法国埃梅·戈登实验室用傅里叶变换光谱仪得到了铀235和铀238的同位素光谱,分辨率约为 10^{-3} 厘米 $^{-1}$ 。

英、法两国利用激光在物质上的喇曼散射和布里渊散射进行了大量的研究工作。一种类型工作是利用气体的喇曼散射得到红外的调频光源,法国高等理工学校的量子光学实验室工作比较突出,他们利用染料调频激光在H₂和HIF中的受激喇曼散射,得到了一种较强的脉冲红外调频光源。另一种类型的工作是利用激光散射进行固体、液体、等离子体性质的研究,这类工作极为普遍,到处可见,成套仪器设备可以在市场上买到,已成为研究物质性质的有力方法。

非线性光学方面,倍频和混频技术已经成熟,广泛地获得了应用。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经开展。

激光物理的研究工作和新型激光器的探索密切相关。英国的赫尔大学和法国的高等理工学校都利用强激光产生的等离子体研究其X射线的谱分布,以及观察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射线激光器无疑是必要的。从参观中可以看到,原子、分子光谱和非线性光学某些研究成果,往往直接用于红外调频激光器、准分子激光器和超短脉冲激光器的发展。

此外,激光用于计量和基本物理实验方面,两国也做了一定的工作。例如:英国国家物理实验室的科研人员用高度稳定的 CO_2 激光器测定光速,精度达到 10^{-9} ;他们用调频激光器测定里德伯常数,精度达到 10^{-8} 。英国牛津大学的一个小组,用激光测量原子中弱相互作用(宇称不守恒)的贡献,以判断目前流行的魏因贝格—萨拉姆(Weinberg—Salam)理论是否正确。

我们感到英、法两国在激光物理研究在其主要发展方面都达到了一般国际水平,但两国各有特点,并不求全。一般说来,英国的超短脉冲技术,红外激光器和激光化学研究水平较高。法国在原子光谱,分子光谱方面研究水平较高。

(四) 激光化学和激光在化学中的应用

在英国和法国,我们看到在化学的基础研究和应用性研究中,激光都日益成为广泛使用的有力工具。激光选择引发化学反应的工作正在深入,同时化学也为新型激光体系的发展作出贡献。考察证实:由于激光能够快速、准确、集中地提供反应能量以及能够对化学体系提供高分辨、超灵敏和超快速的信息,激光对整个化学进一步成为一门精密科学,应起不可缺少的作用。因此,在化学研究中广泛地使用激光已经成为一种极其明显的趋势,并应作为我们使化学学科赶超先进的一项重大措施。

首先,以调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。这种方法,以 10^{-6} — 10^{-9} 秒的分辨率用于气相小分子,是微观反应动力学—选态动力学的主要实验手段,而以 10^{-9} — 10^{-13} 秒的分辨率用于液相大分子,则有力地推动了光合作用等生化反应的研究。例如,英国皇家研究院乔治·波特爵士(Sir George Porter)最近研究了红藻吸收光子的机制。在60~180微微秒内依次有四种染料发生530~685毫微微秒的荧光,能量依次转移到发射较小光量子的染料,最终达到叶绿素—A。他们研究的另一套锁模脉冲激光器,脉宽已达到1.3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,最终阐明光合作用的机制。谢菲尔德大学化学系德文希尔(R. Devonshire)则正以6微微秒的染料激光研究吡啶的荧光衰变。

气相小分子的振动—振动,振动—转动,乃至电子—振动传能过程的研究,关系到分子和化学激光的激射机制,多年来以激光感生荧光法数据最为准确。法国巴黎第六大学分子光谱研究室亨利(Henry)和马尔戈坦—麦克洛(Margottin-Macloz)等多种二原子分子和三原子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,含氢分子的转动对传能的贡献,近共振传能能量差额大时需要的高级微扰处理等问题,可惜尚未涉及高振动量子态的传能和弛豫。

剑桥大学和牛津大学的物理化学系除分子间V—V, E—V传能研究外,还用激光闪光光解法研究自由基F·、NO·、OH·等的反应动力学,化学激光新体系的研究仍在积极进行。大气化学是一个主要的研究目的。剑桥大学的思拉施(B.A. Thrush)详细研究了导致大气中臭氧减少的

若干自由基NO, H, OH, Cl 等的生成和消灭反应, 测量了辐射寿命, 猝灭机理, 各能级衰变, 反应速率常数等, 结论是氟利昂的氧化分解产物在大气中极为有害, 而NO₂基则无妨。

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。在曼彻斯特(Manchester)的格赖斯(Grice), 牛津大学的霍华德(B. J. Howard)以及南巴黎大学碰撞研究室等都有这种装置。巴黎第六大学赠送的论文有详细图片和资料。苏塞克斯大学麦卡弗里(A. J. McCaffery)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一层信息以及传能过程中磁量子数变化的新选择定则。

在新型激光体系方面, 帝国理工学院哈钦森(M. H. R. Hutchinson)根据激发态Xe*和碱金属Cs的相似性, 设计和实验了用 $\text{Xe}^* + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{XeOH}^* + \text{H}$ 的反应产生XeOH*的新准分子体系, 已得到234毫微米的发射带。剑桥大学的思拉施(Thrush)一般地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的Se-489毫微米可见激光体系, 激发态Se*来自ArF*激光对羰基硒COSe的光解。据称用于激光核聚变有重大优点。牛津大学的韦布(Webb)用ArF激光光解NaBr蒸气, 得到589毫微米的Na激光。激发此类原子共振线, 可制成许多高亮度的原子灯。

高灵敏度和高分辨率的激光光谱学在化学上得到了广泛的应用。南安普敦大学和剑桥大学把激光磁共振用于自由基的转动和振动光谱, 取得了高分辨和灵敏度(10^8-10^{10} 分子/厘米³)的谱线数据。南安普敦大学卡林顿(A. Carrington)调节离子束速度, 取得H₂⁺, O₂⁺, CH₄⁺等许多离子的多普勒调频激光光谱, 方法颇为巧妙。目前又将此装置改装为离子荧光光谱。剑桥大学等处已装备了美国激光分析仪器公司(Laser Analytics)的红外调频二极管激光光谱仪, 分辨率达10⁻⁴/厘米量级, 不但可用于结构分析, 而且已用于动力学研究。南安普敦大学贝蒂(Beattie)用CARS判断多种无机晶体的结构, 取得一些结果。

爱丁堡海里奥特-瓦特大学用吸收光谱、荧光光谱和光声光谱同时研究I₂, 称为“三重光谱”。对有弱的预解离现象的分子体系可避免许多疑难, 得到肯定的结论。

用激光进行大气污染遥测在国防和民用上都是必不可少的先进手段, 我们在赫尔大学和南安普敦大学看到这方面的工作。赫尔大学用两台选线、单模、稳频CO₂激光器, 使返回的散射信号和本机振荡信号进行外差检测, 数字化后以小型计算机处理。可检测臭氧、乙烯、氯乙烯等分子, 预计作用距离8公里, 装置正在调整中。

多光子解离过程在英、法都有研究。我们侧面了解到分离铀同位素的工作在英、法两国原子能机构: 哈威尔(Harwell)和萨克莱(Saclay)都在紧张地进行。在海里奥特-瓦特大学, 我们看到了理论模型计算, 他们测量了SF₆吸收截面随时间的变化, 并积极准备以短脉冲的强选线对SF₆和OsO₄等进行新的实验, 发展了光泵12.7微米氦激光器, 并开展四波混频产生16微米激光的工作。赫尔大学比较了2.7微米, 3.8微米和10.6微米光量子对一些简单分子的多光子效应。法国赫兹光谱实验室莱曼(J. C. Lehmann)准备研究一些包括小非谐性弱键的范德瓦耳分子(如I₂-Ar), 可使大量能量集中在一个模式或一个键上, 而不会很快弛豫。北巴黎大学希尔曼(Schermann)设计并实验了利用SF₆振动激发态与里德伯态的Ar作用, 形成SF₆⁻负离子。这种离子不同于SF₆分子, 只需极少数光子, 乃至单光子即可解离。预计, 只用1瓦的连续CO₂激光即可分离SF₆同位素, 这是一种崭新的概念。

HF/DF及卤化氢化学激光的小型器件, 在赫尔大学水平最高。光束质量极接近衍射极限, 亮度达到 8×10^{12} 瓦/厘米²·球面度, 并进行了大气击穿和多光子解离过程的研究。在剑桥、埃塞克斯和巴黎第六大学分子光谱研究室都有小型科研用卤化氢器件。我们听到在罗

尔斯·罗伊斯 (Rolls Royce) 公司有连续化学激光研究工作, 在法国马赛某研究室有超音速连续波HF激光装置。

总的说来, 英、法对激光用于化学的研究工作, 已具有较广泛的规模, 并正处于急速发展的阶段。某些新概念和新实验方法可以认为具有世界先进水平。虽然就其当前的广度和深度而言, 较美国尚有一定的差距, 但比我国则大大领先。

(五) 激光等离子体物理和激光核聚变

近年来英、法两国在激光核聚变方面的工作发展较快也较大。法国搞得较早, 花的力量也较大, 从早期激光单路打含氘材料获得中子到近年多路激光打充气微玻璃球获得压缩, 在国际上仅次于美、苏。主要工作在里梅尔 (Limere) 原子能中心进行, 这次未能看到。法国帕莱苏高等理工学校的激光等离子体实验室不到二年时间已建立起0.3兆兆瓦的单路钹玻璃大功率激光装置, 进行了不少激光等离子体相互作用的基础试验, 目前正扩建成两路进行压缩试验, 实验室投资在1千万法郎以上。

英国在近几年急起直追。卢瑟福实验室的激光装置中心是近两年建立的国家规模的激光核聚变实验中心, 由英国科学研究委员会 (Science Research Council) 组织全国性的玻璃激光器科学计划委员会进行发展和实验安排。已建立0.5—1兆兆瓦的两路大型钹玻璃激光装置并有先进而齐全的光学、等离子体和核物理测试和数据处理装置, 进行了很多单路的研究 (如吸收机理、能量平衡、界面不稳定性、谐波的产生、等离子体磁场、热电子转移、各种散射) 和两路激光核聚变爆炸推进型和消融型压缩实验, 目前在进行的消融型聚爆实验的设计和测量上有自己特色的工作。如用87个大气压充Ne气的玻璃微球 ($\phi 66$ 微米, 厚1.3微米), 消融型压缩达到固体密度2克/厘米³, 首先建立X光阴影法测量高密度的等离子体压缩过程。今年要修改成输出功率为3兆兆瓦的六路装置, 同时已建立1.5兆伏, 60千安的高能电子束装置, 大力探索新型激光器的体系, 如正在做Se原子激光等。英国有4—5个大学物理系和实验室内有10—100千兆瓦的大功率钹玻璃激光器和0.1—2千兆瓦的大功率CO₂激光器装置, 进行激光等离子体的基础实验和等离子体X光线谱研究工作, 如埃塞克斯、赫尔、海里奥特—瓦特大学、帝国理工学院等还分别在Al (VI) 及碳 (V) 测定增益和负温度等。英国卡勒姆实验室建立了大功率CO₂激光器 (1—2千焦耳, 1—2微秒) 进行激光加热等离子体与磁约束 (如仿星器) 相结合的实验, 是有特点的。英国在大学 (如赫尔、海里奥特—瓦特、贝尔法斯特、格拉斯哥大学) 和国家实验室 (卢瑟福和卡勒姆) 建立了一维平面靶的数值模型编码和二维三温度流体力学模型, 此外还有拉格朗日与欧勒的编码和其他光学和等离子体物理的计算编码。

根据参观考察和交换, 一般认为激光核聚变能否作为受控热核反应的能源是一个有争议而长远的目标。目前是处在基础实验和判断阶段而不是工程试验阶段。各国大力发展大功率激光系统和进行大型的激光核聚变的实验的近期目的, 在国防建设上主要是进行激光核爆炸模拟的试验, 因而有些实验室 (如法国里梅尔) 或实验室的某些方面 (如靶的设计和制备, 聚爆模型的编码以及总体实验结果等) 是保密的。激光核聚变装置同时为高温、高压、高密度等离子体物理开辟了道路, 并提供了开展等离子体物理和原子光谱 (远紫外和X光谱) 比较简便有效的途径, 在国内应引起重视。在激光和等离子体的诊断、制靶和靶的设计以及总体和数据处理方面, 我们和国外有较大的差距。

与美、苏相比，在英、法两国我们见到激光核聚变装置还是属于中等规模的（美国已建成并运转的钕玻璃大功率 SHIVA 装置为20路，输出20兆瓦）。所以估计在激光核聚变领域，不可能有重大的里程碑性质的突破。但是由于重视基础研究和基础实验的积累，有可能在某些项目上做出有自己特色的具有国际先进水平的成果（如在X光线谱研究、探索X光激光器以及聚爆的理论、实验和诊断方面）。

用于激光核聚变的大功率激光系统，钕玻璃激光器已趋成熟，法国抗特尔（Quantel）CILAS（C·G·E）和美国ILC公司都有成套的产品。钕玻璃激光器的光束质量较高，目前倍频和四倍频效率较高（分别为50%和20%），可以做短波长的试验。所以作为实验装置目前各国还是主要发展和装备钕玻璃大功率激光系统，有力量也在发展大功率CO₂激光器，但这目前还处于较低靶面功率密度的试验。较长脉冲（微秒）的大功率CO₂激光器由于激光转换效率高，运转费用较低，可以和磁约束等离子体结合使用，会有新的特色。在新型大功率激光器的研究方面，目前主要是探索新的工作物质体系（波长在0.25—0.5微米，脉冲0.1—10毫微秒， $\eta > 1\%$ ，每秒重复几次，储能高，运转方便等），进行一些原子、离子和准分子体系的光谱、发光、碰撞物理和反应动力学方面的研究。国外激光装置的价格高昂，例如激光钕玻璃只有美、日有产品，每公斤毛坯约2000美元，所以应该加强从材料、元件、单元技术到器件的技术基础，建立我国的激光工业，在这基础上进一步发展大功率激光系统，进行靶面功率密度高（ $> 10^{16}$ 瓦/厘米²）的激光核聚变物理实验。

（六）体 会

经过英、法两国的考察，我们感到激光这门科学技术的发展速度一直有增无减。它不仅在军事上和工业上有广阔的应用前景，而且开始成为现代科学研究的一种先进工具。

我国的激光研究进步虽早，但后来的差距拉大了，现在远不如美苏，与英法也有一段差距。但是我们相信只要奋发图强，经过一段时间的努力，在一些主要方面进入世界先进行列是可能的。为此，我们必须加强组织领导，统一规划，合理安排；我们一定要把激光器抓上去，以满足实现四个现代化的需要。我们应通过多种方式其中包括加强与国外的学术交流，派出一批水平较高的科研人员到英、法两国有关单位参加研究工作以提高我国激光科技队伍的水平。鉴于国内生产的激光器要真正过关还需有个过程，建议近二、三年内从国外少量进口一些科研用的高水平激光器和测试设备，这也可同时为提高激光单元技术水平所借鉴。此外，我们应提倡在科学实验中广泛使用激光技术，从而促进激光与其它学科之间的交叉渗透。

二、英国大学和科研单位的激光研究工作

（一）剑桥大学（University of Cambridge）

物理化学系

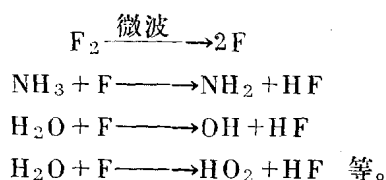
我们参观了与激光有关的四部分工作：1. 磁共振光谱和动力学；2. 自由原子的反应动力学；3. 激发态分子的反应动力学；4. 动力学光谱。现分述如下：

1. 磁共振光谱和动力学

该组由B. A. Thrush教授领导, 有研究人员11人 (其中有6名研究生)。他们从事自由基和分子离子的光谱、结构及其化学反应的研究。用激光作为主要研究工具, 包括激光磁共振(L. M. R)技术, 离子束激光光谱以及激光荧光等。

南安普敦大学的Carrington搞的是中红外的L. M. R, 而这里搞的是远红外L. M. R。它们的原理和电子顺磁共振(E. P. R)是一样的, 即利用顺磁性分子的塞曼分量间的跃迁和固定频率的激光共振吸收。但E. P. R用来研究轻元素的和不稳定的自由基很困难, 因为它的灵敏度低, 而吸收光谱又处于亚毫米波段, 用微波很难。使用L. M. R, 灵敏度增加几个量级, 因为爱因斯坦吸收系数正比于频率。

所用的远红外激光器可以是放电激励的或CO₂激光光泵的。用放电激励的装置见图2.1-1。吸收池放在激光谐振腔内, 这样可大大增加测量的灵敏度。吸收池和激光放电区之间是用聚乙烯的布鲁斯特角窗分开的。吸收池内气体是流动的, 用微波放电产生F原子, F原子与分子反应可得到所需的自由基:



磁场的变化范围0—20千高斯, 频率的调谐范围随情况而不同, 在最有利的情况下可调2/厘米, 这种L. M. R的灵敏度对OH为10⁸分子/厘米³, 而对HO₂为10¹⁰分子/厘米³。

但是, 用电激励的远红外激光谱线较少 (H₂O只有4条线, D₂O只有3条线), 这样得到很少的转动谱, 不能作完全的结构分析。用CO₂激光器可泵浦H₂O, D₂O, CH₃OH, CD₃OH, CH₂F₂, CH₃F, CH₃NH₂, HCOOH等各种分子, 可以得到100条以上的远红外线, 所用CO₂激光器为Edinburgh Instruments之连续CO₂激光器, 单线输出25瓦。测得了NH₂自由基在能量低于300/厘米的几乎所有转动线, 从17个转动线的分析求得了分子的转动, 变形和自旋—转动常数以及¹⁴N和¹H核的各向同性和各向异性超精细耦合参数。

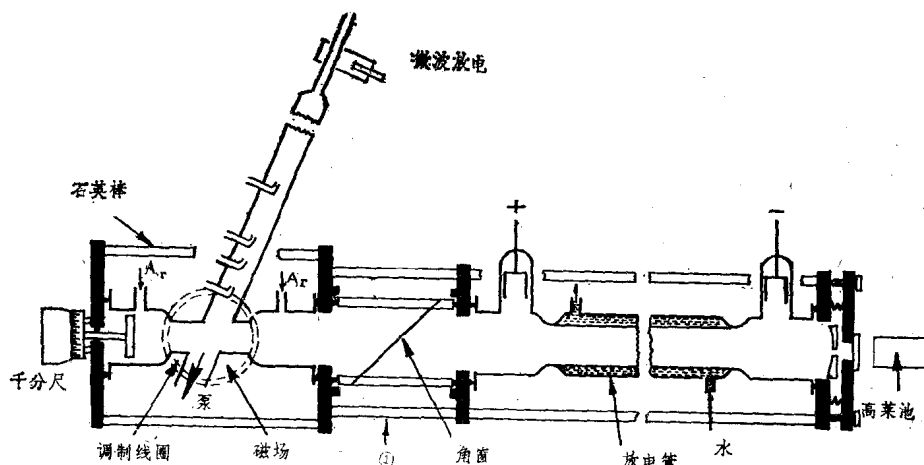
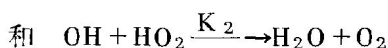
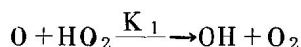


图 2.1-1

①殷钢

运用L. M. R技术还可以测定自由基之间的反应速率:



这两个反应的速率控制着高层大气中OH的浓度 ($[OH] \propto (K_1/K_2)^{1/2}$), 近年来提出了高空飞机排出的氮的氧化物和大量使用卤代烷烃(氟利昂, 用作冷冻剂和喷雾剂)对同温层臭氧的破坏问题, 而臭氧(O_3)的减少将导致地面紫外线的增强和生态的变化, 这里OH基的浓度对了解 O_3 的破坏机理很重要。一方面OH和 NO_2 反应可生成相对不活泼的 HNO_3 (它可由下雨返回地面), 但另一方面又使不活泼的HCl(由 $Cl + CH_4$ 反应产生)返回到活泼的Cl原子。在这个实验室用L. M. R技术已测得 $K_1 = 3.53 \pm 1.0 \times 10^{11}$ 厘米³/分子·秒, $K_2 = 5.1 \pm 1.0 \times 10^{11}$ 厘米³/分子·秒 ($T = 293^\circ K$ 时)。通过对有关的一系列基元反应的研究和计算, 得到的结论是: 高空飞机的喷出物不致积累, 不影响 O_3 , 但是卤代烷烃却是积累的, 按现在的使用量, 100年后将使同温层中 O_3 减少15%, 这是值得注意的问题。

2. 自由原子的反应和动力学

该组由D. Husain博士领导, 有研究人员5人(其中4人为研究生)。他们利用共振吸收和荧光对自由原子的反应和猝灭进行时间分辨研究。

时间分辨共振荧光光谱研究的实验安排如图2.1—2所示。

用高能光脉冲将原子从基态激励至激发态, 然后探测随时间而变化的荧光强度。

荧光强度可表示为:

$$I = \frac{\phi A n m [X] e^{-K' t}}{(1 + K(R)) (A n m)}$$

$$\text{其中 } [X] = [X]_0 e^{-K' t}$$

$$K' = K(R)$$

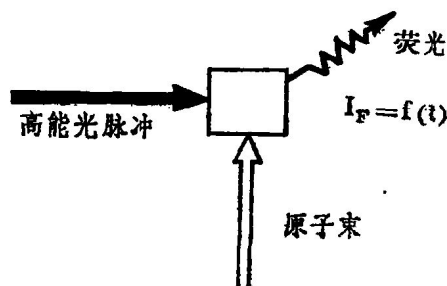


图 2.1—2

利用时间弛豫, 它是实时测量, 并以爱因斯坦系数作为内部示踪来测高密度气体, 此时出现辐射的陷井现象, 使光速减慢, 这可用扩散理论处理, 为避开逸陷现象可用低密度气体来进行实验。

他们利用这种方法对各种原子包括多态原子进行研究。其中研究了IV族元素C, Si, Ge, Pb, V族元素N, P, As, Sb, Bi和VI族元素Cl, Br, I的时间分辨共振荧光光谱。

所用光源是等离子体Q箍缩发出真空紫外强光, 最强波长落在1200埃。用微波激发产生原子束。

3. 激发态分子的反应动力学

该组由I. W. M. Smith博士领导, 有研究人员11人(其中研究生6人)。

他们研究背景为大气化学和气体激光器的工作机制。大气化学中有些反应是一个自由基加一个分子, 如 $ClO + NO_2 \rightarrow \dots$, 这类反应的速率常数已能测量, 另一类是两个自由基间的反应, 如 $O + OH$, $N + OH$ 等, 这类反应难于研究, 尚未成功。

研究方法为在流动系统中采用(a)闪光光解, (b)微波激励, (c)激光闪光光解, 分述如下:

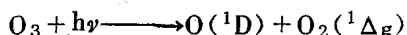
(a) 水蒸汽用闪光灯分解, 用共振荧光观察OH随时间变化。

(b) 空气用微波解离, 得O原子, $O + NO \rightarrow NO_2^*$, 测量荧光。水也可用微波分解,

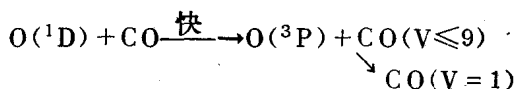
以He为载气,管镀银,荧光经滤光片后,以光电倍增管检测。

(c) 以Chromatix CMX—4闪光灯泵浦的染料激光为闪光光源。单脉冲1—10毫焦耳/脉冲,重复频率5—25赫,脉宽0.3微秒,线宽0.1—0.2/厘米,可倍频输出。

臭氧光解用 $\lambda = 275$ 毫微米,用调频激光是浪费。



然后研究E—V传能



还研究 $\text{CO}(V = 1) + \text{O}_3 \longrightarrow \text{CO}(V = 0) + \text{O}_3$

跟踪红外荧光的衰变。衰变常数K随 O_3 分压成线性变化。也研究了 CO_2 , OCS , N_2 的影响。

研究了 $\text{O} + \text{OCS} \longrightarrow \text{CO} + \text{SO}^*$ 的紫外化学荧光,准备发展为一个化学激光体系。

研究V—V传能

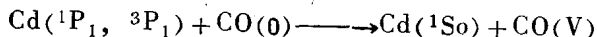


取1000次实验的积累值在计算机上处理,求速率常数。

参观了一种新型傅里叶变换光谱仪,为法国Connes所设计,称为SISAM光谱仪,原理介于干涉仪与光栅光谱仪之间。可用以作类似Polanyi的红外化学发光的工作。波长范围小于5微米,分辨率相当高,达 $\lambda/5$,可用于 CO , NO , H_2O , 异丙醇等小分子。

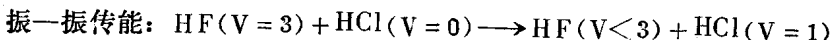
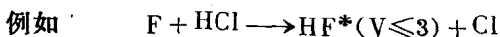
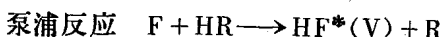
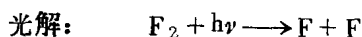
在Jones博士的实验室中有一个近似分子束的装置,研究 $\text{N} + \text{O}_3$ 的反应。

Renely博士用铜蒸气(250°C)研究E—V传能,Cd用闪光灯激励。



$\text{CO}(V)$ 用一个选线连续CO探测激光器来探测,激光器在液氮中工作,内充 N_2 +少量 CO , $V = 0-30$,用光栅选频,使一条一条的单线通过反应池,观察放大率。

另有一组实验是针对卤化氢激光体系的,有 DCl , DBr 的小激光器,输出能量为1毫焦耳,研究 HX 和 HCN 的传能,一般说,这种体系传能速度很快,有可能得到 HCN 激光。另外,研究F原子泵浦的化学激光。 F_2 来自British Oxygen公司,含3% F_2 , 97%He,以2860埃闪光光解。



用 $\text{HF}^*(V)$ 的泛频化学发光(红光)来探测其粒子数。

最后,在Smith博士实验室中参观了由南安普敦大学和J. K. Lasers公司(在拉格比(Rugby))合作研制的光参量振荡器,泵浦用0.3焦耳/脉冲,TEM₀₀模的钽玻璃激光器JK 2000型)调频范围为1.35—3.8微米,价3.3万英镑。

Smith属剑桥Christ College,近著微观反应动力学一书,已付印,当时说1979年出版。另有半经典轨道的反应动力学计算论文多篇,未向我们介绍。

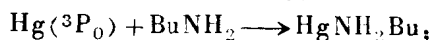
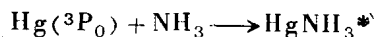
在Smith旁边的P. B. Davies博士的实验室里,看到了新装备的美国Laser Analytics公司的红外调频二极管激光光谱仪,分辨率达 10^{-4} /厘米量级,不但可用于结构分析,而

且已用于动力学研究。

4. 动力学光谱

由A. B. Callear博士领导, 目前进行汞的受激准分子研究。

进行了汞的受激准分子 HgNH_3^* 和 HgNH_2Bu (Bu为丁基) 位能曲线和寿命的测量工作。准分子通过下列方法得到: (1) 汞原子(蒸气)处在基态 S_0 , 用闪光灯把它泵浦到激发态 3P_1 , 即 $\text{Hg}(^1S_0) + h\nu(2537\text{埃}) \rightarrow \text{Hg}(^3P_1)$; (2) $\text{Hg}(^3P_1)$ 激发态通过与分子(N_2 , NH_3 , BuNH_2 等)碰撞到达激发态 $\text{Hg}(^3P_0)$; (3) $\text{Hg}(^3P_0)$ 激发态再与上述分子碰撞形成了受激准分子, 即:



(4) 受激准分子是不稳定的, 最后跃迁到基态, 同时放出光子, 例如 $\text{HgNH}_3^* \rightarrow \text{Hg}(^1S_0) + \text{NH}_3 + h\nu$, 此过程寿命约为2微秒。

物理系(卡文迪什实验室)

该系主任为B. Pippard(皮帕德)爵士, 实验天体物理部分由A. H. Cook教授领导。参观介绍的研究工作如下:

1. CO_2 激光组

R. J. Butcher博士正在建立 CO_2 调频和窄线宽的激光系统, 准备开展高分辨率激光光谱和非线性光学的工作。

激光系统由稳频 CO_2 激光器和波导 CO_2 激光器及其他电子学系统所组成, 稳频 CO_2 激光器是通过 CO_2 气体荧光池产生误差信号, 然后, 借压电陶瓷来调整腔长来实现稳频的。波导 CO_2 激光器用作调频, 波导管用氮化硼制成, 管截面面积1.6毫米², 最佳气压100托, 调频范围 $\omega_0 \pm 500$ 兆赫。该系统的方框图如图2.1-3所示。目前, 波导 CO_2 激光器已做出来了, 整个系统尚未完成。

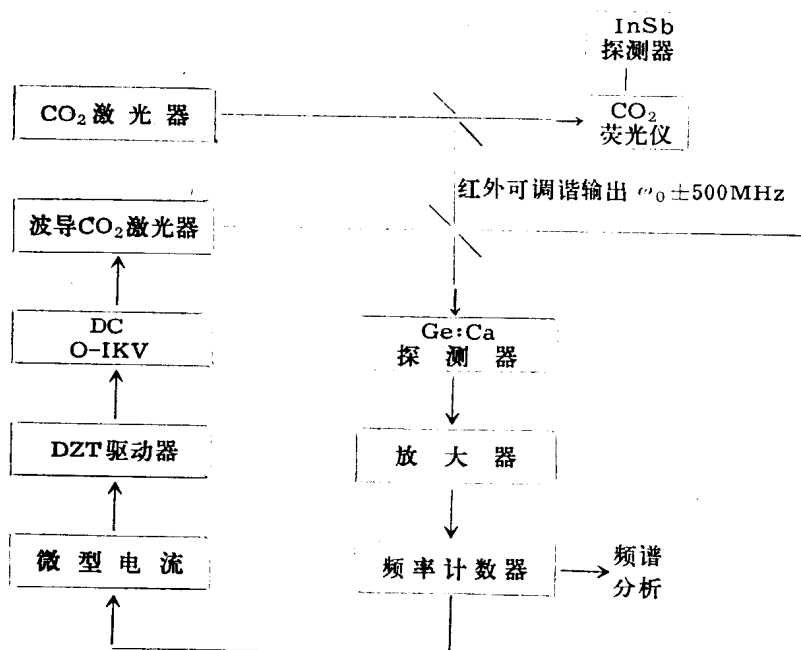


图 2.1-3

2. OH激光器小组

C. Javanaud 博士介绍了他们在研究的OH 激光器, 用真空紫外波段的氮和氢激光光解水得OH, 考察OH是否反转。例如用兆瓦级、0.5毫微秒脉宽、160毫米的氢激光照射微波腔中的水, 监测激光跃迁和有无反转。

研究的目的是为了探讨星际空间某些星球形成时OH散射的过程。

3. 固体物理和化学室, 喇曼光谱组

负责人是梁维耀 (W. Y. Liang)。

使用的喇曼光谱仪是法国进口的 (Coderg, France)。据介绍, 这种光谱仪光学设计较好, 有三个光栅, 但机械部分设计不够理想, 这种类型的光谱仪已停止生产。光源是Ar 离子激光器, 功率约为5瓦。光谱仪部分为单色仪、相敏检测器和光子计数器。全套仪器价格(激光器和光谱仪)约为2万5千英镑。他用此仪器作金属和半导体声子谱的研究工作, 例如进行了室温和低温(77°K)下 SnS_2 和 SnSe_2 喇曼散射谱的研究, 以及加压下层状结构物质(如碳等)声子谱变化的研究, 压力可加到8万大气压。除用光学方法外, 梁本人还用电子散射的方法研究固体的性质。

4. 高能物理室

我们只参观了用激光操作的粒子径迹自动显示仪。

在高能物理实验中, 为了测得各种基本粒子的径迹, 需从气泡室三个方位照得粒子径迹的照片, 然后把每张照片上粒子径迹的座标精确地测量出来, 再用计算机合成三个方位的座标, 便得到粒子径迹的立体图象。该组研制的粒子径迹自动显示仪的功能如下: 把一束聚焦激光扫描, 如果遇到一条粒子径迹, 激光束会自动跟踪此径迹, 并把测得的数据送到计算机存贮起来。这种仪器已正式在实验室使用, 加快了高能实验数据的分析工作。

(二) 埃塞克斯大学 (University of Essex)

该校物理系系主任为R. Loudon教授。下分固体物理、地球物理、等离子体与激光和理论物理四部分。

固体物理部分与激光有关的有:

量子化学, 在职人员有M. F. Kimmitt 博士及Ridley 博士等, 科研人员总数10人。广泛研究强激光辐照下半导体的性质, 所用的激光器有 CO_2 、CO、HCl、HBr、HF、 H_2O 和Nd-YAG; 而感兴趣的半导体有Ge、Si、GaAs和GaP; 所研究的现象有光子牵引、光子整流、双光子吸收、带间光电导、杂质的光离化、非线性吸收以及有各种散射机理对光激发电子和空穴的分布函数问题。开始时主要进行实验工作, 而理论工作也在本组进行。

等离子体和激光部分: 在职人员有T. P. Hughes 先生, T. A. Hall 博士等, 科研人员总数为13人。研究高功率 CO_2 和锁模钕玻璃激光器产生等离子体; 强光与高密度等离子体的非线性相互作用; 利用汤姆逊散射, 光谱和其他技术来研究等离子体。部分人员参加卢瑟福实验室的研究工作。还有高功率HF激光器、波导激光器、亚微米激光器和锁模大气压 CO_2 激光器。

理论物理与激光有关的部分:

(1) 量子光学

在职人员有R. Loudon教授, 科研人员总数2人。研究光子相干性质对非线性光学过程