

激光光谱

激光光谱学的进展

中国科学院安徽光机所

把激光引进光谱学,开拓出一个崭新的研究领域——激光光谱学,它是深入认识微观世界的重要工具和一些技术应用的重要基础。

激光具有高单色性、高强度、高方向性等特点,又可产生超短脉冲。激光同物质相互作用出现一些非线性效应,依此可创建出新的光谱技术,观测并研究过去实际上是无法研究的重大课题:原子和分子的各种细致结构以及它们内部的瞬变过程。

饱和吸收光谱和双光子吸收光谱都是无多普勒光谱技术。前者是从“兰姆凹陷”发展而来,现有“反兰姆凹陷”、“迎面探测波”等多种方法。最高分辨本领目前已达 10^{10} 量级,对分辨本领的影响除激光自身线宽外主要来自渡越展宽和几何展宽。双光子吸收光谱是微扰理论的二级近似效应,由于粒子可同时吸收两个同频反向的光子而跃迁,一级多普勒频移可完全消除。与饱和吸收光谱相比它有更高的极限分辨本领(为二级多普勒效应所限,约为 10^{12})、更大的信号背景比和不同的应用范围。

在强相干光照射下,物质会出现受激喇曼、超喇曼、反喇曼和相干喇曼等散射现象。相干反斯托克斯辐射是相干喇曼的一种形式,它是以前两束频率不同的激光对物质进行调制,当频差与喇曼项谐振时,在探测光的照射下,沿特定的方向会出现强度很高的斯托克斯和反斯托克斯散射光。这方法的主要特点是方向性和高灵敏度。

相干光学瞬变是自旋瞬变现象的光学模拟,理论基础是考虑到唯象弛豫的布劳赫方程。采用斯塔克开关等技术后,已在十多种样品中观察到章动、光子回声和自由感应衰变等瞬变现象。这方法的独到之处是可分开研究不同的弛豫过程。

高激发态光谱研究高能态向基态弛豫的时间和途径以及向另一高能态的转移。过去的困难是对量子态的激发,有了激光之后这一困难基本得到解决。超短脉冲的出现为量子态的选择激发和超快过程的观测提供了重要的手段。

激光光谱学对经典光谱学和其它科学技术有巨大影响。它极大地提高了波长和时间的分辨本领,增强了人们对物质微观结构微小差别和微观快速过程的辨认能力。分辨本领成千上万倍的提高,无疑会提供出有关微客体运动的新的信息,这对促进物理学、化学、生物学等基础科学的发展,意义是重大的。此外激光光谱学又是激光分离同位素,原子和分子混合物的微量探测等重要应用的基础。

激光光声光谱术

北京大学物理系激光三组

激光光声光谱术是测量物质吸收系数的一种新技术。它的特点是光谱的分辨率很高以及能测量极低的吸收系数。这种技术是基于光声效应。例如,经声频调制的一束激光穿过密闭容器内的气体时,气体吸收光将引起温度和气压的变化,也就是说,在气体中产生声波。如果吸收系数与吸收程长的乘积比 1 小得多,则声波的振幅正比于激光的平均功率和吸收系数的乘积,因此,所用的激光平均功率愈高,则能探测愈弱的吸

收。加之,对于声振动有非常灵敏的探测技术,所以激光光声光谱术是一种极高灵敏度的吸收光谱探测术。我们制作了 CO_2 线调谐激光器,其中用 ~ 150 线/毫米的光栅调节发射波长,用 PZT-5 压电陶瓷调节腔长。所用气体光声池的体积约 20 毫升;用电容微音器探测其中的光声信号。由于池的窗片(NaCl)和池壁会引起不小的背景信号,我们采用光路上串连另一个参比光声池来减去这种信号。光声信号用工作在 18 赫的锁定放大器测量。激光功率用铈酸锶钡热释电探测器(其前加漫射片)测定。这种技术适用于测分子从振动激发态跃迁的高分辨率吸收光谱和偶极禁戒跃迁吸收光谱,也适用于大气污染检测和分析化学等。我们的装置试测过大气污染,对严重损害农作物的乙烯、对有致肝癌可能的氯乙烯,以及对三氯乙醛、二氯乙烷等,因它们能强烈吸收 CO_2 激光器的某些发射线,测量灵敏度容易达到 $1 \text{ ppm} \sim 0.1 \text{ ppm}$ 。实验表明,光声池窗和池壁的吸收与外界振动和声音的干扰是影响测量灵敏度的主要因素,而池子对被测组分的吸附严重影响测量的准确度。此外,定标用的微量标准气的精确配制也还是个问题。

近几年来,国外用激光光声光谱术测凝聚态物质的吸收的工作正在兴旺起来,它能适应传统光谱术难以或不可能解决的某些测量工作。

激光等离子体光谱的初步研究

吉林大学物理系 张在宣 米辛 高锦岳 董玺娟 吴景凯

利用激光的特性,将脉冲激光器在时间、空间上压缩后可以获得极高的功率密度。强激光作用于固体材料,形成高温高压稠密气体组成的微区等离子体,产生强烈的光辐射,出现激光羽。在这种极端条件下研究高温高压状态下的原子、分子光谱(高离化态、高激发态)对原子、分子物理、固体物理、核聚变和天体物理等研究有重要意义。

本文叙述对铝的激光等离子体的光谱进行了初步研究。在我们的实验条件下已经观察到 AlII、AlIII、AlIII 的特征线和 AlII 的共振自吸收线,发现了谱线的红移和加宽现象,并对之进行了初步的分析。

1. 铝激光羽的光谱

我们用石英摄谱仪拍摄了铝激光羽的光谱,观察到 AlII 的特征线: 3961.5200 、 3944.0058 、 3092.7099 、 3092.8386 (光谱仪未分辨开) 3082.1529 、 2660.386 、 2575.095 、 2575.397 (未完全分辨开) 2567.983 埃。铝激光羽的核心是高温高压中心,在激光羽的边缘是冷凝的铝蒸气,因此产生共振自吸收现象,上述的 AlII 线均有共振自吸线。除了 AlII 线外,在激光羽的核心处还出现 AlIII 线 3587.2816 、 179 埃和 AlIII 线 3612.352 、 3601.623 埃,由于实验条件的限制还不能判断是否已经出现了更高次的离化线。

2. 光谱线的红移

由于强激光造成的高温高压状态引起对铝原子、离子能级的摄动,发生了谱线的频移。我们在实验中已经用阿贝比长仪测量了上述 AlII、AlIII、AlIII 的红移量。由于冷凝铝蒸气引起的共振自吸收线的红移量比 AlII 发射线的小,因此自吸线已偏离发射线轮廓的中心,发射线相对于自吸线更移向长波。

3. 光谱线的加宽

由于高温高压状态对铝原子、离子能级的弥散造成谱线的加宽,我们用自动记录测微光度计记录了光谱线的轮廓,估算了光谱宽度。

实验发现不同谱线的加宽量不同,有的谱线宽度竟达 20 埃。激光羽不同部位(相应于不同的高温高压状态)的光谱加宽量显著不同。

理论和实验研究还在进行。