

强激光与物质相互作用(I)——原子电离问题

中国科学院物理研究所 蔡诗东 李克学

从含时间的 Schrödinger 方程出发,相当严格地得到电子概率密度 $\rho(r, t) = \psi^*(r, t)\psi(r, t)$ 随时间的演化方程;在推导过程中没有用微扰法,只是忽略对宏观量没贡献的电子间动态摩擦力。用此方程来描述强外电场与物质相互作用的现象,比 Schrödinger 方程简单得多;对于强交变场的情形,可以直接用 Floquet 定理求解。

概率密度方程告诉我们,原子在激光场作用下的电离现象,主要是属于参量激发过程。

在本文里,相当仔细地讨论了我们所引入的新概念与新模型,从此方法出发可以严格地得到宏观运动方程,并基本上重新得到类氢与类碱原子的结构,在弱场近似下基本得到 Sommerfeld-Schur 微扰论的结果。

从此理论给出了激光功率、光子能量、物质性质与电离时间四个物理量之间的关系式。估算了原子电离阈值以及被电离的原子数目与激光功率的关系,同实验符合良好。并且原子电离率对激光波长的依赖性并不像多光子理论所预言的那么敏感;看不出多光子理论所坚持的“深谷”现象的存在;此外还预言在特强的激光作用下,原子可以产生半整数倍频辐射,看到电离边界会下移。由前面所列举的例子来看,从参量激发的概念出发,可以使我们能更好地理解现有的一些典型实验结果。

强激光与物质相互作用(II)——分子分解问题

中国科学院物理研究所 李克学 蔡诗东

同前文一样,从含时间周期的 Schrödinger 方程出发不使用微扰论方法,引出了分子振动所遵守的运动方程,可直接用 Floquet 定理求解。将这个方程应用于氢分子,同时使用文章(I)中得到的强光场下氢原子的电子概率密度,按照 Heitler-London 方法组成分子轨道的概率密度。在零场下得到的分子结构——结合能及原子核间平衡距离同实验符合良好。在外场作用下,分子分解过程是属于参量激发过程,其增长率既依赖于外场频率又依赖于强度。所以在分子分解的问题上喇曼过程与红外过程的物理机制,没有本质上的差别。

在外场作用下计算了氢分子进行不稳定运动的增长率;如果外场频率同氢分子振动的本征频率匹配良好,在百毫微秒量级的激光脉冲照射下,分解的阈值约为 $10^6 \sim 10^7$ 瓦/厘米²。由于外场的参数进入到分子本征振荡频率之中,因此分子本征振动随外场变化会有小小改变,在通常的实验条件下,我们估算出氢分子本征频率的位移约为 $8 \sim 10$ 厘米⁻¹;从这理论还可以定性地看出在强场作用下,分子能级会有红移和加宽的表现。

激光辐照下蒸气羽的形象及其成长

中国科学院力学研究所 周光地 夏生杰 赵建荣 刘建邦 方慧英

把 CO₂ 激光器连续输出功率约 70 瓦的激光束,经焦距 138 毫米反射镜聚焦于靶材上,功率密度约 3×10^4 瓦/厘米²;利用平晶错位干涉仪观察靶前蒸气羽的现象,平晶楔角为 $6''$ 及 $20''$;用高速摄影机连拍蒸气

羽干涉图的动态过程,取样时间间隔 5.9 毫秒,每幅曝光 0.49 毫秒。蒸气羽呈柱状垂直于靶面,它受烧孔限制逐渐转入逆入射光方向,尾部受气流影响而向上弯曲。对难烧蚀的材料出现凝聚态冲刷,烧蚀材料出现固态爆炸现象。良导热体的热扩散范围在加热时逐渐扩展,直至开始气化时达到较稳定尺寸。比较有意义的过程多在起始几十毫秒内,文中附有从约 1000 幅照片中选出的 20 幅图片以说明蒸气羽的形象及发展过程。

(1) 蒸气羽呈柱状。从逐幅羽长可算出羽的增长速度。陶瓷羽的最大速度 1.9 米/秒,有机玻璃羽达 3.6 米/秒。

(2) 初期蒸气羽的方向是和靶面垂直的,与入射激光束方向无关,与靶材种类亦无关。

(3) 靶材被烧蚀一定深度后,蒸气羽的方向将转至逆入射光方向。

(4) 蒸气羽喷出一定距离后,周围空气受热形成上下对流,使蒸气羽向上弯曲。

(5) 金属靶的蒸气羽远不如陶瓷和有机玻璃的蒸气羽表现丰富。

(6) 金属靶蒸气羽形成之前,大量热量从光斑区向外传导,使附近空气层形成热区。

(7) 陶瓷的气化温度虽高,但它有良好的绝热能力,所以仍可以在较局限的区域内产生强烈的气化和丰富的蒸气羽。它的特点是在较短的柱状结构之后尾部出现许多团状结构,还可看出凝聚态颗粒随蒸气羽喷出的痕迹。烧蚀过程中多次成簇状射出这些颗粒,虽然是从一个中心爆炸出的碎裂体,是燃烧型爆炸,从粒子轨迹推出爆炸中心并不都在靶面上。有的是抛出靶面之后,才进一步炸成一簇碎粒的。

高级受激喇曼散射的观察

中山大学 梁振斌 马莹莹 谢沧 黄振望 郑顺旋 张子骏 李海兰 刘君暖 权小青

受激喇曼散射是一种强光与物质相互作用的现象,高级受激喇曼效应则是不常见的,级数较高的谱线的出现条件更为苛刻。本工作是用调 Q 及锁模红宝石激光来激发苯液体,观察到高级受激喇曼效应。调 Q 红宝石激光输出波长 6943 埃,用隐花菁甲醇溶液调 Q ,宝石棒长 138 毫米,输出功率约为 16~30 兆瓦。用 $f=450$ 毫米的透镜把激发光聚焦于喇曼池中央,喇曼池长 1 米,用 $f=150$ 毫米的透镜把喇曼光聚焦于摄谱仪狭缝,摄谱仪拍摄喇曼谱线。一般可观察到三级的斯托克斯谱线,而且谱线较宽。又曾使用锁模红宝石激光泵浦苯液体,锁模激光器采用隐花菁丙酮溶液锁模。输出约 0.2~0.5 焦耳的能量,因条件关系,未测量过它的脉冲时间。其他工作条件与上述一样。用锁模红宝石激光泵浦苯液体,其效果显然不同。只要一次脉冲,便可在底片上拍出五级斯托克斯线,每级间隔为 992 厘米^{-1} ,并且可看到很敏锐的一级反斯托克斯喇曼线。上述工作重复性较好,只要工作条件有保证,均能重复。并且经常看到底片上一级、二级斯托克斯线位置上的乳胶被烧焦,可见喇曼光是相当强的。测量过它的转换效率约为 25%。观察过它的远场花样,可看到在泵浦光斑点的外围有一同心圆环,这圆环便应是反斯托克斯线的发散圆。

除此以外,还观察到一些奇异的现象。按照高级受激喇曼理论,级序较低的谱线首先出现,然后才出现高级谱线,且谱线强度随级数增加而减弱。可是在我们的实验中发现级跳现象,往往出现第五级而不出现第三、四级谱线。或者第五级谱线较三、四级强。这些现象未见报导过,亦未见理论上的预示。

受激喇曼散射实验

中国科学院物理研究所 101 组

利用大功率红宝石激光观察了苯、二硫化碳等液体的受激喇曼散射光谱。激光器采用叶绿素 D 的乙醇和丙酮(2:1)溶液做调 Q 元件,输出脉宽 20 毫微秒。经一级放大,功率可达 100 兆瓦。液体散射池长 10 厘