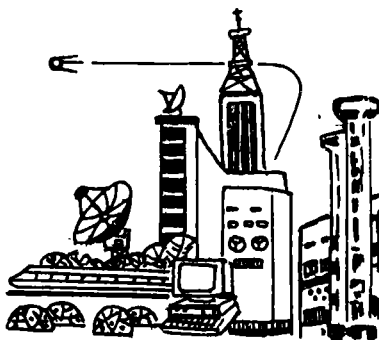


# 光物理学与化学、 生物医学的交叉

方延平 步明辉 诸德放

(空军后勤学院 徐州 221000)



光物理是研究光辐射的基本性质及其与物质相互作用特性的基础学科.它的主要研究领域包括光的产生、传输,光与原子、分子、凝聚态物质、等离子体相互作用的线性和非线性光学过程及光谱学特征.激光的问世及发展推动着光物理广泛地渗透到相邻学科领域而形成代表着新生长点的交叉学科.光物理还为许多学科提供新技术和新方法.光物理的应用及与其他学科的交叉研究是高技术研究与开发的重要基础之一.光物理不仅与原子分子物理、等离子体物理、天体物理、凝聚态物理、核物理等许多物理分支学科有着密切联系,而且与化学、生物学、材料科学、表面科学、大气科学、信息科学等形成十分活跃的交叉学科,并在高精度测量、计量学、核聚变、光纤通信、同位素分离、医学等领域得到广泛应用.

## 一、光物理与化学的交叉

光物理的进展深刻地影响了化学的发展.70年代以来激光技术的每一次重大发展,如宽范围可调谐染料激光,高效率、大功率紫外激光,从皮秒到飞秒超短脉冲激光的产生、开发和应用,都对化学产生很大的冲击,两门学科的相互渗透使化学反应动力学、光物理和光化学领域产生爆发性进展,在学科的交叉点上形成了一门十分活跃的新学科——激光化学.现代化学实验室广泛应用激光技术,使化学研究进入崭新的阶段.反过来,化学也为光物理的发展提供了许多新材料、新激光体系,同时也向光物理提出新的要求,促进光物理学的发展.如:利用激光和激光光谱技术,研究化学和化学物理中的一些基本问题,包括分子(尤其是激发态分子和一些特殊分子)结构、能级及运动的定量图

像,原子分子如何相互作用进行化学反应及其间的能态关系,从而深化对化学反应微观规律的认识.在此基础上更有效地控制化学反应,探索化学反应新途径,为国计民生提供丰富多样的新物质、新材料,为改善人类生活环境,丰富物质和精神生活作出贡献.总之,光物理与化学的交叉开辟了广阔的应用前景.

### 1. 研究化学反应的微观过程

运用激光和激光光谱技术研究化学反应的微观过程,即分子反应动力学.其前沿是态分辨、时间分辨和空间取向的分子反应动力学.光物理向化学的渗透使这一领域的研究取得令人瞩目的突破性进展.

激光为化学反应过程的研究开创了许多新的可能性.各波段、不同脉宽激光光源及线性非线性激光光谱技术的发展,与分子束技术相结合,加上快电子学、光电子技术及计算机技术,使人们有可能按需制备反应物的量子态及取向,并能对反应产物的量子态及散射角分布、速度分布进行跟踪测量,从而实现反应物态选择和产物态检测相结合的态——态反应动力学研究.偏振技术的应用又使原子分子相互作用的矢量相关研究提高到新的水平.化学反应过渡态的直接实验观察是化学研究人员长期以来所向往的,最近几年飞秒激光脉冲技术的发展又一次激起了探索过渡态的兴趣,并已在有的实验上取得重大进展.对个别化学反应,如 Na I、Hg I 的解离,已实现了反应细致动态过程的实时观察.以飞秒激光技术实时观察“半碰撞”中

的键断裂,用飞秒激光泵浦——探测技术对反应物经过渡态到产物的断键与成键微观细节进行“快速摄影”式的实时探测,对复合团簇内部能量弛豫及反应动力学的超快实时测量都已实现.飞秒光谱学也为溶液反应研究提供了有力工具,因许多化学反应都是在溶液中进行的,而溶液及生物体系中的化学反应,如许多包含电子转移的反应都是在飞秒时间尺度内发生的,用飞秒技术直接实时观察凝聚相化学中的超快弛豫和超快反应可望将凝聚相动力学研究推向新的水平.

## 2. 探索化学反应的新途径

通过研究分子激发态和特殊分子的结构与动力学,以及分子内和分子间的能量转移,探索化学反应的新途径.

分子动力学研究表明,化学反应的进行不仅与提供给体系的能量有关,而且对能量的形态有所选择,对分子激发态研究的意义在于如何有效地向反应物选择性地提供能量,即使反应分子处于所需的电子-振-转能态,从而使反应沿着人们期望的途径进行.光物理为分子激发态的研究提供了有效的手段.激光的共振吸收或受激发射泵浦可制备分子的高振动激发态.紫外及真空紫外激光、同步辐射光源,以及可见或紫外共振多光子激发可用于研究分子的高电子激发态.高功率超短脉冲激光的应用可使选择性激发更为有效.

实现选态激发并不意味着就可以实现选态反应,与之直接相关的重要因素是分子间及分子内部的能量转移.激光感生荧光、光学双共振等光谱技术是研究分子间传能的有效方法.分子内的能量弛豫近 10 年来研究相当活跃,因为它与人们长期梦想的“分子剪裁”密切相关.选键反应是激光化学中一个备受关注并有争议的问题.多原子大分子中的能量局域化现象也是人们十分感兴趣的课题.最近几年高灵敏光谱技术对分子振动的研究发现,在中等激光情况下,分子的简正模图象就可能完全被破坏,能量可局域于单个键.对分子高振——转激发能级进行的系统光谱研究正引起人们重新考虑多原子分子的振

动问题.在多原子分子光谱中观察到局域模结构再次激起人们研究选键反应的兴趣.

对分子能级结构、动力学,以及化学反应的深入研究提出了一系列值得探讨的本质问题.如:解离通道是否完全可由统计理论来确定;高激发态所引起的化学反应途径;局域模和选键反应的关系;混沌与定向化学反应;原子分子族的结构及过渡特性等等.可以预言光物理与化学的结合将把当代物理化学推向新的高度.

## 3. 光物理在化学中的其他应用

① 激光对原子、分子的同位素选择激发开辟了同位素分离新途径.

② 由于激光分析化学的快速发展,不仅使传统的吸收、荧光、拉曼光谱等方法提高了灵敏度和选择性,而且出现了激光诱导荧光、多光子电离、腔内吸收、热透镜技术等新方法.

③ 利用激光诱导化学反应进行化学制备.特别有价值的是通过激光引发自由基链反应以实现极高的量子产额的廉价工业生产.

④ 用激光进行材料的化学处理是一个新的交叉学科领域,如激光诱导表面改性、激光蚀刻、激光消融等.

⑤ 在大气中发生的许多重要化学反应几乎都有光的参与,如臭氧层的消蚀、温室效应、光化学污染和酸雨等,这些严重的环境问题,也需要光物理与光化学界对其机理进行研究以求对策.

## 二、光物理与生物医学的交叉

在生命科学的发展中,许多科学家长期以来追求的一个目标是用物理学和化学去阐明生命现象.光物理的发展,特别是激光光谱学,以及人们对凝聚态物理化学过程的知识提供了定量认识生命基本过程的钥匙.近 10 多年来激光与物质相互作用的研究扩展到了生物大分子和生物组织,使生物学取得了用传统方法难以想象的新进展,同时也为医学提供了新的诊断及手术武器.在光物理与生物医学的交叉点上形成了十分活跃的新学科——激光生物学和激光医学,前者是探索和揭示生命世界奥秘的重要基础研究,后者是造福人类的实际应用.

1. 采用激光和激光光谱技术研究生物体系中的基本物理和化学过程。

生物过程中有大量过程是快速过程,而且往往由相继的许多以不同的时间尺度(从毫秒到皮秒)进行的变化组成的复杂过程或循环,皮秒和飞秒时间分辨激光光谱技术在此展示了无可匹敌的作用。

激光技术(尤其是飞秒技术)的发展,使人类对一些天然的生物过程(如人类的视觉、植物的光合作用、嗜盐菌紫膜的光能转换等)的原初过程的机理的认识不断深化。采用超高时间分辨光谱方法研究生物大分子在生物体内的结构和构象变化以及它们的动态行为,其中有核酸和蛋白质的链动力学、血红蛋白和肌红蛋白的配体动力学、氨基酸和多肽的振动动力学等等。其中血红蛋白和肌红蛋白与 CO 和 O 的配体动力学的研究,更使得人们的认识随着激光技术的发展和在生物学中的应用不断深化。超快技术还可用于研究生物分子的结构和构象并跟踪其随时间的演变,从而取得蛋白质高级结构及构象变化的动态信息。在这类研究中常用的光谱技术有时间分辨拉曼及共振拉曼光谱、相干拉曼光谱、皮秒到飞秒的瞬态吸收光谱及荧光光谱、偏振荧光等等。

2. 激光与生物分子和组织的相互作用及其在医学上的作用

研究激光与生物物质相互作用的重要性,在于了解生物效应的光物理、光化学机制以指导医学应用中对激光波长、脉宽、功率密度等的选择。这里有激光在活组织中的传输规律,激光作用于活组织产生的热效应、光化反应、非线性过程导致的光击穿,伴随而来的声波和冲击波作用等大量光物理问题。可见红外激光作用于组织大多是通过吸收产生热效应,而紫外准分子激光则通过等离子体及光化学过程实现组织消融。不同的手术治疗要选择不同机制以达到效率高、损伤小之目的。激光治疗的有利条件是可以得到从紫外到红外各种不同波长的激光以

供选用。目前激光手术正愈来愈多地取代手术刀而成为常规的实用技术。利用紫外准分子激光作心血管斑块切除、眼角膜消融整形等新医疗技术的研究已取得重大进展;利用激光引发光击穿及后继过程进行眼科光穿孔及胆、肾结石粉碎已取得成功;利用激光感生荧光光谱诊断癌肿以及利用光散射早期诊断白内障等激光诊断技术也在发展之中。

激光的生物效应研究及激光医学的发展对激光器件也提出了新的要求,如各种紫外波长的准分子激光器、金属蒸气激光器、可调谐 Ti:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 激光器等等都是开拓激光医学的人们感兴趣的。

3. 光物理在生物医学中的其他应用

① 利用 CARS、REMPI 等非线性光谱技术认识生命过程,已取得有价值的信息。

② 激光在遗传工程中的应用也已取得初步成效。如利用 LIF 研究蛋白质-DNA 的相互作用。

③ 利用激光辐射压力的光学囚禁技术及激光微切割技术在生物学和医学中的应用展示了十分广泛的前景。如用波长 1.06 $\mu$ m 激光束的光学囚禁犹如光学镊子可自由操纵单个活细胞而不受光学损伤,这种技术与光学显微镜结合可对囚禁细胞进行观察和处理;紫外激光束可取代机械方法用于人类染色体的微切割。这两项技术的结合有可能使在没有任何机械接触情况下分割并收集染色体线段及单个 DNA 分子成为现实,这有助于探索疾病的分子基础。

④ X 射线光学的发展解决了 X 射线的成像,制成了分辨本领比光学显微镜高得多的 X 射线显微镜,用它可以直接观察天然的、甚至是活的生物样品,并进行动态研究。

光物理作为一门正在蓬勃发展的学科,其应用前景是十分广泛的,除了在化学、生物医学的应用之外,在其他物理学科、计量学科、信息科学、材料科学等领域都展现出诱人的应用前景。