

图6 J_{PH}/J_{LS} 和 V 的关系

试验的结果。因为 $J_{PH}/J_{LS} = \tau_n/T = s/w$ 。从图6中可以看出 s/w 的数值与电压的关系。这样,简单的电流测量直接给出我们所需要的、重要的太阳能电池设计参数 s/w 。

五、结束语

非晶态硅太阳能电池的主要优点是:

1. 有可能制造大面积太阳能电池;
2. 节约原料;
3. 有可能大大降低成本。

为了详细地了解器件的性能,应该彻底了

解载流子的产生、运动和复合的机理。

参 考 文 献

- [1] R. F. Hopkinson, Proceedings of the 14th IEEE Photovoltaic Specialists Conference 1980. January, 115.
- [2] D. E. Carlson, C. R. Wronski, *Appl. Phys. Lett.*, **28**(1976), 671.
- [3] W. E. Spear, P. G. Le Comber, S. Kinmond, M. H. Brodsky, *Appl. Phys. Lett.*, **28**(1976), 105.
- [4] J. I. B. Wilson, J. McGill, S. Kinmond, *Nature*, **272**(1978), 152.
- [5] D. E. Carlson, *Solar Energy Materials*, **3**(1980), 503
- [6] R. Williams, R. S. Crandall, *ECA Review*, **40** (1979), 371.
- [7] K. J. Loveland, W. E. Spear, A. Al-Sharbaty, *J. Non-Crystalline Solids*, **13**(1973—1974), 55.
- [8] P. J. Zanzuechi, C. R. Wronski, D. E. Carlson, *J. Appl. Phys.*, **48**(1977), 5227.
- [9] A. R. Moore, *Appl. Phys. Lett.*, **37**(1980), 327
- [10] D. L. Staebler, *J. Non-Crystalline Solids*, **35—36** (1980), 387
- [11] J. Dresner, B. Goldstein, D. Szostak, to be published *Appl. Phys. Lett.*
- [12] 黄 昆、韩汝琦, 半导体物理基础, 北京, 科学出版社, (1979), 110.
- [13] D. M. Pai, S. W. Ing, *Phys. Rev.*, **173**(1968), 894.
- [14] R. S. Crandall, R. Williams, B. E. Tompkins, *J. Appl. Phys.*, **50**(1979), 5506
- [15] I. Chen, J. Mort, *Appl. Phys. Lett.*, **37**(1980), 952.
- [16] N. F. Mott, R. W. Gurney, *Electronic Processes in Ionic Crystals*, (1964), 122.

化 学 激 光 器 的 进 展

罗 静 远 胡 士 琦

(中国科学院大连化学物理研究所)

化学激光是在化学和物理的边缘发展起来的一个激光的新领域,它涉及到非平衡反应的化学动力学、反应流的气体动力学和高增益介质的激光物理学等综合性的研究课题,由于诸学科的相互结合,自1965年第一台化学激光器问世以来,化学激光已获得很大的发展,引起了人们的极大关注。

第一台化学激光器是靠如下反应泵浦的:



此反应在高达 $v \leq 6$ 的各振动能级上生成激发态的HCl,并以脉冲方式发射波长3.7—4.0微米的红外激光。此后,又发现了许多化学激光体系,诸如HF(DF), HBr(DBr), CO, DF-CO₂和碘原子等,其中,波长最短的是碘原子激光

1.315 微米, 最长的系波长 21.8 微米的纯转动跃迁 HF 激光。

初期的化学激光器件, 仅能以脉冲方式运转, 效率低, 输出小, 主要用作研究化学反应动力学的工具。七十年代以来, 由于气动技术引进连续波激光器, 以及相对论电子束引发技术引进脉冲激光器, 使化学激光取得了重大突破, 一跃而成为引人注目的大功率、大能量器件。已报道连续波 HF(DF) 激光器获得大于 40 万千瓦的输出功率^[2], 而脉冲 HF 激光振荡器亦获得高达 4.2 千焦耳的单脉冲输出能量^[3]。在所有的激光器中, 这是迄今输出功率(连续波器件)最高的激光器。而且, 电光效率已高达 900% (相对论电子束引发的脉冲 HF 激光器), 是效率最高的脉冲器件。因而, 化学激光已成为实现激光武器的最有希望的途径, 并有可能在激光核聚变等方面得到应用。同时, 一些研究实验室也逐渐开始使用化学激光器, 以便深入研究各种新的化学与物理学的基础问题。其中, 涉及特定态分子的化学反应和能量转移过程, 及其与化学激光器运转性能之间的关系, 则是化学激光研究工作的一个极为重要的方面。

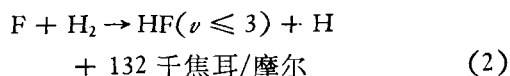
下面, 我们根据发生化学激光振荡的跃迁方式, 将化学激光器划分为振动-转动(简称振-转)、电子跃迁和纯转动等三种类型来分别加以阐述。

一、振动-转动跃迁化学激光器

现有的化学激光体系, 多数是振-转跃迁的。特别是 HF(DF) 和 CO 激光器已日趋成熟。

我们知道, 化学激光的基本原理^[4-6], 是依靠化学反应实现粒子数反转, 从而将化学反应释放的能量转化为相干的激光能量。因此, 为获得化学激光, 首先要求化学反应必须是放热反应。第二, 化学反应释放的能量, 必须有选择地分配到反应产物的各内能态上形成粒子数反转, 亦即, 反应产物在其各内能态上是高度非热平衡(非玻耳兹曼)分布的。例如, 由 Kompa 和

Pimentel^[7] 首先发现的 HF 体系, 其泵浦反应为:



实验测得, 该反应释放的 132 千焦耳/摩尔能量, 分配给振动、转动和平动自由度的比率为 0.66:0.08:0.26, 即有 66% 的能量转化为振动能, 而此振动能在 $\nu = 3, 2, 1$ 各能级上的分配比率又为 0.47:1.00:0.29, 且在反应初期, 几乎不生成 $\nu = 0$ 的 HF。可见, 在 $\nu = 2, 1, 0$ 各能级之间产生了粒子数反转(见图 1), 当这一反转分布因分子碰撞弛豫过程而消失之前, 通过 $\nu = 2 \rightarrow 1$ 和 $\nu = 1 \rightarrow 0$ 跃迁, 将在两个振动带内同时产生化学激光。

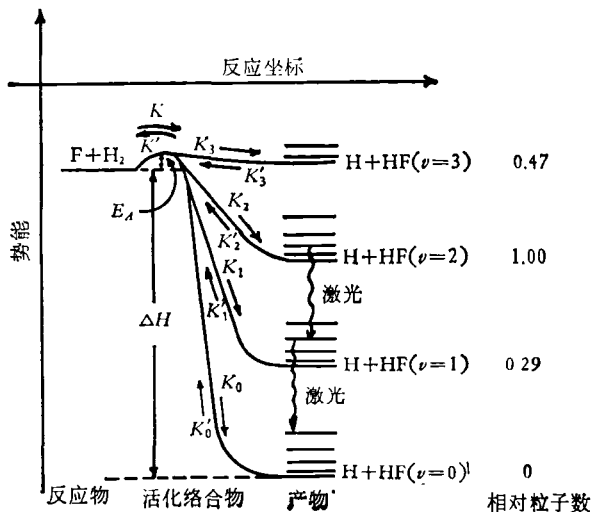
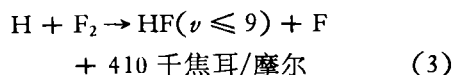


图 1 $F + H_2 \rightarrow HF(\nu) + H$ 反应中, 在各振动态上生成 $HF(\nu)$ 的反应坐标

1. HF(DF) 和 CO 连续波化学激光器

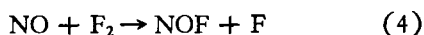
HF(DF) 和 CO 激光器已发展成为高功率连续波器件。

高功率 HF(DF) 激光器通常靠一个反应式(2)、或是两个反应式(2)和(3)进行泵浦¹⁾:



激励 $HF(\nu)$ 的各种泵浦反应, 一般由 F 原子引发。反应

1) 反应式(2)通常称为“冷”反应, 而反应式(3)称为“热”反应。



提供了由瓶装气体产生 F 原子的一条简单途径。不过,在高功率连续波 HF(DF) 器件中^[6,8],

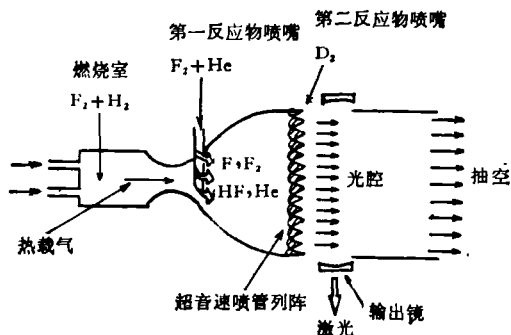
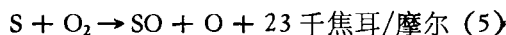


图 2 超音速连续波 DF 化学激光器示意图^[8]

通常采用燃烧室来产生 F 原子(见图 2),其原因在于, F₂ 的离解能较低(157 千焦耳/摩尔),当发生高放热 F₂-H₂ 链反应时,能在燃烧室内维持高温,从而导致所添加的过量 F₂ 大致全部离解。随后,高温高压气体混合物经超音速喷管阵列膨胀,进入主反应室(即图 2 中的光腔区),膨胀可使气体冷却,并冻结所需的 F 原子。该主气流与第二股反应物气流(如图 2 中的 D₂)¹⁾ 快速混合而发生泵浦反应。在这一类构型的器件中,光轴相对于气流呈横向放置。实验已获得大于 40 万千瓦的连续波 DF 激光输出。

我们知道,为获取 F 原子,必须在高温下热解 F₂ 或氟化物;而为了维持粒子数反转和有效的激射,泵浦反应又需在低温下进行。采用超音速喷管就有效地解决了这一问题。通常,进入喷管入口的气温约 1500—2000K,膨胀后光腔区的气温可降至室温量级。此外,在数托压力下, HF(DF) 泵浦反应速度虽快,但弛豫也极快,据计算,必须在微秒量级时间内产生激光作用,并将介质排出共振腔,才能获得高的输出功率。当燃烧室的主气流经超音速喷管膨胀后,在光腔区,气压仅数托,速度达 (2—4) × 10⁵ 厘米·秒⁻¹,因而保证了气流在微秒级时间内通过光腔区。并且,超音速喷管还可以使燃烧室产生的 F 原子“冻结”下来,以便参与光腔区的泵浦反应。由此可见,超音速喷管在连续波化学激光器中具有关键性的作用。

高功率 CO 化学激光器亦始终受到人们重视。由于 Wiswall 等人^[9]的工作,使 CO 激光器取得了较大的进展。他们在高温燃烧室(> 2500K)中,以 NF₃-CH₄-H₂-CS₂ 为燃料,热解产生泵浦反应式(5)和(6)所需的 CS 和 S 等成分,并通过适当控制燃烧室内 CS/CS₂ 和 CS/S 的比率,就能保证 O 原子不会被反应式(7)大量消耗,而使全部 CS 转化为 CO(*v*):



目前,已获得 0.5 千瓦连续激光功率,由于解决了一些关键技术问题,这类器件的扩大规模在技术上已没有很大的障碍。

CO 激光器之所以受重视,一个重要原因是,CO 分子因碰撞而振动弛豫比 HF(DF) 慢得多,故 CO 有可能在高光腔压力下运转(约 40—50 托),且激活区长(约 30 厘米),这是显著优于 HF(DF) 体系之处。

须指出,反应式(2),(3)和(6)主要用于泵浦高功率连续波器件。虽然 F₂-H₂ 体系具有显著优越性,但 F₂ 的毒性大,难处理。在小型 HF(DF) 和 CO 器件中,往往采用其他各种初始气体混合物和泵浦反应^[6,8]。如小型 HF 激光器,可采用 SF₆ 作氟源,且仅靠冷反应式(2)进行泵浦。

2. 电子束引发的脉冲 HF 激光器

脉冲化学激光器有多种引发方式,如采用闪光光解或气体放电等方式产生 F 原子来引发泵浦反应,易于获得低功率脉冲振荡,但效率低,输出小。在 HF 等脉冲器件中,为产生短脉冲,必须提高压力、加速反应。同时,由于 HF 等卤化氢分子振动弛豫很快,亦需快速引发。因此,以大功率为目标的 HF 脉冲激光器,近年来均采用相对论电子束引发技术。

Gerber 等人采用图 3 所示的装置,在长 167 厘米、直径 14.9 厘米的不锈钢管内,充入 360

1) 若系 HF 激光器,则用 H₂ 代替 D₂ 即可。D₂(H₂) 是通过各超音速主喷管之间的众多小喷嘴喷入的。

托 F₂, 100 托 SF₆, 100 托 H₂ 和 140 托 O₂, 从金属膜面注入 2 兆电子伏的相对论电子束, 由对面的蓝宝石窗口输出能量为 2.4 千焦耳的激光脉冲, 脉宽为 35 毫微秒, 电效率(相对于被吸收的电子束能量而言)为 180%。不久, 将此装置加长到 2.3 米, 获得 4.2 千焦耳的脉冲输出, 电效率为 200%, 化学效率为 10%, 脉宽为 26 毫微秒^[3]。以后, 又采用类似的装置, 仍用 2 兆电子伏加速器进行引发, 获得 4.2 千焦耳的单脉

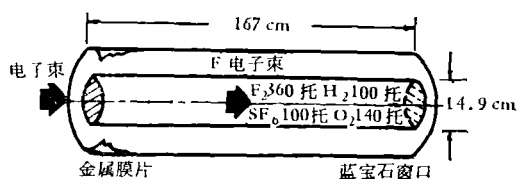
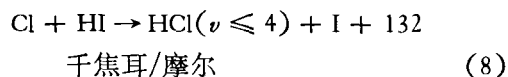


图 3 相对论电子束引发的脉冲 HF 激光器示意图

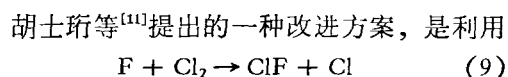
冲输出, 脉宽为 20 毫微秒, 化学效率为 11.4%, 电效率为 180%, 光束发散度(采用非稳定腔)为 4 毫弧度, 其峰值功率已高达 160 千兆瓦。使激光能量大幅度提高的关键, 在于电子束引发大大提高了反应速度, 同时还充分利用了链反应式(2)和(3)的潜力。国外正积极研究将这类激光器用于激光核聚变, 为此, 尚须进一步将脉宽压缩到 1 毫微秒以下, 但要想压缩到亚毫微秒以下恐有困难。

3. 其他振-转跃迁激光器的若干进展

与 HF(DF) 和 CO 等大功率激光器相比, 其他一些连续波化学激光器迄今只能给出中等的功率。Arnold 等^[10]采用化学引发, 已从 HCl 和 HBr 激光器获得瓦级连续波输出。这两种器件均有赖于 NO 与 ClO₂ 反应来产生 Cl 原子, 总的化学过程是复杂的, 但要靠泵浦反应



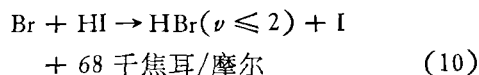
圆满地实现激光作用, 须有足够用的 Cl 原子。



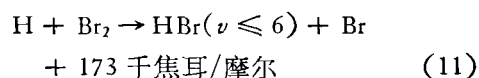
反应, 即由工程上易于获得的 F 原子来产生所需的大量 Cl 原子。实验已证实了此方案的可行

性, 从而提供了一种可能放大的高效率 HCl 化学激光方案。

在 HBr 激光器中, 首先要靠添加 Br₂, 将 Cl 原子转换为 Br 原子, 再通过与 HI 反应, 产生振动激发的 HBr(ν):



但这种 HBr 激光体系的效率很低。胡士珩等最近提出一个可能放大的方案, 其中, 利用反应式(2)将工程上易于产生的 F 原子转化为所需的 H 原子, 然后再由泵浦反应



产生振动激发的 HBr 分子。初步实验已证实该方案可行, 并可实现高效率运转。

各种小型连续波化学激光器有许多用途, 例如, 小型 HF 连续波器件可作为探测激光器, 对大功率大型器件进行诊断。Hinchen 等^[12]将 HF 激光用于红外双共振实验, 研究了 HF 的转动弛豫。能量适中的脉冲化学激光器, 尚用来研究振动能的转移问题, 在这方面已做了大量的工作, 但许多问题仍未解决, 特别是测定被各种自由原子弛豫的速率以及测定各高振动能级($\nu > 1$)的弛豫速率, 尤为困难。目前, 这些问题仍在研究之中。

近年来, 红外激光器在激光化学, 特别是在激光分离同位素方面的应用前景十分引人注目。目前, 尤为关注对 UF₆ 等铀化合物的同位素分离。UF₆ 气体的 ν_3 模之振动-转动谱线在 16 微米附近, 这促进人们去研制 16 微米波段的新型激光器。看来, 化学激光很可能在这方面得到应用。Osgood^[13]用 HBr 激光和 CO₂ 激光同时照射 HBr-CO₂ 混合气(约 0.5—7 托), 获得了 16 微米的激光。最近, 为此目的, Rutt^[14]又建成了一台耐腐蚀、便于维护的脉冲 HBr 激光器, 每个脉冲可输出 550 毫焦耳能量。

二、电子跃迁化学激光器

近年来, 对电子跃迁化学激光器给予了极

大关注,原因在于,原子和分子的电子跃迁可以发射 0.2 至 1 微米短波长的激光. 迄今已发表了大量研究论文,看来,化学泵浦对实现连续波电子跃迁激光器最为有利,不过尚未发现完全令人满意的电子跃迁化学激光器.

最近, Cool^[8] 评述了电子跃迁激光器运转的困难所在,并归纳出,要实现电子跃迁连续波化学激光器,必须满足如下一些条件:

(1) 上激光能级的平均辐射寿命须 $\geq 10^{-5}$ 秒.

(2) 上激光能级的平均碰撞寿命亦须 $\geq 10^{-5}$ 秒. 在压力为 1 托时,这意味着净碰撞去激活几率将不超过 10^{-2} , 且在较高压力下运转时,该值尚须相应地降低.

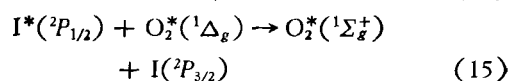
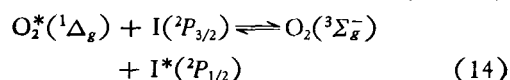
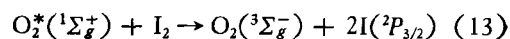
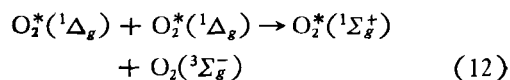
(3) 各反应物浓度须 $\geq 10^{15} - 10^{16}$ 厘米⁻³. 因此,就必须拥有产生各种原子或自由基的有效手段.

(4) 泵浦反应必须是快速的,且能量须高度非平衡分布,使得作为上激光能级的单个受激能级的粒子数分布几率能够 $> 10^{-3}$.

(5) 激光下能级的粒子数分布必须最小. 在低态是束缚态的情况下,这些粒子当能有效地碰撞弛豫或从光腔清除;若低态是离解的(如同准分子激光体系中那样),就更为理想.

目前,唯一成功的器件,是由 Bousek 等^[15] 研制成的碘原子电子跃迁化学激光器. 实验

中,他们采用如图 4 所示的简单化学反应器,让氯气流经含 90% H_2O_2 的碱液,产生受激亚稳态的 $O_2^*(^1\Delta_g)$, 并用干冰-酒精冷阱收集水和其他高熔点的反应物. 从反应器顶部逸出的含 $O_2^*(^1\Delta_g)$ 气体,经温度为 $-154^\circ C$ 的冷阱除去未反应的 Cl_2 . 在纵向流动激光腔的入口处,反应器的流出物与分子 I_2 混合. 这时,借助于亚稳态 $O_2^*(^1\Delta_g)$ 的能量转移,使 I_2 分子离解而生成激发态的 $I(^2P_{1/2})$ 原子. 最后,在碘原子的 ($^2P_{1/2} - ^2P_{3/2}$) 自旋-轨道跃迁上实现振荡,发射波长为 1.315 微米的红外激光. 严格讲,该体系属转移型化学激光器,因为由化学反应产生的乃是高亚稳态的 $O_2^*(^1\Delta_g)$, 而后向 I 原子近共振能来实现激射. 该体系的机制,大致包括如下几个重要步骤:



上述机制的第四步是关键性的,因为它能再生 $O_2^*(^1\Sigma_g^+)$, 尤其它保证了 I_2 能够完全离解,否则,残余的 I_2 将会高效地使 $I^*(^2P_{1/2})$ 去激活.

这种激光器进展很快,在横向流动装置上,已获得 100 瓦以上的连续波输出功率^[16], 据 Benard 等推算,从他们现有的器件中,有可能提取出 600 瓦功率. 虽然这种激光器的波长较长,不可调谐,不是最理想,但它能产生高功率,仍引起了人们的很大关注.

至于可见和紫外波段的电子跃迁化学激光器,各国正积极进行探索,尚无真正突破的迹象.

三、纯转动跃迁化学激光器

通常,化学反应释放的能量,虽然只有很小一部分转化为产物分子的转动能,但各转动能级初始仍可能是显著非平衡分布的. 例如,反

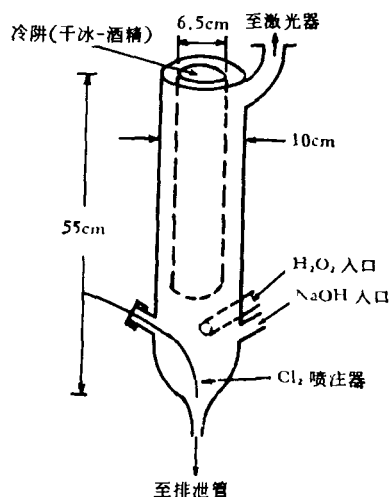


图 4 在碘原子连续波化学激光器中,用化学法产生 $O_2^*(^1\Delta_g)$ 的反应器示意图^[15]

表 1 纯转动跃迁化学激光器

激光体系	泵浦反应	激光跃迁上能级		激光跃迁频率 (厘米 ⁻¹)	可能的泵浦机制
		ν	J 或 N		
HF	$\text{CH}_3 + \text{CF}_3 \rightarrow \text{CH}_2 = \text{CF}_2 + \text{HF}$	0	17, 18	659, 693	化学反应
HF	$\text{CH}_2 = \text{CF}_2 + h\nu \rightarrow \text{CH}_2 = \text{CF} + \text{HF}$	0	12-14	480-513	光化学反应
		1	13, 14	497, 513	
		2	14	511	
		3	15	502	
OH	$\text{O}(^1\text{D}) + \text{H}_2 \rightarrow \text{OH} + \text{H}$	0	8-20	326-723	化学反应, 随即近 共振 V-R 能量转移
		1	10-22		
		2	10-23		
		3	10-19		

应式(2)释放的能量约有 8% 转化为转动能, 且在反应初期, 转动能为非平衡分布, 但对于 HF(ν, J) 低 J 值的纯转动跃迁, 要获得激光增益却很困难. 原因在于, 低 J 转动态的纯转动弛豫极快, 由反应所建立的转动反转分布, 将快速衰变为热平衡分布. 为克服此困难, 就要求泵浦速率必须快于通常化学反应能达到的速率. 对于某些分子, 如 HF, 其高 J 态的转动弛豫相当慢, 转动受激分子异常稳定, 且纯转动跃迁的 Einstein 系数非常大, 因而获得纯转动激光就相当容易^[17].

1967 年报道了第一台纯转动跃迁激光器^[18], 直到 1974 年才研制成纯化学泵浦的转动跃迁激光器, 但至今亦仅有 HF^[17-19] 和 OH (或 OD)^[20, 21] 能以这种方式产生激光, 且转动跃迁发生在很高的各转动能级之间 (见表 1)^[22], 具体机制在上述文献中已做了描述, 但许多基元过程的速率, 以及详细的机制并不清楚, 尚需更深入加以研究^[17, 19].

本文简略评述了化学激光器的发展状况, 着重谈了以 HF(DF) 为代表的大功率激光器, 以及化学激光与动力学基础研究的密切关系, 也谈到了化学激光器的某些应用. 至于化学激光器的其他一些重要方面, 如气体动力学、光学共振腔, 以及计算机模拟等问题, 均未涉及. 文献[5, 6] 对化学激光器的各个方面做了全面系统的总结, 有兴趣的读者可进一步参考.

看来, 化学激光仍处于继续快速发展过程中. 现在, 只有 HF(DF) 和 CO 等一两种化学激光器, 其大量的基础科研工作已接近完成, 下一步将是工程上去发展大型激光系统. 同时正在大力探索和发展各种新型化学激光体系, 包括短波长的体系, 以适应激光武器、激光核聚变和激光化学等多方面技术应用的需要. 由于化学激光器完全地或主要地依靠化学能来获得激光能量, 所以, 预料将发展出多种紧凑的高能化学激光器件, 并成为激光武器的主要候选者. 预期高能化学激光器将在陆地和舰船反导、防空, 机载反导和卫星反导等战术、战略激光武器方面获得重大应用. 我们认为, 化学激光器的发展前景是十分广阔的, 其应用前景也是令人鼓舞的.

参 考 文 献

- [1] J. V. V. Kasper and G. C. Pimentel, *Phys. Rev. Lett.*, **14**(1965), 352.
- [2] *Aviation Week and Space Technology*, **113-5** (1980), 55.
- [3] J. B. Gerardo, IEEE/OSA Conference on Laser Engineering and Applications, May, (1975).
- [4] 罗静远, 自然杂志, **2**(1979), 351.
- [5] K. L. Kompa 著, 罗静远译, 化学激光, 科学出版社, (1981).
- [6] Handbook of Chemical Laser, Ed. R. W. F. Grass, J. F. Bott, J. Wiley and Sons, New York, (1976).
- [7] K. L. Kompa and G. C. Pimentel, *J. Chem Phys.*, **47**(1967), 857
- [8] T. A. Cool, Physical Chemistry of Fast Reactions Vol. 2: "Reaction Dynamics" Ed I. W. M. Smith, 2 Chap. 3, Plenum Press, New York,

- (1979).
- [9] W. Q. Jeffers, C. E. Wiswall et al., *J. Appl. Phys.*, **49**(1978), 2509.
- [10] S. J. Arnold et al., *IEEE J. Quant. Electron.*, **QE-14**(1978), 293.
- [11] 胡士珩, 张存浩等, *激光*, **7**(1980), 86.
- [12] J. J. Hinchey, R. H. Hobbs, *J. Chem. Phys.*, **65**(1976), 2732.
- [13] R. M. Osgood, Jr., *Appl. Phys. Lett.*, **28**(1976), 342.
- [14] H. N. Rutt, *J. Phys. D*, **12**(1979), 345.
- [15] W. E. McDermott et al, *Appl. Phys Lett.*, **32**(1978), 469.
- [16] D. J. Benard et al., *Appl. Phys. Lett.*, **34**(1979), 40.
- [17] J. J. Hinchey and R. H. Hobbs, *J. Appl Phys.*, **50**(1979), 628.
- [18] T. F. Deutsch, *Appl. Phys. Lett.*, **11**(1967), 18.
- [19] E. Cuellar, G. C. Pimentel, *J. Chem. Phys.*, **71**(1979), 1385.
- [20] G. D. Downey, D. W. Robinson, J. H. Smith, *J. Chem. Phys.*, **66**(1977), 1685.
- [21] J. H. Smith, D. W. Robinson, *J. Chem. Phys.*, **68**(1978), 5474.
- [22] I. W. M. Smith, *Optics and Laser Technology*, **12**(1980), 77.

量 子 色 动 力 学

勾 亮 郝 春

(中国科学院高能物理研究所) (黑龙江大学物理系)

量子色动力学(QCD)是一种尝试性强相互作用基本理论。在对强相互作用规律还没有完全认识的情况下,人们根据实验已经观测到的强相互作用性质以及寻找相互作用理论形式的一般原理——规范场论^[1],提出了量子色动力学。

目前,虽然这个理论的物理结果还不完全清楚,可是许多物理学家却相信它是强相互作用理论的一个最有希望的候选者。原因是到目前为止,所有可能检验它的预言的实验,在定性或半定量上都支持它,并且它在整理和指导高能物理实验上已经起到了重要的作用。因此,对那些致力于探索强相互作用理论的研究者,它具有巨大的吸引力。

值得指出的是,作为描写自然界中基本相互作用的理论的QCD,它所直接描写的强相互作用不是以前我们常常碰到的强子之间广泛存在的那种强相互作用,比如把核子束缚成原子核的那种强相互作用。QCD直接描述的强相互作用是构成强子的组份——夸克(或层子)之间的强相互作用。现在一般认为(还没有严格证明),强子之间广泛存在的那种强相互作用类似于分子(或原子)之间存在的范德瓦耳斯力。范德瓦耳斯力是把原子核和电子束缚成电中性

的原子(或分子)的库仑力的剩余力。而强子之间的强相互作用被看成是把带色夸克束缚成无色强子的强作用力的剩余力。

一、QCD 的实验基础

1. 强子谱和夸克模型

到六十年代,已经发现了上百种的强子,它们的数目比当年门捷列夫排列元素周期表时发现的元素要多得多。人们自然要问,难道这些上百种的强子都是基本的吗?

根据实验测定的这些强子的性质,人们把这些强子分为两大类:自旋为半整数的重子和自旋为整数的介子。如果按照它们的性质,如自旋、宇称、同位旋和超荷进一步分类,就显示出明显的规律性。人们认为这些规律可能和门捷列夫元素周期表反映了原子结构一样,它反映了强子的内部结构。Gell-Mann^[2]根据这个规律性和强子之间强相互作用所具有的对称性质提出,重子是由三个更基本的、带分数电荷的、自旋为1/2的夸克构成的,介子是由这样的正反夸克对构成的,这就是夸克模型。这些构成强子的夸克称价夸克。

利用这个模型进行理论计算表明,它确实