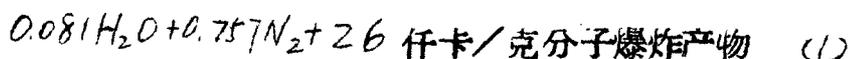
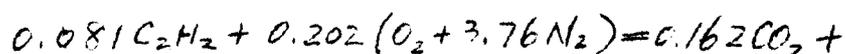


用爆炸法使激光工质产生粒子数反转的可能性

在气动激光器和放大器中，某些分子振动能级的粒子数反转，是由于预热的分子气体混合物迅速膨胀而实现的。选定气体混合物组分时，必需满足如下条件：当气体混合物膨胀时， $\tau_1 \ll \tau_2$ ，此处 τ_1 ——激光器下能级 1 碰撞弛豫时间， τ_2 ——激光器上能级 2 碰撞弛豫时间。此外，膨胀速度必需足够大，以致上能级 2 由于弛豫而淬灭比由于气体混合物绝热冷却而淬灭来得慢。

本文设想利用爆炸时的强放热化学反应，使气体分子的振动能级产生粒子数反转。应该指出，当某些炸药的爆炸产物自由飞散时可以实现上述条件，而不需要采用喷嘴或狭缝这类气动力装置。

问题在于选择适当的炸药，其爆炸产物中含有能实现必要的弛豫方案（例如类似于气动激光器的那种方案）的气体成分。许多气态和凝聚炸药均能满足这个要求。爆炸产物的温度与炸药类型有关，一般可以达到 $(2 \sim 5) \times 10^3 \text{ }^\circ\text{K}$ ，爆炸产物的飞散速度可以达到 $10^5 \sim 10^6$ 厘米/秒，即等于甚至超过气动激光器中的气流速度。以下用化学计量的乙炔—空气混合物的爆炸反应为例来说明上述设想。其反应方程如下：



限定柱对称情况，详细考虑爆炸时的物理—化学过程。假定在充满

C_2H_2 和空气混合气体，直径为 d 的圆管中产生爆震波。众所周知，在 C_2H_2 体积浓度为 8~14% 的初始混合物中的压力超过 0.5 大气压时，一旦点火，就可在 $d \geq 1.8$ 毫米的圆柱中看到燃烧向爆震的过渡。爆震波速度与压力关系不大，其值等于 1.8×10^5 厘米/秒。在爆震波阵面上发生放热化学反应以维持爆震波。由于化学反应产生完全掺混的爆炸产物，所以可以假定它是具有方程(1)中相应组分的理想气体混合物。化学计量的乙炔-空气混合物的火焰温度的量级为 2000~2400°K。热的爆炸产物的压力大于大气压，其值取决于初始压力。

假如圆管不坚固，则当爆震波达到管壁后，爆炸产物就开始向周围空间膨胀而形成爆炸物膨胀是迅速的绝热过程，膨胀时爆炸产物受到冷却。假定随时间扩大的爆炸场可以近似地用体积平均状态参数描述。同时假定膨胀速度按爆震波阵面后爆炸产物的飞散速度确定。根据计算，此速度的量级为 0.9×10^5 厘米/秒。

乙炔-空气混合物的爆炸产物向真空作柱状飞散时，随着状态参数的变化， CO_2 分子的 $2(00^01)$ 和 $1(10^0)$ 振动能级可能产生粒子数反转。

受激 CO_2 分子的弛豫近似地以如下动力方程描述：

$$\frac{dn_{\alpha}}{dt} = W_{N^*-C} N^* n_0 \delta_{2\alpha} - \frac{n_{\alpha}}{\tau_{\alpha}(t)}, \quad (2)$$

此处 $\alpha = 1, 2$ ， $\delta_{2\alpha}$ —— 克罗盖开尔符号， N^* ， n_0 ， n_{α} —— 真的受激分子和基态、 α 态 CO_2 分子的浓度， W_{N^*-C} —— 氮分子使

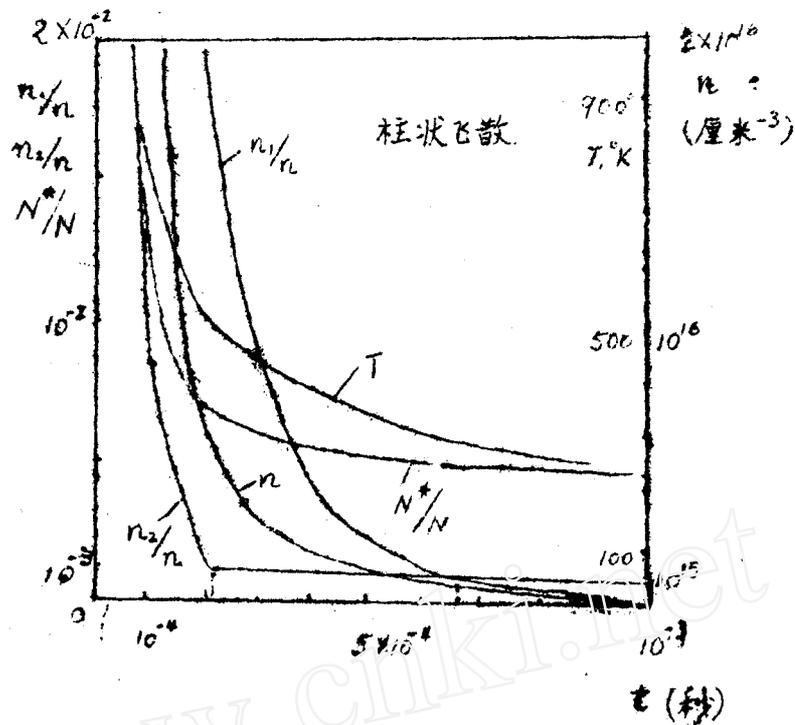
CO_2 分子受激的跃迁几率， $\tau_{\alpha}(t)$ ——碰撞弛豫时间。

对于给定的飞散几何形状，可以计算气体温度和分子浓度与时间的关系。利用 CO_2 分子碰撞弛豫几率与温度关系的数据，还可以算出 $\tau_{\alpha}(t)$ 。

应该注意到，当温度低于 $1000^{\circ}K$ 时，受激 CO_2 分子的弛豫主要取决于与水分子的碰撞，并且下能级弛豫几率比较大。但是，由于水的相对浓度大，弛豫时间小，因此当初始混合物压力大于一大气压时，弛豫比气体冷却进行得更快。同时，若乙炔—空气混合物压力低于 0.5 大气压，爆震就不可能发生。因此，选定如下初始条件：乙炔—空气混合物在 0.5 大气压下充入直径 d 为 2 厘米的圆管中爆炸以后爆炸产物加热到 $T_0 = 2200^{\circ}K$ ，并作柱状飞散。

为了定性分析受激态粒子密度与时间的关系，忽略氩向 CO_2 传输的能量，并以指数函数近似表达 $\tau_{\alpha}(t)$ ，就可积分动力方程。发现在给定条件下，能级 1 的弛豫比^此能级由于气体冷却而猝灭进行得更快。因此其粒子密度决定于玻尔兹曼因数。同时，从某瞬时开始，能级 2 的弛豫进行得比较缓慢，而且气体振动温度与杂乱运动温度相互分开。

能级 1 和 2 粒子密度与时间的关系的计算结果见附图。能级 2 的振动温度分开发生于 200 微秒的时刻，而粒子数反转则发生于飞散开始后 650 微秒。氩受激态粒子密度与时间的关系主要决定于与 CO_2 分子的碰撞弛豫（见图）。如果考虑氩向 CO_2 传输的能量，粒子数反转则更大得多，而且开始得更早，此外，还可能在更大的初始混合物压力下发生。



假如採用爆炸产物含水量(指相对濃度)少的炸藥, 粒子数反轉可以显著增加。同时无论是燃燒产物自由飞散, 或是通过噴管膨脹, 碳氢—空气混合物均可能是获得粒子数反轉的极其有效的工質。

译自: В.М. Марценко, А.М. Прохоров, О возможности создания инверсионной среды для лазеров посредством взрыва, Доклады в ИСЭТФ, 1971. Том 14 Вып. 2, стр. 116-120.