

# 激光分离同位素的动力学

中国科技大学 马兴孝

本文通过动力学分析,给出了在激光分离同位素技术中,为获得高选择性所必须满足的动力学条件。

文章首先考查了一般同位素浓缩过程的普遍描述方式并讨论了同位素浓缩过程的一般规律,指出,选择性系数  $S$  和浓缩速率系数  $D$  是表征浓缩过程品质的两个重要特征量。

文章通过对各种激光分离同位素方法的特点的分析,建立了反映激光分离中主要过程的动力学模型。模型包括了一系列重要的基元过程,如激光对分子(或原子)的选择激发与误激发、分子的受激发射、分子的自发辐射与碰撞消激发、热激发、热反应、激发分子能量的共振转移、第二步的激发态选择反应等。在建立了动力学方程组之后,讨论了其求解问题,并针对选择系数较大和第二步激发态反应速率较小两种典型情况,分别用线性近似和准稳态近似得到了动力学方程组的解析解。从而使描述同位素浓缩过程各特征量与表征各基元过程的速率系数通过解析表达式联系起来。由此对解的初始行为与渐近行为以及逆反应影响加以分析,概括出在激光分离同位素中,为获得高选择性所必须满足的动力学条件:

1) 辐照时间必须至少大于初始阶段的特征时间(文章给出了用基元过程速率系数表达的初始阶段特征时间);

2) 各基元过程速率系数必须满足文章给出的一组关系式;

3) 避免逆反应或选择无害的逆反应(文章给出了选择的标准)。

本文可为激光分离同位素方案的正确设计提供指导原则,也为通过对基元过程速率系数的测定或估算,预计各种方案的浓缩效果指明途径。

## 红外聚焦脉冲激光场中同位素浓缩过程的动力学处理

中国科技大学 马兴孝 胡照林

强红外辐射场中多原子分子发生选择性离解(红外“多光子”离解)的现象已广泛用于激光分离同位素的实验。本文针对用聚焦方法实现强红外场的实验,提出了同位素浓缩过程的动力学处理,导出了在残留物中同位素浓缩系数的下述表达式:

$$\ln \beta_n = \frac{f}{V\sqrt{S_L}} \left( \frac{E}{\delta t I_T} \right)^{3/2} \sum_{i=1}^n \int_1^{I_T/I_T} (e^{-\int_{t_i}^{t_i+\delta t} c_i' dt} - e^{-\int_{t_i}^{t_i+\delta t} c_i dt}) \frac{dy}{y^{5/2}}$$

式中,  $\beta_n$  为  $n$  个激光脉冲相继辐照后残留物中的同位素浓缩系数;  $f$  为聚焦透镜的焦距;  $V$  为反应器的总体积;  $S_L$  为透镜处光束截面积;  $E$  为单个激光脉冲的能量;  $\delta t$  为激光脉冲的持续时间;  $I_T$  为所分离的同位素分子的红外“多光子”离解阈值功率密度;  $I_f$  为聚焦后焦斑处光束的平均功率密度;  $c_i'$  与  $c_i$  分别为第  $i$  个激光脉冲引起的两种相似分子(如  $^{32}\text{SF}_6$ / $^{34}\text{SF}_6$ )的离解速率系数。

当  $I_f \gg I_T$  时,由上式可得到

$$\ln \beta_n \propto f, E^{3/2},$$

若  $c_i' = c_i$ ,  $c_i = c$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ), 则还有

$$\ln \beta_n \propto n.$$

以上结果均为  $\text{SF}_6$  的有关实验完全证实。

在本工作中,作者首先在“理想脉冲”的条件下对动力学方程组按时间分段求解,从而导出了用脉冲数目