

дуцированный дрейф, СИД). Атомы (данного элемента) с радиальной составляющей тепловой скорости  $v_R$ , направленной от центра ( $v_R > 0$ ) (к центру,  $v_R < 0$ ) звезды, способны поглощать фотоны, частота к-рых смещена в «синюю» («красную») сторону от центра спектральной линии (данного элемента). Если излучение, проходящее через атмосферу звезды, имеет асимметрич. распределение по частоте в окрестности спектральной линии (напр., из-за наложения линий др. элементов), то число возбуждённых атомов с  $v_R > 0$  будет больше (или меньше — в зависимости от знака асимметрии), чем с  $v_R < 0$ . Это равносильно избытку возбуждённых атомов в потоке с  $v_R < 0$  ( $v_R > 0$ ). Сечение упругих столкновений с атомами буферного газа (в атмосферах звёзд — это атомы водорода и гелия, составляющие 99% от числа всех атомов) для возбуждённых атомов данного элемента больше, чем для невозбуждённых. Следовательно, поток с  $v_R > 0$  ( $v_R < 0$ ), в к-ром доля возбуждённых атомов больше, тормозится быстрее. В результате возникает нескомпенсированный поток атомов данного элемента в противоположном направлении, приводящий к сепарации элементов. Закон сохранения импульса выполняется за счёт передачи импульса буферному газу при столкновениях. Скорости СИД могут быть во много раз больше, чем скорости селективной диффузии. Однако количество рассмотренного эффекта СИД на разл. глубинах в звёздных атмосферах пока не существует.

Существенно изменить характер процессов сепарации и их результат могут др. микроскопич. и макроскопич. процессы, такие, как влияние магн. полей на движение ионов, циркуляц. течения и т. п., к-рые пока трудно учесть количественно.

Лит.: Michaud G., The astrophysical context of diffusion in stars, «Astron. J.», 1980, v. 85, p. 589; Хохлова В. Л., Магнитные звезды, в кн.: Итоги науки и техники, сер. Астрономия, т. 24, М., 1983, с. 223; Атутов С. Н., Шалагин А. М., О возможных проявлениях эффекта светиндуцированного дрейфа в астрофизических объектах, «Письма в Астрон. ж.», 1988, т. 14, № 7, с. 664.

В. Л. Хохлова.

**ХИМИЧЕСКИЙ ЛАЗЕР** — газовый лазер, в к-ром инверсия населённости образуется в результате хим. реакций. Возможность создания Х. л. основана на том, что продукты многих экзотермич. хим. реакций образуются преим. в возбуждённых состояниях. Большинство Х. л. работает на колебательно-вращат. переходах двухатомных молекул. Возбуждённые молекулы эффективно образуются, в частности, в результате экзотермич. реакций замещения:

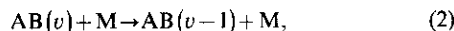


причём значит. часть  $\delta$  выделяющейся энергии  $\Delta \mathcal{E}$  идёт на возбуждение колебат. уровней молекулы АВ. В результате образуется неравновесный газ двухатомных молекул АВ, в к-ром ср. величина колебат. энергии значительно превышает величину энергии, приходящейся на поступат. и вращат. степени свободы молекул. Такой неравновесный газ является активной средой с инверсной населённостью для большого кол-ва колебат. переходов (см. Молекулярные спектры). В табл. приведены нек-рые реакции, ведущие к инверсной населённости, величины  $\Delta \mathcal{E}$  и  $\delta$ , а также примерный диапазон длин волн  $\lambda$  соответствующего излучения.

Для работы Х. л. необходимо создать нек-рое кол-во химически активных свободных радикалов, стимулирующих протекание хим. реакции. С этой целью используются все способы воздействия на молекулы, приводящие к их диссоциации: прямой нагрев, вызывающий термич. диссоциацию; облучение УФ- или видимым светом, вызывающее частичную или полную фотодиссоциацию молекул; хим. реакции, сопровождающиеся образованием свободных радикалов; газовый разряд, в к-ром свободные радикалы образуются в осн. при столкновениях электронов с молекулами; облучение хим. реагентов пучками быстрых электронов или ионов, продуктами ядерных реакций и др. Поскольку в результате реакций, приводящих к возбуждению Х. л., происходят необратимые изменения хим. состава исходных реагентов, необходимым условием длит. ра-

боты Х. л. является непрерывное возобновление рабочего вещества.

В активной среде Х. л. наряду с реакцией (1) протекают разнообразные столкновительные процессы с участием колебательно возбуждённых молекул. Эти процессы оказывают влияние на формирование населённости и определяют выходные характеристики Х. л. Наиб. важным является процесс колебательно-поступат. релаксации колебательно возбуждённых молекул:



где М — молекулы, входящие в состав активной среды Х. л.,  $v$  — колебательное квантовое число молекулы. Указанный процесс, в результате к-рого колебательная энергия молекулы, образовавшейся при протекании экзотермич. реакции, преобразуется в тепло, разрушает инверсию населённости в активной среде Х. л. и ограничивает его выходные характеристики. Эфф. преобразование хим. энергии в энергию лазерного излучения возможно только при условии, если характерное время протекания реакции (1) не превышает характерного времени процесса колебат. релаксации (2). Поскольку обычно при протекании газофазных хим. реакций выполняется противоположное условие, лишь незначит. число химически реагирующих систем пригодно для использования в качестве активной среды Х. л. с высокими выходными характеристиками.

Энергия, выделяющаяся в результате протекания экзотермич. хим. реакций, обычно распределена по значит. числу колебат. состояний молекулы — продукта реакции. Характер этого распределения определяется соотношением между временами протекания хим. реакции (1), колебат. релаксации (2), а также характерным временем процесса обмена колебат. квантами при столкновении молекул АВ между собой. Это соотношение весьма сложным образом зависит от состава активной среды лазера, темп-ры газа и определяет спектр излучения Х. л. Кроме того, молекулы, принадлежащие определ. колебат. состоянию, распределены по значит. числу вращат. состояний. При этом в силу быстрого обмена вращат. энергией при столкновениях друг с другом и с молекулами буферного газа распределение молекул по вращат. состояниям в активной среде Х. л. обычно описывается ф-лой Больцмана:

$$N_{v,J} = \frac{B}{T} (2J+1) N_v \exp \left[ -\frac{B}{T} J(J+1) \right], \quad (3)$$

где  $N_v$  — концентрация молекул, принадлежащих данному колебательному состоянию;  $B$  — вращат. постоянная молекулы;  $J$  — вращат. квантовое число, характеризующее данное вращат. состояние;  $T$  — темп-ра газа. В этих условиях в активной среде Х. л. реализуется режим частичной инверсии, когда инверсия населённости на колебательно-вращат. переходах  $P$ -ветви (переходы  $J \rightarrow J+1$ ) реализуется при нарушении условия  $N_v > N_{v-1}$ . Указанные обстоятельства влияют на характер спектра генерации Х. л., к-рый обычно состоит из большого числа колебательно-вращат. переходов  $P$ -ветви, принадлежащих неск. колебат. полосам.

Осн. параметры, характеризующие эффективность Х. л., — его хим. кпд  $\eta_x$  (отношение энергии лазерного излучения к величине энергии, выделяющейся в результате хим. реакции) и т. н. электрич. кпд  $\eta_e$  (отношение энергии лазерного излучения к энергии, затрачиваемой на иницирование хим. реакции). Т. к. энергия, требуемая для иницирования мн. экзотермич. реакций, меньше энергии, к-рая выделяется в результате протекания таких реакций, то величина  $\eta_e$  не имеет принципиальных ограничений сверху и может превышать 100%. Напр., электрич. кпд Х. л. на основе цепной реакции фтора с водородом (или дейтерием)



в определ. условиях достигает 1000%. Это связано с особенностями протекания цепной хим. реакции, для иници-