

Л. И. ГУДЗЕНКО, Л. В. ГУРВИЧ

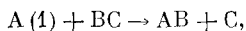
ОБ ИЗЛУЧЕНИИ НЕРАВНОВЕСНЫХ ХИМИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СРЕД

(Представлено академиком В. Н. Кондратьевым 13 V 1971)

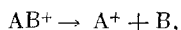
Создание широкого набора интенсивных источников характеристического излучения атомов, молекул и ионов несомненно повлияет на решение многих задач химии. Естественно ожидать и обратного влияния, так как химические методы позволяют эффективно формировать параметры таких источников. С этой точки зрения представляет интерес как использование химических реакций для интенсификации излучения при переходах атомов, молекул и их ионов ⁽¹⁾, так и анализ явлений природы ⁽²⁾.

Исходя из целесообразности использования в первом случае неравновесной плотной плазмы, будем считать доказанным (см. например, ^(3, 4)) преимущество рекомбинационного типа неравновесности ($N_e > N_e^0(T_e)$), где $N_e^0(T)$ — равновесная плотность свободных электронов, соответствующая их температуре T , N_e и T_e — фактически имеющиеся плотность и температура свободных электронов) перед ионизационным ($N_e < N_e^0(T_e)$). Поскольку интенсивность излучения на переходе $(n) \rightarrow (m) + h\nu_{nm}$ растет с заселенностью верхнего уровня (n) и падает с ростом заселенности N_m нижнего уровня, надо обеспечить энергетически емкий «нагреватель» (источник энергии и канал наполнения верхнего уровня) и емкий «холодильник» (для опустошения нижнего уровня и отвода из среды тепла). Помимо этих емкостей, мощность излучения зависит от скорости более медленного из каналов «нагрева» и «охлаждения». Будем считать, что необходимая скорость заполнения уровня (n) обеспечивается тем или иным видом рекомбинации (в случае электронных переходов тройная электрон-ионная рекомбинация с последующей столкновительно-радиационной релаксацией), и кратко обсудим возможные схемы поддержания на уровне (m) относительно низкой заселенности с помощью химической реакции и релаксационного механизма.

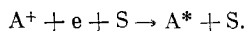
Пусть имеется смесь газов АВ и ВС большой плотности такая, что скорость реакции *



где $A(1)$ — атом A в основном состоянии, характеризуется временем $\tau_{\text{хим}}^{(1)} \sim 10^{-8}$ сек: $(\tau_{\text{хим}}^{(k)})^{-1} \equiv |N_k^{(A)}|^{-1} dN_k^{(A)} / dt$, $N_k^{(A)}$ — заселенность уровня $A(k)$. Молекулы АВ понизуются внешним источником. Будем считать, что условия эксперимента приводят к охлаждению получающихся электронов и к развалу молекулярного иона



после чего ион A^+ быстро рекомбинирует, образуя высоковозбужденный атом A^* :



Затем происходит релаксация атома A^* , в ходе которой связанный внешний электрон опускается вниз по энергетическим уровням. В среде газа

* В качестве примера можно указать смесь NaCl и Cl_2 .

ВС уравнения кинетики заселенностей $N_k^{(A)}(t)$ атома A^* принимают вид

$$dN_k^{(A)}/dt = -P_k N_k^{(A)} + \sum_{m \neq k} Q_{mk} N_m^{(A)} - R_k N_k^{(A)} N^{(BC)},$$

где величина $P_k dt$ — суммарная вероятность спонтанных и столкновительных переходов атома A из состояния (k) в любое другое, $Q_{m,k} dt$ — вероятность переходов в состояние $A(k)$ с уровня $A(m)$, значение $R_k N^{(BC)} = (\tau_{хим}^{(k)})^{-1}$ пропорционально скорости ухода атома $A(k)$ в химическую реакцию

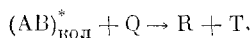


В химически однородной плотной ($N_e \approx 10^{14} \text{ см}^{-3}$) атомарной плазме с холодными ($T_e < 0,5 \text{ эВ}$) электронами релаксации A^* происходила бы ступенчато — в основном на соседние уровни, причем на высоких уровнях характерные времена релаксации сравнимы с временами пробега свободных электронов $\tau_{ee} \sim 10^{-10}$ сек. На нижних уровнях, примыкающих к основному состоянию, время релаксации значительно больше: $\tau_{(1)} \sim 10^{-6}$ сек. Ясно, что в такой ситуации отвод атомов $A(k)$ в химическую реакцию (1) с характерными временами $\tau_{хим}^{(k)} \sim 10^{-8}$ сек., практически не влияя на заселенность верхних уровней атома A , резко уменьшит заселенность нижних уровней. Таким образом возрастет оптическая глубина объема, излучающего соответствующие линии атома A , а значит, и их интенсивность. Мы не будем здесь обсуждать конкретные условия получения таким путем инверсности заселенностей и лазеров на переходах атома A .

Аналогичные рассуждения могут быть проведены и для излучения при колебательных переходах молекул. Трехчастичная химическая комбинация

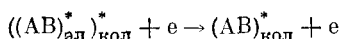


приводит к появлению возбужденных молекул $(AB)_{\text{кол}}^*$. Если плотная газовая среда такова, что молекула AB участвует в дальнейшей быстрой химической реакции



то при временах ухода AB в эту реакцию меньших, чем полное время колебательной релаксации этих молекул, их высокие колебательные уровни окажутся перезаселенными (по сравнению с равновесным заселением, связанным с нижними уровнями). В случае создания лазера на переходах $(AB)_{\text{кол}}^*$ такая среда имеет ряд преимуществ. Назовем, например, возможность использования больших активных объектов. Кроме того, значительная ширина линии излучения (связанная, помимо малых времен жизни колебательных состояний в плотном газе, с ангармонизмом колебательных переходов и с наличием изотопов) позволит получать широкополосное усиление, а также генерацию сверхкоротких импульсов.

Очищение нижних колебательных уровней может происходить и иначе. Например, если один из атомов, вступающих в реакцию (2), всегда возбужден, можно ожидать, что возбуждение получающейся молекулы будет не только колебательным, но и электронным. Тогда быстрая дезактивация электронного возбуждения таких молекул в столкновениях с холодными электронами



явится причиной значительного обеднения заселенностей нижних колебательных уровней этих молекул $((AB)_{эл}^*)_{\text{кол}}^*$. Подобное положение воз-

никает с колебательными уровнями образующихся молекулярных ионов в ходе их рекомбинации с электронами *.

Упомянутые здесь релаксационно-химические методы целесообразно сочетать с уже применяющимися схемами охлаждения газа и свободных электронов.

Физический институт им. П. Н. Лебедева
Академии наук СССР

Поступило
4 III 1971

Институт высоких температур
Академии наук СССР
Москва

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Л. И. Гудзенко, В. М. Финкельберг, Препринт ФИАН, № 16, 1967.
² Р. М. Solomon, Nature, 217, 335 (1968). ³ Б. Ф. Гордиец, Л. И. Гудзенко, Л. А. Шелепин, ЖЭТФ, 55, 942 (1968). ⁴ Л. И. Гудзенко, С. И. Яковленко, Краткие сообщения по физике, № 7 (1970).

* Примером таких молекул AB^* и AB^+ могут быть He_2^* и He_2^+ .