

ОБ АТОМНОМ РЕАКТОРЕ-ЛАЗЕРЕ НА СМЕСИ $UF_6 + TlF + F_2$

Л. И. Гудзенко, С. И. Яковленко

УДК 621.522

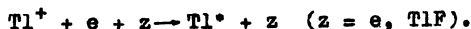
Обсуждается возможность стационарной работы атомного реактора-лазера на газе $UF_6 + TlF + F_2$. Показана непротиворечивость достаточной (для высокой заселенности верхнего рабочего уровня) энергонапряженности реактора и необходимого (для инверсии заселенностей) ограничения температуры активной среды.

В работах /1-2/ высказана идея атомного реактора-лазера (РЛ) - установки, перерабатывающей с заметным КПД энергию деления ядер в когерентный свет. Основой его конструкции должен служить газофазный гетерогенный реактор в виде трехмерной решетки параллельно расположенных энерговыделяющих элементов (ЭВЭЛов). Предполагается, что ЭВЭЛы представляют собой длинные ($L \approx 1-10$ м) узкие ($R \approx 1$ см) трубки, заполненные смесью газофазных компонентов: ядерно-активного, т.е. делящегося вещества, например, UF_6 , и лазерно-активного, на переходах атомов или молекул которого усиливается свет. Электроны образующейся в ЭВЭЛх слабо ионизованной плазмы переохлаждены, так что усиление излучения реализуется в соответствии с принципами плазменного лазера /3/. Пригодность той или иной схемы такого лазера определяется требованием совместности достаточно высокой (для эффективного рекомбинационного заполнения верхнего рабочего уровня) скорости ионизации этой плазмы и в то же время ограниченной температуры газа, при которой еще сохраняется инверсия заселенностей. Оценки /1,2/ проводились для смеси $UF_6 + He$; рассматривалась инверсия на переходах $He(n=3) \rightarrow He(n=2)$, формируемая очисткой возбужденных уровней атомов гелия реакциями Пеннинга с молекулами UF_6 . Эта смесь была выбрана в качестве легко оцениваемого примера, иллюстрирующего принципиальную осуществимость РЛ, она далеко не оптимальна прежде всего из-за сравнительно низкого КПД.

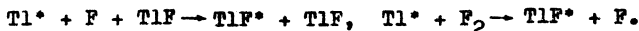
Наметим принципиальную схему стационарно работающего РЛ, у которого ЭВЭЛы заполнены смесью $UF_6 + TlF + F_2$, представляющей нам гораздо более эффективной. При этом речь пойдет о лазерной генерации на переходах $6D \rightarrow 6P_{1/2}$ в основное состояние атома таллия /4/. Ядерные осколки и порождаемый ими в газовом наполнении ЭВЭЛов каскад электронов ионизуют фторид таллия, образуя прежде всего молекулярные ионы TlF^+ . Последние или диссоциативно рекомбинируют



или же термически диссоциируют на $Tl^+ + F$, тогда рекомбинация идет в тройных соударениях



В каждом из этих каналов рекомбинации образуется возбужденный атом таллия. Инверсность заселенностей на переходе в основное состояние таллия формируется за счет двух одновременно идущих процессов: рекомбинационной накачки уровней $6D_{3/2}$ и $6D_{5/2}$, а также быстрого ухода атомов Tl в химическую реакцию со фтором:



Выясним, совместны ли в данном случае уже упоминавшиеся требования к энергонапряженности w (удельной мощности) реактора. Ее пороговое значение $w_{пор}$, необходимое для достижения в ЭВЭЛax лазерного самовозбуждения, определяемого условиями

$$w > w_{пор}, \quad \mathcal{K} > \mathcal{K}_{пор}, \quad \mathcal{K}_{пор} = \xi/L$$

(\mathcal{K} - коэффициент ненасыщенного усиления в среде, ξ - доля энергии, теряемая светом в резонаторе за один проход), можно оценить формулой /2/

$$w_{пор} = U_1 \frac{K_b}{\sigma_{ab}^{\Phi}} \frac{\xi}{L} = U_1 \frac{4\Delta\omega\xi}{\lambda^2 L} \frac{K_b}{A_{ab}}. \quad (1)$$

Здесь U_1 - средняя энергия рождения в смеси пары электрон-ион; K_b - скорость разрушения верхнего рабочего уровня; $\sigma_{ab}^{\Phi} = \lambda^2 A_{ab}/4\Delta\omega$ - сечение индуцированного излучения на рабочем переходе $b \rightarrow a$ ($b \equiv 6D_{3/2}, 6D_{5/2}, a \equiv 6P_{1/2}$ - уровни атома Tl); λ - длина вол-

ны, A_{ab} - коэффициент Эйнштейна, $\Delta\omega$ - ширина линии излучения на этом переходе.

Для стационарного поддержания на $b \rightarrow a$ инверсной заселенности необходимо обеспечить сравнительно невысокую температуру газа $T < T_{кр}$. Это условие приводит к ограничению сверху энергонапряженности анализируемого реактора $w < w_{кр}$. Оценка /2/ имеет вид

$$w_{кр} = \frac{4T_{кр}}{R^2 \sigma_{упр}} u_T, \quad (2)$$

где u_T - тепловая скорость частиц газа, $\sigma_{упр}$ - транспортное сечение упругих столкновений.

Совместность условий достаточно интенсивной рекомбинационной накачки верхнего рабочего состояния и необходимой эффективности теплоотвода, очевидно, можно записать в виде неравенства $w_{пор} < w_{кр}$. Оценим значения этих величин для обсуждаемого состава газовой среды ЭВЭЛов. Положим при этом $U_1 = 30$ эв, $\lambda = 0,4 \cdot 10^{-4}$ см, $\xi = 0,1$, $L = 300$ см, $\Delta\omega = 10^{11}$ сек $^{-1}$. Будем считать также, что $k_b \leq 3A_{ab}$; это означает, в частности, что парциальные концентрации химических составляющих смеси подобраны так, что скорость очистки верхнего рабочего состояния не превышает существенно скорости его радиационного распада. При таких значениях параметров среды формула (1) дает $w_{пор} = 1$ вт/см 2 .

Для оценки $w_{кр}$ положим $T_{кр} = 0,2$ эв. Эта величина выбрана из тех соображений, что при $T > 0,3$ эв очистка основного состояния атомов таллия начинает существенно замедляться, поскольку становятся заметными химические реакции, обратные указанным выше реакциям $Tl + F \rightarrow TlF$. Полагая также

$$u_T = 5 \cdot 10^4 \text{ см.сек}^{-1}, \quad \sigma_{упр} = 10^{-15} \text{ см}^2, \quad R = 1 \text{ см},$$

из формулы (2) получаем $w_{кр} \approx 6$ вт/см 3 . Проведенная оценка показывает, что уже механизм "обычной" теплопроводности газа обеспечивает здесь необходимую скорость охлаждения газового наполнения ЭВЭЛов.

Надо отметить, что основное для данной задачи неравенство $w_{пор} < w_{кр}$ на самом деле может быть гарантировано в несколько раз прочнее, чем это непосредственно следует из приведенных чис-

ловых значений, поскольку как величины параметров схематического расчета, так и сами схемы оценок взяты здесь с заметным запасом. Так, например, при обсуждаемых условиях заметный вклад в охлаждение активной среды должны вносить не учитываемые тут эффективные механизмы конвективной, лучистой и диссоциативной теплопроводности, длина РЛ может быть доведена до $L \approx 10$ м, коэффициент потерь света за проход можно довести до $\xi = 0,03$ и т.д. Поэтому из проведенного рассмотрения можно сделать достаточно уверенный вывод о реальности создания на основе смеси $UF_6 + TlF + F_2$ атомного реактора-лазера, эффективно работающего в стационарном режиме.

Поступила в редакцию
22 июля 1975 г.

Л и т е р а т у р а

1. Л. И. Гудзенко, С. И. Яковленко. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 2, 14 (1974).
2. Л. И. Гудзенко, И. С. Слесарев, С. И. Яковленко. Препринт ФИАН № 109, 1974 г.
3. Л. И. Гудзенко, Л. А. Шелепин, С. И. Яковленко. УФН, 114, 457 (1974).
4. L. I. Goodzenko, S. I. Yakovlenko, V. V. Yevstignejev. Phys. Lett., 53A, 105 (1975).