

Ю. Л. СТАНКЕВИЧ

О ВОЗМОЖНОСТИ ИНДУЦИРОВАННОГО УСИЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

(Представлено академиком Ю. Б. Харитоном 11 VIII 1969)

Быстрый рост сечений фотоионизации внутренних электронных оболочек атомов с уменьшением главного квантового числа при неизменной энергии квантов предлагалось использовать для создания инверсной заселенности внутренних оболочек (1). Возможность создания инверсной заселенности внутренних электронных оболочек при накачке рентгеновским излучением рассматривалась также в работе (2). Авторы работы (1) показали, что при этом в принципе возможно наблюдение индуцированного усиления характеристического рентгеновского излучения. Оценка необходимых скоростей нарастания интенсивности накачки производилась в предположении, что время жизни инверсного состояния не превышает времени жизни вакансии в изолированном атоме. Однако детальное рассмотрение структуры внутренних электронных оболочек атомов и вероятностей переходов показывает, что в ряде случаев при плотности вещества, близкой к твердотельной, возможно получение квазистационарной инверсной заселенности с многократным использованием каждого атома. Это позволяет резко увеличить время жизни инверсного состояния и снизить необходимые скорости нарастания интенсивности накачки.

Условие поддержания квазистационарной инверсной заселенности двух внутренних электронных уровней атома может быть записано в виде

$$W_{AB} < W_{B\Sigma}, \quad (1)$$

где W_{AB} — полная вероятность перехода вакансии с нижнего уровня A на верхний B ; $W_{B\Sigma}$ — вероятность заполнения вакансии на уровне B с вышележащих уровней.

По известным данным о ширине внутренних электронных атомов (3-5), условие (1) выполняется для переходов вакансий $1s_{1/2} \rightarrow 2p_{1/2}$ (линия $K_{\alpha 2}$) в атомах элементов с $Z \leq 47$ и $1s_{1/2} \rightarrow 2p_{3/2}$ (линия $K_{\alpha 1}$) при $Z \leq 36$. Благоприятное соотношение ширин уровней в этом диапазоне Z обусловлено в основном безрадиационными переходами вакансий с уровнями $2p_{1/2}$ и $2p_{3/2}$ (эффекты Оже и Костера — Кронига (4, 6)).

Поддержание стационарного инверсного состояния возможно в диапазоне температур, при которых вероятность безрадиационной рекомбинации на валентные уровни W_p (7-9) не меньше вероятности перехода вакансий между используемыми уровнями. В водородоподобном приближении (7)

$$W_p \approx 8,75 \cdot 10^{-27} Z_i^3 N_{e^2} / T^{9/2} > W_{AB}, \quad (2)$$

где Z_i — заряд ионов в единицах элементарного заряда; N_l — концентрация электронов, см⁻³; T — электронная температура, эв.

В рассматриваемом диапазоне Z отрыв нескольких валентных электронов не приводит к сдвигу линий $K_{\alpha 1,2}$ за пределы их естественной ширины (3, 10). Это позволяет при твердотельной плотности вещества усилителя сохранять инверсное состояние до температур $\approx 30 \div 100$ эв. Время существования инверсной заселенности, очевидно, будет определяться вы-

полнением условия (2), так как процесс фотоионизации K -уровня неизбежно связан со значительным энергосвободением за счет кинетической энергии фотоэлектронов и электронов Оже.

Элементарное сечение индуцированного излучения $\sigma_{1,2}$ линий $K_{\alpha 1,2}$ может быть оценено по известным экспериментальным данным о ширинах уровней:

$$\sigma_{1,2} = \frac{\lambda^2}{2\pi} \frac{\Delta K_{2,3}}{\Delta K + \Delta L_{2,3}}, \quad (3)$$

где λ — длина волны; $\Delta K_{2,3}$ — часть радиационной составляющей ширины K -уровня, соответствующая переходу $K \rightarrow L_{2,3}$; ΔK — полная ширина K -уровня; $\Delta L_{2,3}$ — ширина уровня $L_{2,3}$.

Сравнение сечений индуцированного излучения с сечениями поглощения резонансных квантов на вышележащих электронных оболочках ⁽³⁾ показывает, что усиление возможно, если в возбужденном состоянии одновременно находятся $\approx (2 \div 3) \cdot 10^{-3}$ общего количества атомов.

Квазистационарная инверсная заселенность может быть получена и для других линий рентгеновского спектра (например, для серии K_{β}), однако силы осцилляторов этих переходов обычно недостаточны для наблюдения усиления.

Поступило
5 VII 1969

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ M. A. Dugnay, P. M. Rentzepis, Appl. Phys. Lett., 10, 350 (1967). ² L. Gold, Electron. quant. c.—r. 3 conf. intern., Paris, 2, Paris—N. Y., 1964, p. 1155. ³ М. А. Блохин, Физика рентгеновских лучей, 1953. ⁴ М. А. Листенгартен, Изв. АН СССР, сер. физ., 24, 1041 (1960). ⁵ М. А. Блохин, В. П. Саченко, Изв. АН СССР, сер. физ., 21, 1345 (1957). ⁶ E. H. S. Burhop, The Anger Effect and other Radiationless Transitions, Cambridge, 1952. ⁷ Я. Б. Зельдович, Ю. П. Райзер, Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений, «Наука», 1966. ⁸ Л. П. Пятаевский, ЖЭТФ, 42, 1326 (1962). ⁹ А. В. Гуревич, Л. П. Пятаевский, ЖЭТФ, 46, 1281 (1964). ¹⁰ Е. В. Петрович и др., ЖЭТФ, 53, 796 (1968).