


АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ОРДЕНА ЛЕНИНА СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ИМ. П. В. КИРЕНСКОГО

Препринт № 223 Ф

УСИЛЕНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ БЕЗ ИНВЕРСИИ
НАСЕЛЕННОСТЕЙ НА ПЕРЕХОДАХ
В АВТОМОНИЗАЦИОННЫЕ СОСТОЯНИЯ

В. Г. Архипкин, Ю. И. Геллер

Красноярск 1983

В.А. Мухомов
См. приложение
Пермского и
Галкина на 1983
23.02.83

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ОРДЕНА ЛЕНИНА СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ИМ. Л. В. КИРЕНСКОГО

Препринт № 223 Ф

УСИЛЕНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ БЕЗ ИМПУЛЬСНОЙ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ НА ПЕРЕХОДАХ
В АВТОМОНИЗАЦИОННЫЕ СОСТОЯНИЯ

В. Г. Архипкин, В. И. Геллер

Красноярск 1983

RADIATION AMPLIFICATION WITHOUT POPULATION INVERSION
AT TRANSITIONS TO AUTOIONIZING STATES

V.G. Arkhipkin, Yu.I. Heller

The spectrum dependence of an autoionizing resonance in photo-absorption on the autoionizing state population is studied. The possibility is shown to get an amplified radiation in the region of photoabsorption minimum without the population difference inversion. The possibility of amplifying radiation in the region of induced autoionizing-like resonances in continuum is also under discussion.

Исследована зависимость спектра автоионизационного резонанса в фотопоглощении от населенности автоионизационного состояния. Показана возможность усиления излучения в области минимума фотопоглощения без инверсии разности населенностей. Обсуждается также возможность усиления излучения в области индуцированных автоионизационно-подобных резонансов в континууме.

Ответственный за выпуск
В.Г. Архипкин

С Институт физики СО АН СССР, Красноярск, 1983г.

Спектры ионизации (фотопоглощения) автоионизационных состояний имеют характерную асимметричную форму, обусловленную интерференцией различных каналов переходов в сплошной спектр (континуум). В ряде случаев интерференция может приводить к строгому обрешению в нуль вероятности ионизации или поглощения в некотором диапазоне частот ω . В теории фано $I_{1,2}$ зависимость от частоты автоионизационных резонансов (АР) имеет вид:

$$G = G_0 \left\{ 1 - \rho + \rho \frac{(x + \varphi)^2}{1 + x^2} \right\}, \quad (1)$$

где G_0 - сечение фотопоглощения в континуум в отсутствие автоионизационного состояния (АС), $x = (\omega - \omega_r) / \Gamma$ - отстройка частоты излучения от теоретического положения АС ω_r , нормированная на его характерную полуширину Γ ; ρ - безразмерный параметр контура линии, $\varphi \ll 1$ - характеризует степень интерференции различных каналов ионизации. Формула (1) описывает общий случай взаимодействия АС с несколькими различными континуумами, отличающимися состояниями электрона и положительного иона. Если имеется только один канал распада АС в континуум, то $\rho = 1$ и сечение фотопоглощения (1) обрешается в нуль при $x = -\varphi$. Классическим примером этого является АР в резонансе $\lambda \sim 206 \text{ \AA}$, связанный с возбуждением двухэлектронного состояния $2s^2P \ 1/2$. Формула (1) получена без учета населенности АС. Это приближение справедливо в газах в силу малого времени жизни АС. (Типичные времена жизни $\tau \sim 10^{-11} - 10^{-13} \text{ сек.}$) Однако, например, в плазме, возможно существование заведомо АС электронным ударом или в результате процесса рекомбинации. Тогда возникает вопрос: как изменится минимум фотопоглощения?

В данной работе исследован спектр АС с учетом его населенности. Показана возможность усиления излучения с частотой в области минимума фотопоглощения при отсутствии инверсии населенностей на данном переходе. Исследовано также усиление излучения в области искривленных автоионизационно-подобных резонансов в континууме $1/3$.

Приведем сначала кратчайшие соображения, позволяющие понять основную результат. Возможность усиления излучения основана на различных формах спектров поглощения и испускания. В отличие от дискретных состояний, АС может распадаться на нижележащие уровни по двум независимым каналам: прямого перехода и перехода через промежуточные резонансные и нерезонансные состояния континуума (посредством координатно-рационального взаимодействия АС с состояниями непрерывного спектра). Однако оба канала испускания имеют одинаковый резонансный характер, и поэтому асимметрия поглощения вероятности испускания отлична от нуля, что приводит к усилению излучения в области $x \sim -\varphi$. Отметим, что подобная особенность вероятностей поглощения и испускания реализуется при нелинейном интерференционном взаимодействии двух излучений на дискретных переходах $1/4$.

Пороговые соотношения для населенностей

Определим условия, накладываемые на соотношение населенностей уровней для возникновения усиления. Рассмотрим поглощение излучения с частотой ω , близкой к частоте перехода между дискретным состоянием n и автоионизационным ν . Вероятность поглощения излучения можно выразить через скорость ухода $\dot{N}_n(E)$ из состояния n под действием излучения $1/3, 5/1$:

$$\dot{N}_n(E) = -2 \int_m \left\{ \tilde{V}_{n\nu} \exp[i(\omega - \omega_m)t] + \tilde{V}_{m\nu} \rho_{m\nu} \right\} (2)$$

где $\tilde{V}_{\nu\nu} = \tilde{V}_{\nu\nu} + \delta_{\nu\nu} - i\Gamma_{\nu\nu}$, $\tilde{V}_{\mu\nu} = \delta_{\mu\nu} - i\Gamma_{\mu\nu}$ - эффективные неэрмитовы элементы перехода; $\rho_{\mu\nu}$ - элементы матрицы плотности,