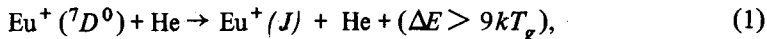


АНОМАЛЬНО БЫСТРАЯ РЕЛАКСАЦИЯ МЕТАСТАБИЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ Ca⁺, Eu, Eu⁺ И СТОЛКНОВИТЕЛЬНАЯ ГЕНЕРАЦИЯ НА ИОНАХ Ca⁺, Eu⁺, Sr⁺

П.А.Бохан

Впервые обнаружена аномально быстрая релаксация метастабильных состояний (МС) атома Eu и ионов Ca⁺, Eu⁺ в столкновениях с атомами He и Ne, а также МС Ba⁺, Ca⁺, Eu⁺, Sr⁺ в реакции квазирезонансной перезарядки на собственных атомах.

В работе ¹ было доказано, что функционирование мощного столкновительного He + Eu⁺ лазера на переходах ^{7,9}P - ⁷D⁰ обеспечивается благодаря эффективной релаксации МС ⁷D⁰ в соударениях с атомами He:



где k — постоянная Болцмана, T_g — температура газа.

Необычность реакции (1) состоит в том, что она имеет большое сечение ($\sim 10^{-16}$ см²) при дефекте энергии $\Delta E > 0,7$ эВ, значительно превышающем тепловую. Исследование процесса релаксации иона стронция показало, что, несмотря на подобие энергетической структуры Eu⁺ и Sr⁺, МС Sr⁺ слабо релаксируют в реакции (1) ². Быстрая релаксация в каких-либо других атомах и ионах металлов, насколько известно автору, не обнаружена. Это подтверждает классический вывод работы ³ и др. о том, что электронные состояния слабо разрушаются в столкновениях с атомами при больших ΔE .

В данной работе впервые сообщается о наблюдении anomalно быстрой релаксации МС $\text{Ca}^+ (^2D)$, $\text{Eu}(b^8D^0)$, $\text{Eu}(a^8D^0)$, $\text{Eu}^+ (^9D^0)$ в столкновениях с атомами Ne при $\Delta E \gg \gg kT_g$. Впервые была обнаружена эффективная релаксация и при столкновениях с атомами Ne , а также МС Ba^+ , Ca^+ , Eu^+ и Sr^+ в реакции квазирезонансной перезарядки (КП) на собственных атомах.

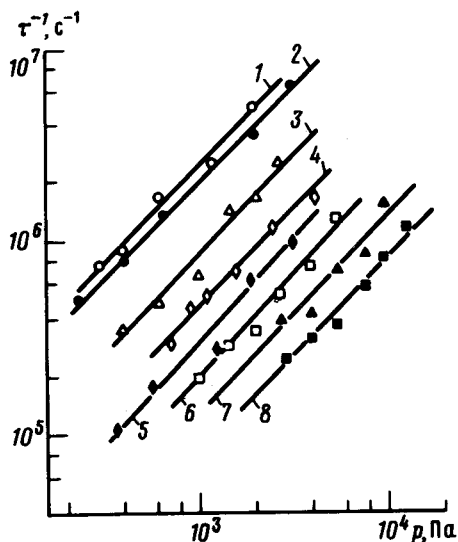


Рис. 1

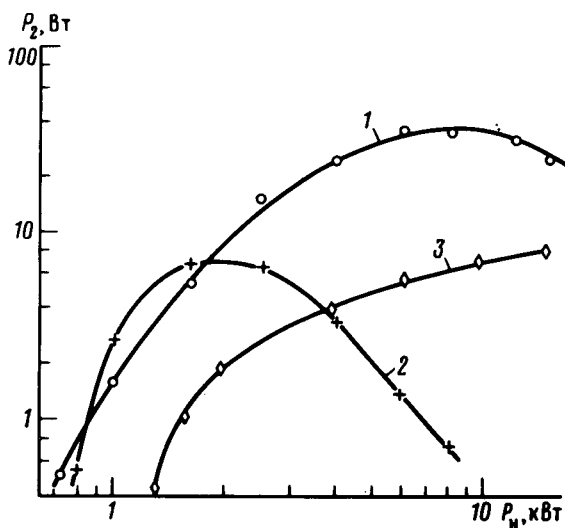


Рис. 3

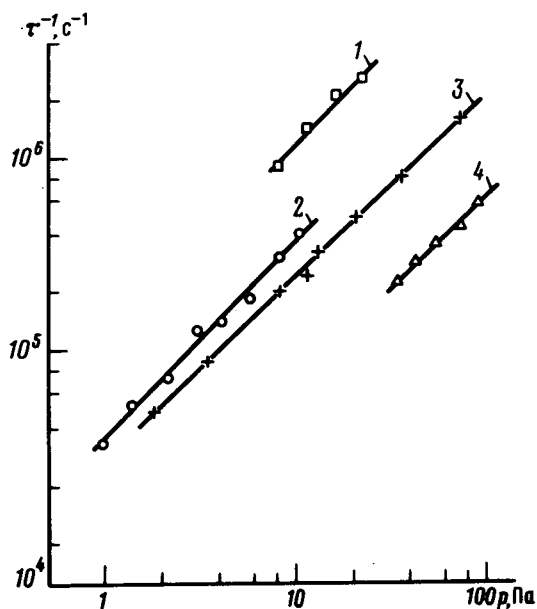


Рис. 2

Рис. 1. Зависимость обратного времени релаксации МС от давления He и Ne : 1, 2 – $\text{Eu}^+ (a^9D^0)$; 3, 7 – $\text{Eu}(b^8D^0)$; 4, 5 – $\text{Ca}^+ (^2D)$; 6, 8 – $\text{Eu}(a^8D^0)$; 1, 3, 4, 6 – с He ; 2, 5, 7, 8 – с Ne

Рис. 2. Зависимость обратного времени релаксации МС ионов от давления пара металла: 1 – $\text{Eu}^+ (^9D^0)$; 2 – $\text{Ba}^+ (^2D_{5/2})$; 3 – $\text{Sr}^+ (^2D)$; 4 – $\text{Ca}^+ (^2D)$

Рис. 3. Зависимость мощности генерации от мощности накачки в Eu^+ ($\lambda = 664,5 \text{ нм}$, 1); Ca^+ ($\lambda = 866 \text{ нм}$, 2); Sr^+ ($\lambda = 1033 \text{ нм}$, 3)

Исследование процессов девозбуждения проводилось в послесвечении слаботоочного ($i < 3A$) наносекундного ($\tau \sim 50 \text{ нс}$) разряда методом резонансной флуоресценции¹. На рис. 1 показана зависимость обратного времени релаксации МС от давления и сорта примесного газа, а на рис. 2 – от давления пара металла. Обработка этих данных дала следующие величины сечений (в 10^{-16} см^2) в столкновениях с Ne : $0,25 \pm 0,08$ для $\text{Ca}^+ (^2D)$; $0,5 \pm 0,2$ для $\text{Eu}(b^8D^0)$; $0,11 \pm 0,04$ для $\text{Eu}(a^8D^0)$; $1,4 \pm 0,4$ для $\text{Eu}^+ (^9D^0)$. Для реакций с участием неона сечения соответственно равны: $0,45 \pm 0,12$; $0,23 \pm 0,07$; $0,14 \pm 0,04$; $3,4 \pm 1,0$. Для реакции КП сечения оказались следующими: $\sigma^+ (\text{Ba}^+ (^2D_{5/2})) = (2 \pm 0,4) \cdot 10^{-14} \text{ см}^2$; $\sigma^+ (\text{Ca}^+ \cdot$

$$\cdot ({}^2D) = (1,1 \pm 0,6) \cdot 10^{-15} \text{ см}^2; \sigma^+ (\text{Eu}^+ ({}^9D^0)) = (4 \pm 1) \cdot 10^{-14} \text{ см}^2; \sigma^+ (\text{Sr}^+ ({}^2D)) = (0,5 \pm 0,1) \cdot 10^{-14} \text{ см}^2.$$

Существование быстрой релаксации типа (1) и в реакции КП благоприятствует расширению класса мощных столкновительных лазеров. Особый интерес представляет изучение возможности использования для этих целей реакции КП, так как практически для каждого возбужденного иона можно подобрать примесный атом, с участием которого реакция КП окажется достаточно эффективной.

В работе исследовалась возможность получения столкновительной генерации на ионах европия, кальция с разрушением МС в реакции типа (1) и стронция с разрушением МС в реакции КП. С этой целью смесь Ca, Eu или Sr с He возбуждалась пучками электронов, формируемыми открытым разрядом⁴. Исследования проводились в трубке из ВеО-керамики с диаметром активной области 4,5 мм, длиной 5 см при величине ускорительного зазора $\delta = 0,2$ мм и геометрической прозрачности сетки $\gamma = 0,4$. Стабилизация процесса ускорения электронов осуществлялась применением разряда через диэлектрик и объемное сопротивление⁴.

При накачке пучками быстрых частиц доля энергии, перехватываемая резонансными состояниями ионов Ca^+ , Eu^+ , Sr^+ , невелика. Поэтому возбуждение уровней ${}^7, {}^9P_j$, Eu^+ и 2P_j , Ca проводилось в реакциях перезарядки на ионах Zn^+ , а состояний 2P_j , Sr^+ на ионах Cd^+ . Сечения этих реакций, измеренные в данной работе, оказались равными $\sigma_{\text{Zn}^+ + \text{Eu}} = (1,6 \pm 1,0) \cdot 10^{-14} \text{ см}^2$; $\sigma_{\text{Zn}^+ + \text{Ca}} = (0,8 \pm 0,5) \cdot 10^{-14} \text{ см}^2$, $\sigma_{\text{Cd}^+ + \text{Sr}} = (1,5 \pm 1) \cdot 10^{-14} \text{ см}^2$. Квазинепрерывность генерации обеспечивалась благодаря высокой частоте следования импульсов накачки (до 3 МГц).

На рис. 3 показана зависимость мощности генерации P_2 от мощности накачки P_n на $\lambda = 664,5$ нм в смеси Eu + Zn + He давлением соответственно 20 ÷ 40 Па, 0,5 кПа и 50 ÷ 100 кПа; на $\lambda = 866$ нм в смеси Ca + Zn + He давлением соответственно 20 ÷ 40 Па, 0,8 кПа и 50 – 100 кПа, а также на $\lambda = 1033$ нм в смеси Sr + Cd + He давлением соответственно 1; 1,5 и 20 кПа. Возбуждение проводилось цугом импульсов с общей длительностью 1 ÷ 3 мс. До мощности накачки $P_n = 5$ кВт увеличение P_n достигалось повышением напряжения на ускорительном зазоре до 6 кВ, а при $P_n = 5 \div 15$ кВт – увеличением частоты следования импульсов с 1 до 3 МГц. В исследуемом диапазоне давлений паров Ca и Eu P_2 изменяется не более чем на 20% при глубине модуляции 10 ÷ 60 %.

Таким образом, проведенные исследования показали, что быстрая релаксация МС атомов и ионов металлов при дефектах энергии, значительно превышающих тепловую, не является уникальным свойством только состояния ${}^7D^0$ иона европия. Это открывает возможность резкого расширения класса мощных столкновительных лазеров на парах металлов.

Литература

1. Бохан П.А., Фадин Л.В. Оптика и спектроскопия, 1982, 52, 626.
2. Прокопьев В.Е., Соломонов В.Н. Квантовая электроника, 1985, 6, 1261.
3. Хастед Дж. Физика атомных столкновений, М.: Мир, 1965, гл. 13.
4. Бохан П.А., Сорокин А.Р. ЖТФ, 1985, 55, 88.

Поступила в редакцию

7 июля 1985 г.

После переработки

18 сентября 1985 г.