

ОБНАРУЖЕНИЕ ДОЛГОЖИВУЩЕГО АВТОИОНИЗАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ В СПЕКТРЕ АТОМА ГАДОЛИНИЯ

Г.И.Беков, В.С.Летохов, О.И.Матвеев,
В.И.Мишин

Впервые обнаружено автоионизационное состояние с временем жизни 0,5 нсек при селективной трехступенчатой ионизации атомов гадолиния излучением импульсных лазеров на красителях. Для энергии ионизации атома гадолиния получено значение $I = 49588 \pm 5 \text{ см}^{-1}$.

1. С разработкой методов ступенчатого возбуждения высоколежащих состояний атомов излучением импульсных перестраиваемых лазеров на красителях стали доступными для исследования автоионизационные состояния. Такие состояния расположены выше границы ионизации для внешнего электрона и обусловлены переходами электронов внутренних оболочек атома. Как правило, время жизни атома в атоионизационном состоянии мало (порядка $10^{-12} \pm 10^{-13}$ сек), так как оно определяется в основном процессом безызлучательного перехода в состояние ионизации. Автоионизационные состояния представляют как научный интерес для понимания, идентификации и расшифровки атомных спектров многоэлектронных атомов [1], так и практическую ценность для повышения сечения фотоионизации атомов лазерным излучением [2].

В настоящей работе впервые сообщается об обнаружении автоионизационного состояния с временем жизни около 10^{-9} сек в спектре атома гадолиния.

2. Атомы гадолиния в пучке возбуждались в состояния, лежащие выше границы ионизации, в три ступени излучением импульсных лазеров на красителях с перестраиваемой частотой (ширина линии генерации $\Delta\nu = 1 \text{ см}^{-1}$). Накачка лазеров на красителях осуществлялась одновременно импульсным азотным лазером (мощность в импульсе 350 кВт, частота повторения импульсов 12 гц.). На рис. 1 представлена упрощенная схема энергетических уровней атома гадолиния. Лазер на красителе первой ступени возбуждения с $\lambda_1 \approx 5618 \text{ \AA}$ переводил атомы гадолиния из основного $4f^7 5d 6s^2 {}^9D_2$ -состояния в состояние

$4f^7 5d 6s 6p \ ^9D_3^o$. Под действием излучения второго лазера с $\lambda_2 = 6351,7 \text{ \AA}$ атомы возбуждались в состояние $4f^7 5d 6s 7s \ ^9D_4^o$. Длина волны третьего лазера перестраивалась в диапазоне $6300 \div 6100 \text{ \AA}$, что позволяло возбуждать редберговские состояния и состояния, лежащие выше границы ионизации в пределах 300 см^{-1} . Лазерные лучи пересекали атомный пучок в области между электродами, на которые через 20 нсек после лазерных импульсов подавался импульс напряжения прямоугольной формы. Образующиеся ионы проходили через щель в одном из электродов и регистрировались вторично – электронным умножителем (ВЭУ). Сигнал с ВЭУ подавался на накопитель и далее на двухкоординатный самописец. На другую координату самописца подавался сигнал, пропорциональный изменению частоты лазерного излучения третьей ступени.

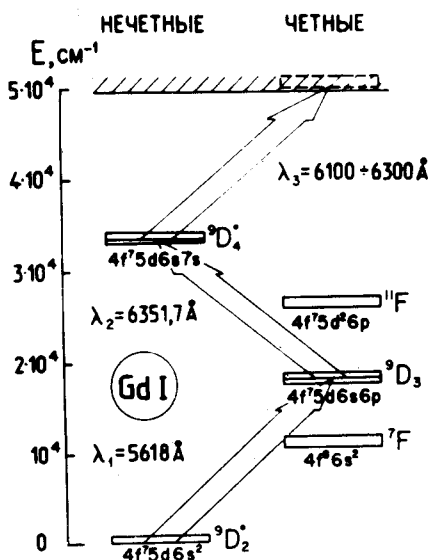


Рис. 1. Схема энергетических уровней атома гадолиния и используемые переходы

3. На рис. 2,а представлена зависимость ионного сигнала для атома гадолиния от λ_3 при плавной перестройке длины волны в области $6110 \div 6240 \text{ \AA}$. Подробное исследование поведения этой зависимости в области $\lambda_3 = 6220 \div 6225 \text{ \AA}$ позволило определить положение границы ионизации атома гадолиния. Для энергии ионизации получено значение $I = 49588 \pm 5 \text{ см}^{-1}$, что находится в очень хорошем согласии с данными работ [3]. Обращает на себя внимание интенсивный автоионизационный резонанс с $\lambda_3 = 6133,5 \text{ \AA}$. На рис. 2,б представлена запись этого участка спектра с высоким разрешением. При этом возбуждение на третьей ступени осуществлялось перестраиваемым давлением лазером на красителе с шириной линии генерации $\Delta\nu_3 = 0,03 \text{ см}^{-1}$. Ширина автоионизационного резонанса по полувысоте составляет около $0,07 \text{ см}^{-1}$, что дает оценку времени жизни состояния $\tau \sim 0,5 \text{ нсек}$. Поскольку обнаруженное состояние отстоит от границы ионизации всего на 230 см^{-1} то наиболее вероятен его распад в состояние электрон плюс ион гадолиния в основном состоянии. По-видимому, правила отбора запрещают такой распад, что приводит к увеличению времени жизни состояния. Та-

кой запрет может сниматься, например, в электрическом поле. Было зарегистрировано уширение автоионизационного резонанса до $0,35 \text{ см}^{-1}$ в относительно слабом электрическом поле с напряженностью $\mathcal{E} = 100 \text{ В/см}$.

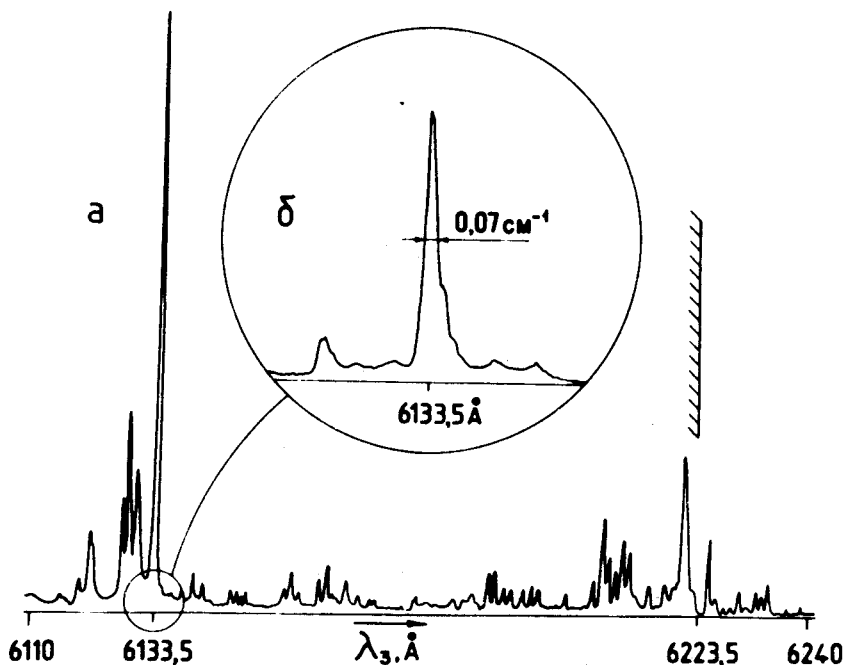


Рис. 2. *a* – Зависимость ионного сигнала от длины волны лазера третьей ступени, ширина линии генерации $\Delta\nu_3 = 1 \text{ см}^{-1}$; *б* – та же зависимость в окрестности $\lambda_3 = 6133,5 \text{ Å}$, ширина линии генерации $\Delta\nu_3 = 0,03 \text{ см}^{-1}$

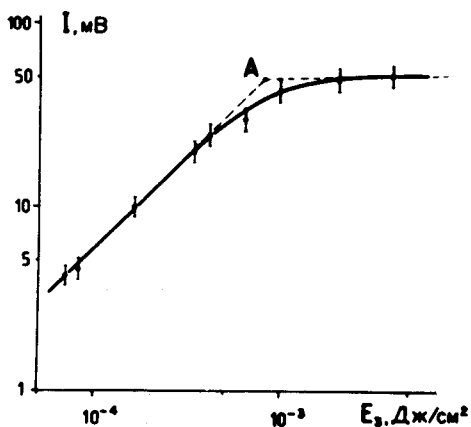


Рис. 3. Зависимость выхода ионов в максимуме автоионизационного резонанса с $\lambda_3 = 6133,5 \text{ Å}$ от плотности энергии импульса лазера третьей ступени, $\Delta\nu_3 = 0,03 \text{ см}^{-1}$

Было измерено сечение этого автоионизационного перехода по методу, предложенному в работе [4]. На рис. 3 представлена зависимость выхода ионов в максимуме резонанса (рис. 2, б) от плотности энергии

импульса лазера третьей ступени E_3 . Точка A характеризуется условием $\sigma_{\text{авт}} E_3 \approx 2h\nu_3$, отсюда следует оценка величины сечения $\sigma_{\text{авт}} \approx 8 \cdot 10^{-16} \text{ см}^2$.

4. Данный эксперимент доказал, что в спектре многоэлектронных атомов возможно существование автоионизационных состояний с временем жизни порядка 10^{-9} сек. Сечение возбуждения таких состояний становится уже сравнимым с сечением возбуждения связанных высоколежащих состояний, и эти долгоживущие автоионизационные состояния могут эффективно использоваться в методе ступенчатой ионизации атомов лазерным излучением для радикального повышения сечения фотоионизации атома.

Институт спектроскопии
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
2 августа 1978 г.

Литература

- [1] D.J.Bradley, P.Ewart, J.N.Nicholas, J.R.D.Shae, D.G.Thompson. Phys. Rev. Lett., 31, 263, 1973.
- [2] V.S.Letokhov, V.I.Mishin, A.A.Puretzky. Progress in Quantum Electronics, 5, part 3, 139, 1977; В.С.Летохов, В.И.Мишин, А.А.Пурецкий. Химия плазмы, М., атомиздат, 1977, вып. 4, стр. 3.
- [3] E.F.Worden, R.W.Solars, J.A.Paisner, J.G.Conway. JOSA, 68, 52, 1978. W.C.Martin. R.Zalubas, L.Hagan. Atomic Energy Levels - The Rare-Earth Elements, NSRDS - NBS 60, Washington, 1978.
- [4] Р.В.Амбарцумян, В.М.Апатин, В.С.Летохов, А.А.Макаров, В.И.Мишин, А.А.Пурецкий, Н.П. Фурзиков. ЖЭТФ, 70, 1660, 1976.