

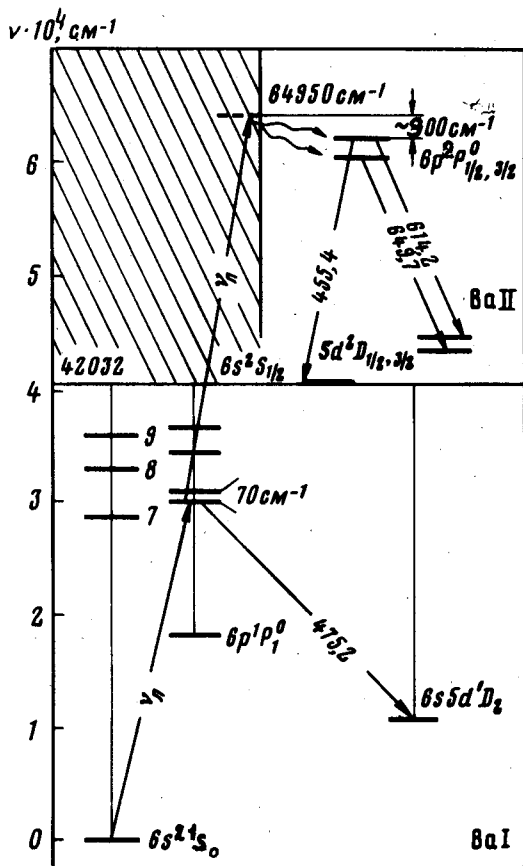
ГЕНЕРАЦИЯ В ОСНОВНОЕ И МЕТАСТАБИЛЬНЫЕ СОСТОЯНИЯ Ba^+ ПРИ ДВУХФОТОННОЙ ИОНИЗАЦИИ ПАРОВ Ba ИЗЛУЧЕНИЕМ $XeCl^*$ -ЛАЗЕРА

*В.М.Клишкин, В.Н.Николаев, В.Г.Соколов,
В.Б.Щеглов*

Получена генерация в основное состояние Ba^+ при двухфотон-
ной ионизации атомов бария излучением $XeCl^*$ -лазера. Найдены по-
роговые условия, оценены степень ионизации и эффективность накачки.

Прогресс в создании УФ-лазеров позволяет осуществить новые инте-
ресные эксперименты по фотоионизации. В частности, представляет
интерес фотоионизовать какой-либо элемент с одновременным возбуж-
дением иона, т.е. таким образом, чтобы $\Delta E = nE_f - E_i \geq E_R$, где n –
кратность процесса фотоионизации, E_f – энергия лазерного фотона,
 E_i – энергия ионизации атома, E_R – энергия возбуждения резонансно-
го состояния иона. В этом случае процесс многофотонной ионизации
среды можно наблюдать по излучению в спектре иона, а в случае резо-
нансности процесса фотоионизации – получить лазерные эффекты на пе-
реходах иона. Лазеры на моногалогенидах инертных газов позволяют
осуществить указанный выше процесс для большого числа элементов
при минимальной кратности $n = 2$.

В настоящей работе сообщается о получении генерации в основное и метастабильные состояния иона бария при двухфотонной ионизации Ва излучением ХеС1*-лазера. Выбор системы — пары бария — ХеС1*-лазер продиктован следующими соображениями. Для ХеС1*-лазера уже при $n = 2 \Delta E = 22927 \text{ см}^{-1}$, что на $\sim 900 \text{ см}^{-1}$ больше $E_R \text{ Ва}^+$. Положительный дефект энергии при незначительной расстройке от резонанса должен способствовать преимущественному возбуждению состояния $6p^2P_{3/2}^0 \text{ Ва}^+$. Кроме того, излучение ХеС1*-лазера находится в квази-резонансе с переходом атома Ва $6s^2^1S_0 - 6s7p^1P_1^0$ (расстройка $\sim 70 \text{ см}^{-1}$ для полосы 0,1 и $\sim 50 \text{ см}^{-1}$ для полосы 0,0), что является условием резонансного увеличения эффективности процесса ионизации. При обычных уровнях мощности газоразрядных ХеС1*-лазеров $\sim 10^6 \text{ Вт}$ этот переход насыщен. Рисунок поясняет процесс возбуждения резонансных уровней Ва⁺ вследствие двухфотонной ионизации Ва излучением ХеС1*-лазера.



Установка состояла из эксимерного лазера, кюветы, содержащей столб паров бария, решеточного монохроматора, ФЭУ и осциллографа. Использовался эксимерный лазер типа "ЭЛАН-01" разработки ИСЭ СО

АН СССР, в котором для обеспечения большей плотности мощности при фокусировке излучения в кювету с парами бария обычный резонатор был заменен на неустойчивый с $M = 4$. Лазер излучал $20 + 30$ мДж на $\lambda = 308$ нм за $t \sim 10$ нсек при расходимости $0,3 \cdot 10^{-3}$ рад. Кювета для получения столба паров Ва была изготовлена по технологии активных элементов лазеров на парах металлов. В такой кювете столб паров создавался в полости трубки из бериллиевой керамики $\varnothing 1,1$ см при длине 40 см. Излучение лазера фокусировалось в центральную зону кюветы линзой с $f = 60$ см. В качестве буферного газа использовался Не при давлении $0,1 + 0,5$ атм. На монохроматор выводилось излучение лазера, прошедшее через кювету, а также излучение, возникающее в кювете по направлению "вперед" и "назад".

При достижении температуры кюветы 600°C было отмечено появление спонтанного излучения, а при дальнейшем росте температуры — свертлюминесценции на хорошо известных в лазерах на парах металлов красных линиях Ba^+ с $\lambda = 614,2$ нм и $\lambda = 649,7$ нм, а также на переходе в основное состояние с $\lambda = 455,4$ нм. Насколько нам известно, генерация в основное состояние наблюдалась в атомных спектрах при фотодиссоциации молекул, например, на переходе $^2P_{1/2} - ^2P_{3/2}$ при фотодиссоциации фтор-йодозамещенных молекул углеводородов. Генерация в основное состояние иона наблюдалась в данной работе впервые.

Интенсивность свертлюминесценции быстро нарастала с ростом температуры до 850°C и затем стабилизировалась. Стабилизация энергии излучения коррелировала с появлением интенсивного ВКР на $\lambda = 475$ нм (см. рисунок), которое наблюдалось в [1]. Эффективность ВКР по числу фотонов достигает 30%, поэтому насыщение мощности генерации на переходах иона обусловлено снижением плотности мощности накачки вследствие потерь при ВКР.

Наблюдение описанных выше лазерных эффектов свидетельствует о том, что процесс фотоионизации в нашем случае является селективным. Степень селективности весьма высока, так как из двух подуровней состояния $6p^2 P_{1/2, 3/2}^o$ с $\Delta E = 1691 \text{ см}^{-1}$ эффективнее возбуждается уровень $^2P_{3/2}$, находящийся в лучшем резонансе с накачкой. В настоящее время нельзя однозначно указать, какой из механизмов фотоионизации — непосредственно в континуум или через автоионизационное состояние — имеет место в нашем случае. Известно, что хотя автоионизационные резонансы узки [2], но характеризуются сечением 10^{-15} см^2 , поэтому автоионизационный механизм представляется весьма вероятным.

Наличие лазерных эффектов позволяет провести некоторые оценки для двухфотонной фотоионизации. Визуальное наблюдение процесса генерации с торца кюветы при условиях, близких к пороговым, позволило установить, что излучение развивается в области "перетяжки" луча накачки, максимальное сечение области генерации составляло $1 + 2 \text{ мм}^2$ (для красных линий). Это соответствовало концентрации паров Ва $2,2 \times 10^{14} \text{ см}^{-3}$, плотности мощности накачки $6 \cdot 10^7 \text{ Вт/см}^2$. Используя известное эмпирическое условие развития свертлюминесценции $\kappa_e l \geq 30$ можно оценить степень ионизации среды и концентрацию электронов n_e . При сечении области генерации 2 мм^2 длина активной зоны составляет ~ 9 см. В предположении доплеровского контура линий Ba^+ оценка

разности концентрации частиц в состояниях ${}^2P_{3/2, 1/2}$ и ${}^2D_{5/2, 3/2}$ дает $\Delta N = 2 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$. Взяв полученное значение ΔN за нижнюю оценку плотности состояний Ba^+ , просуммировав по всем рассматриваемым состояниям Ba^+ , получим нижнюю оценку плотности электронов $n_e \sim 10^{13} \text{ см}^{-3}$. Таким образом, степень ионизации Ba составляет $\sim 10^{-1}$, а эффективность процесса двухфотонной ионизации по отношению к накачке $n_e/Nf \cong 10^{-3}$.

В связи с обнаруженной в настоящей работе селективностью процесса двухфотонной фотоионизации следует отметить следующее. Такой процесс приводит к быстрой ($t \sim 10$ нсек) генерации электронов с энергией порядка расстройки и распределением по энергиям, отражающим степень селективности. В нашем случае генерируются электроны с энергией $\sim 0,1$ эВ. Такой вид ионизации является существенно отличным от традиционных способов ионизации, таких как электрические разряды, пучки электронов и т.д. Не трудно понять, что процесс рекомбинации плазмы, созданной при селективной фотоионизации, также будет иметь особенности, в частности, рекомбинация такой плазмы будет протекать более интенсивно, чем плазмы газового разряда. В настоящей работе наряду с генерацией в спектре иона, наблюдалась генерация на шести видимых линиях атома бария, принадлежащих триплетной системе уровней. Механизм накачки этих переходов носит, по-видимому, рекомбинационный характер [3].

Авторы признательны В.Е.Прокопьеву за полезные обсуждения результатов работы.

Институт оптики атмосферы
Академии наук СССР
Сибирское отделение

Поступила в редакцию
3 июня 1981 г.

Литература

- [1] D.Gotter, W.Zapka. Opt. Comm., 26, 251, 1978.
- [2] Г.И.Веков, В.С.Летохов, О.И.Матвеев, В.И.Мишин. Письма в ЖЭТФ, 27, 308, 1978.
- [3] В.В.Лебедев, А.С.Проворов, В.И.Трошин, А.А.Черненко, В.П.Чеботаев. Письма в ЖТФ, 6, 22, 1980.