

Литература

- [1] Б. И. Степанов, А. Н. Рубинов. Усп. физ. наук, 95, 45, 1968.
- [2] Я. С. Бобович, А. В. Борткевич. Опт. и спектр., 26, 1060, 1969.
- [3] Я. С. Бобович, А. В. Борткевич. Письма в ЖЭТФ, 11, 85, 1970.
- [4] Я. С. Бобович, А. В. Борткевич. Опт. и спектр., 28, 474, 1970.
- [5] А. В. Борткевич, Я. С. Бобович, Н. М. Беляевская. Опт. и спектр., 28, 688, 1970.
- [6] Я. С. Бобович, А. В. Борткевич. Усп. физ. наук, 103, 3, 1971.
- [7] W. Maier, F. Dögg. Appl. Spectr., 14, 1, 1960.

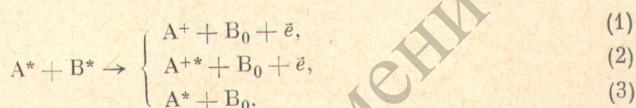
Поступило в Редакцию 20 июля 1971 г.

УДК 539.186.3

ВОЗБУЖДЕНИЕ ИОНА КСЕНОНА ПРИ СТОЛКНОВЕНИЯХ МЕТАСТАБИЛЬНЫХ АТОМОВ КСЕНОНА И ГЕЛИЯ

O. P. Бочкова и Ю. A. Толмачев

Процесс неупругих столкновений двух возбужденных атомов может происходить в зависимости от энергии возбуждения взаимодействующих частиц по следующим каналам:



Сталкивающиеся частицы A^* и B^* могут быть как атомами одного и того же элемента, так и разных элементов.

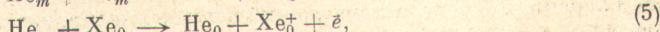
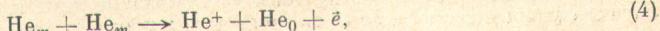
Реакция первого типа впервые наблюдана Бионди [1] при изучении спада концентрации заряженных частиц в распадающейся гелиевой плазме. Парные столкновения метастабильных атомов гелия приводят к образованию атомарных или молекулярных ионов и увеличению концентрации электронов в послесвечении. Эксперименты по измерению величины эффективного сечения этого процесса [2, 3] дали $\sigma = (1 \div 2) \cdot 10^{-14} \text{ см}^2$. Первая теоретическая оценка [4], дала величину, на четыре порядка меньшую — 10^{-18} см^2 . В 1969 г. [5] выполнены расчеты сечения раздельно для 2^1S - и 2^3S -состояний гелия. Полученные значения — $6.9 \cdot 10^{-15} \text{ см}^2$ для уровня 2^1S и $6.5 \cdot 10^{-15} \text{ см}^2$ для 2^3S — мало отличаются от экспериментальных.

В настоящей работе исследуются столкновения двух возбужденных атомов, приводящие к ионизации одного из них с одновременным его возбуждением — реакция (2). Этот процесс сопровождается излучением возбужденного иона и его можно зафиксировать спектроскопическими методами.

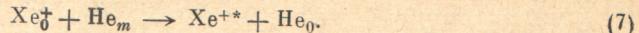
Исследования производились в послесвечение газоразрядной плазмы в смеси гелия с ксеноном. Схема экспериментальной установки приведена в работе [6]. Наблюдалось излучение линий ионизированного ксенона после обрыва разрядного тока через трубку с исследуемой смесью. Разрядная трубка имела диаметр 3.5 см и длину 60 см; сила тока 35 ма. Суммарное давление газа во время измерений составляло $2.5 \div 4.0$ мм рт. ст., концентрация ксенона не превышала 0.2%. Увеличение количества ксенона приводит к разрушению метастабильных состояний гелия вследствие реакции Пеннинга и исчезновению послесвечения на искровых линиях ксенона. Регистрация излучения из-за малой яркости линий Xe II в послесвечении разряда осуществлялась в режиме счета фотонов методом задержанных совпадений.

Схема относительного расположения уровней системы частиц дана на рис. 1. В результате реакции (2) может заселяться большая группа возбужденных состояний Xe^+ , расположенных ниже границы, соответствующей суммарной потенциальной энергии двух метастабильных атомов ($16 \div 18$ эв выше основного уровня Xe^+). Длительное послесвечение наблюдалось нами на линиях с квартетных уровнях ионизированного ксенона, имеющих энергию возбуждения $13.86 \div 17.24$ эв. Заселение этих состояний в послесвечении разряда может быть обусловлено несколькими процессами.

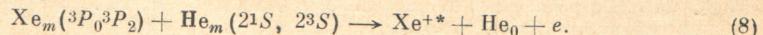
1. Ступенчатым возбуждением иона, находящегося в основном состоянии. Быстрые электроны в послесвечении могут образовываться в результате реакций (4) и (5)



2. Возбуждением иона Xe_0^+ при неупругом столкновении с метастабильными атомами гелия (удар II рода)



3. Возбуждением при парных столкновениях метастабильных атомов ксенона и гелия



4. Каскадными переходами с уровней, заселенных в результате предыдущей реакции.

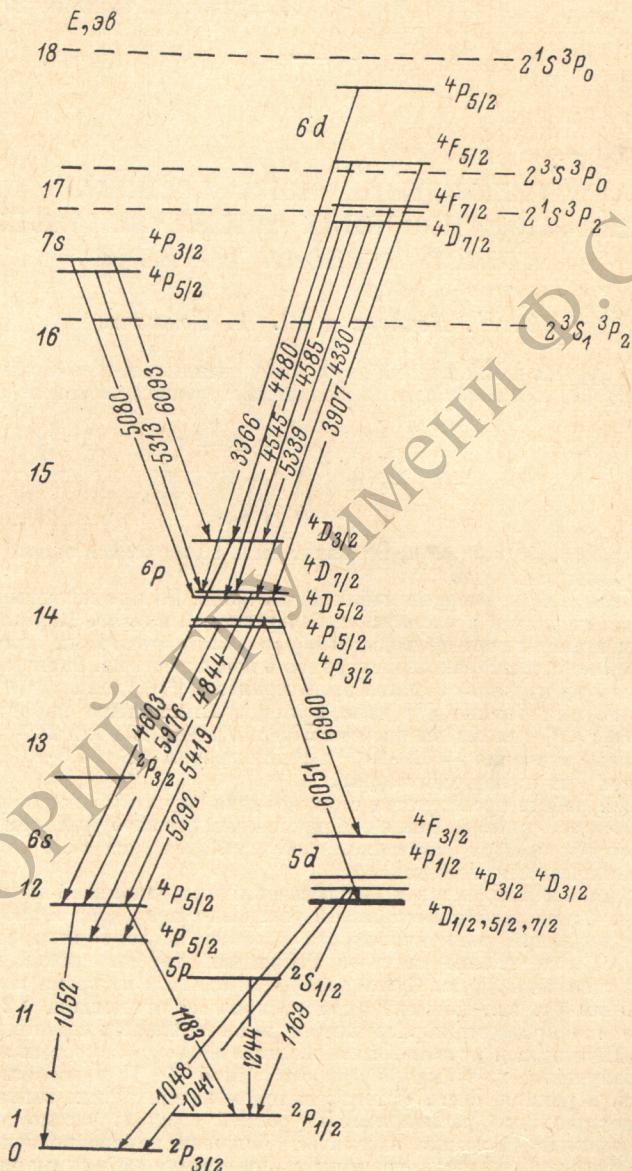


Рис. 1.

Проведенные оценки показывают, что первые из указанных процессов не могут играть существенной роли в заселении возбужденных уровней иона ксенона, так как электроны очень быстро теряют свою энергию при упругих столкновениях с атомами гелия. Вторая реакция — неупругое столкновение двух возбужденных частиц — аналогична ударом второго рода, поэтому она должна иметь ярко выраженный резонансный характер. В результате подобных столкновений может заселяться груша уровней, лежащих в узкой полосе вблизи от $E=19.82$ и $E=20.61$ эв. Послесвещение на соответствующих линиях обнаружено не было.

Таблица 1

Излучение с бр				Каскад на бр			
верхний уровень	λ , нм	t , мксек.	$N_{\text{кв}} \cdot 10^{-11}$	верхний уровень	λ , нм	t , мксек.	$N_{\text{кв}} \cdot 10^{-11}$
$5p^4 6p \ ^4D_{5/2}$	514.9	{ 5 20	1.1 0.84	$5p^4 6p \ ^4F_{7/2}$	433.0	{ 5 20	0.71 0.24
$5p^4 6p \ ^4D_{5/2}$	699.0	{ 5 20	0.88 0.35	$5p^4 7s \ ^4P_{3/2}$	508.0	{ 5 20	0.77 0.39
$5p^4 6p \ ^4D_{5/2}$	484.4	{ 5 20	0.62 0.51	$5p^4 6d \ ^4D_{7/2}$	458.5	{ 5 20	0.85 0.66
$5p^4 6p \ ^4D_{5/2}$	460.3	{ 5 50	0.31 0.14	$5p^4 6d \ ^4F_{5/2}$	531.3	{ 5 20	1.32 0.52
					448.0	{ 5 50	0.10 0.004

Столкновение двух метастабильных атомов, приводящее к образованию возбужденного иона, сопровождается появлением третьей частицы — электрона. Освобождающийся электрон может унести значительную часть энергии системы частиц, поэтому в результате реакции (8) могут заселяться все уровни, расположенные ниже терма системы (He_m , Xe_m). Роль каскадных переходов в заселении состояний конфигурации $5p^4 6p$, $6s$, $5d$, $5p$ относительно невелика. В табл. 1 приведено число квантов, испущенных с $5p^4 6p$ -уровней, и число каскадных переходов на эти уровни, определенное по наиболее ярким линиям через $5 - 20$ мксек. после обрыва импульса тока. Сравнение числа

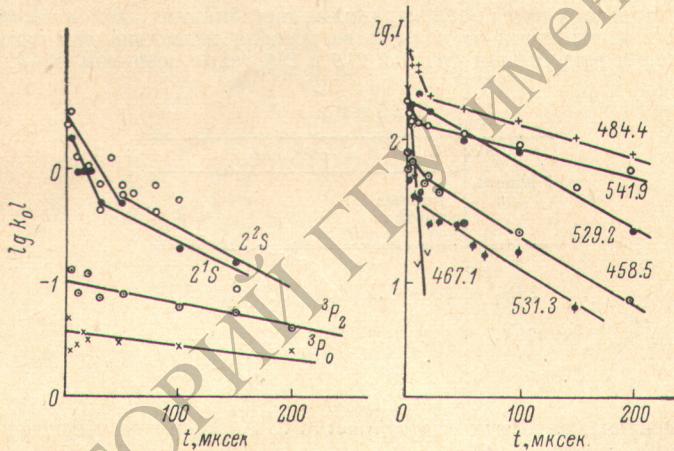


Рис. 2.

квантов показывает, что вклад каскадных переходов в заселение уровней $5p^4 6p$ составляет не более 25%. Наблюдаемое время послесвечения на три порядка превосходит радиационные времена жизни уровней Xe II , которые, по данным работы [7], не превышают 14 мсек.

Таким образом, можно предполагать, что заселение состояний $6p^4 P_{3/2}, 5/2, 4D_{5/2}, 7/2$, так же как и состояний $7s^4 P_{3/2}, 5/2$, происходит в результате парных столкновений метастабильных атомов (реакция 8). Наблюдаемый характер спада заселенности метастабильных уровней ксенона ($^3P_0, ^3P_2$) и гелия ($2^1S, 2^2S$), а также яркости линий искрового спектра ксенона $\lambda = 699.0, 605.1, 597.6, 541.9, 531.3, 529.2, 484.4, 458.5$ нм и др. в послесвечении разряда подтверждает это предположение. Ход заселенности метастабильных уровней He и Xe и изменение яркости ряда линий ионизированного ксенона в послесвечении разряда приведены на рис. 2. При вычислении концентрации метастабильных атомов ксенона для чисел f использовались данные работы [8]. На этом же рисунке для сравнения приведено изменение яркости линии 467.1 нм атомарного ксенона, затухающей в течение нескольких микросекунд. В условиях эксперимента не представлялось возможным измерить яркость излучения в вакуумной ультрафиолетовой области спектра, хотя очевидно, что реакция (8) в отличие от реакции Пеннинга (5) должна сопровождаться излучением с уровнями $6s, 5p, 5d$.

Полученные нами значения эффективных сечений возбуждения ряда линий Xe II приведены в табл. 2. Отсутствие сведений о вероятностях переходов не позволило

Таблица 2

λ , нм	Верхний уровень	Энергия возбуждения	Реакция возбуждения	$\sigma \cdot 10^{16}$, см ²
669.0	$5p^46p\ ^4D_{7/2}$	14.10		0.6 ± 0.4
605.1	$5p^46p\ ^4P_{5/2}$	13.89		0.3 ± 0.1
597.6	$5p^46p\ ^4P_{3/2}$	13.86		0.7 ± 0.2
541.9	$5p^46p\ ^4D_{5/2}$	14.07	$\text{He}(23S) + \text{Xe}(3P_2)$	1.0 ± 0.5
529.2	$5p^46p\ ^4P_{1/2}$	13.89		2.0 ± 1.0
484.4	$5p^46p\ ^4D_{7/2}$	14.10		1.0 ± 0.6
460.3	$5p^46p\ ^4D_{3/2}$	14.48		0.007 ± 0.002
531.3	$5p^47s\ ^4P_{5/2}$	16.43		0.6 ± 0.3
508.0	$5p^47s\ ^4P_{3/2}$	16.51		0.5 ± 0.2
458.5	$5p^46d\ ^4D_{7/2}$	16.80	$\text{He}(2^1S) + \text{Xe}(3P_2)$	0.4 ± 0.2
433.0	$5p^46d\ ^4F_{7/2}$	16.93		0.2 ± 0.1
436.9	$18_{1/2}$	16.93		2.4 ± 0.3

нам вычислить эффективные сечения возбуждения уровней, за исключением состояния $6d^4F_{7/2}$. Для него известно отношение $\sum A_{ik}/A_{433.0} = 1.355$ [11], следовательно, сечение возбуждения уровня $6d^4F_{7/2}$ равно $0.27 \cdot 10^{-16}$ см².

Изучение характера спада концентрации метастабильных атомов гелия в послесвечении разряда в зависимости от количества ксенона позволило нам также измерить суммарные сечения разрушения уровней 2^1S и 2^3S гелия ксеноном (табл. 3).

Таблица 3

Уровень He	$\sigma \cdot 10^{16}$, см ²		
	данные авторов	[⁹]	[¹⁰]
2^3S_1	1.4 ± 0.2	1.4 ± 0.3	4.55
2^1S_0	1.2 ± 0.3	10.3 ± 0.5	—

Авторы выражают глубокую благодарность С. Э. Фришу за обсуждение результатов и неизменный интерес к работе.

Литература

- [1] M. A. Biondi. Phys. Rev., 82, 543, 1951; 88, 660, 1952.
- [2] A. V. Phelps, J. P. Molnar. Phys. Rev., 89, 1202, 1953.
- [3] W. B. Hurt. J. Chem. Phys., 45, 2713, 1966.
- [4] O. van Roos. J. Chem. Phys., 30, 729, 1959.
- [5] K. Kutsuura, VAL o Dato. Sixth Intern. Conf. of Physics of Electronic and Atomic Collisions, Abstracts, p. 887, 1969.
- [6] О. П. Бочкова, Ю. А. Толмачев. Опт. и спектр., 25, 342, 1968.
- [7] L. Allen, D. G. Jones, D. G. Schofield. J. Opt. Soc. Amer., 59, 842, 1969.
- [8] В. П. Малахов. Изв. вузов, сер. физ., 8, № 1, 180, 1965.
- [9] E. E. Benton, E. E. Ferguson, F. A. Matsen, W. W. Robertson. Phys. Rev., 128, 206, 1962.
- [10] E. E. Ferguson. Phys. Rev., 128, 210, 1962.
- [11] Р. Т. Каримов, В. М. Климкин. Изв. вузов, сер. физ., № 3, 24, 1971.

Поступило в Редакцию 27 октября 1971 г.