

УДК 539.184.5

СЕЧЕНИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ ОДНОЗАРЯДНОГО ИОНА МЕДИ

Смирнов Ю. М.

Измерены сечения возбуждения переходов CuII при энергии электронов 50 эВ и оптические функции возбуждения в области от пороговой до 250 эВ.

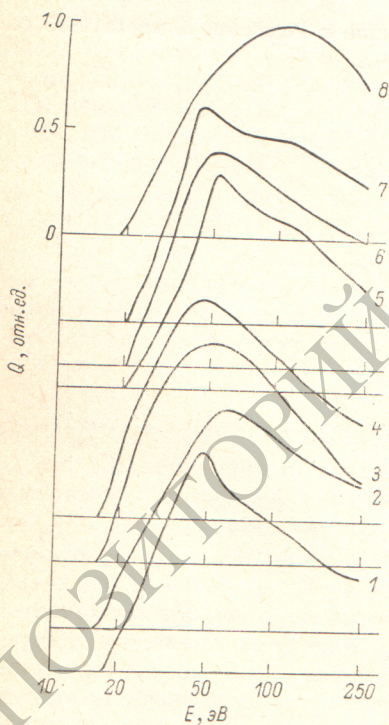
Как известно [1, 2], на переходах однозарядного иона меди получена эффективная генерация когерентного излучения в ИК и видимой областях спектра. Однако информация о силах осцилляторов иона меди весьма ограничена [3], а о сечениях возбуждения электронным ударом вообще отсутствует. Попытка изучения ионных переходов меди, предпринятая в [4], оказалась безуспешной.

В настоящей работе на установке, предназначенной для измерения сечений возбуждения методом пересекающихся пучков, впервые измерены сечения возбуждения 83 переходов CuII при энергии электронов 50 эВ; для 42 переходов измерены энергетические зависимости сечений (оптические функции возбуждения, ОФВ) в области энергий от пороговой до 250 эВ. Исследован процесс прямого возбуждения ионных переходов, т. е. возбуждения из основного состояния атома меди с одновременной однократной ионизацией.

Техника и методика эксперимента подробно описаны в [4] и других предшествующих работах; по сравнению с [4] внесены лишь следующие изменения: вместо кантов молекулярного иона азота в качестве эталона при калибровке абсолютных величин сечений использованы линии атома гелия, сечения возбуждения которых измерены в [5] с погрешностью 3.5—9%; создана система автоматического деления фототока на ток пучка возбуждающих электронов, позволяющая непосредственно регистрировать ненормированные ОФВ; создана система автоматической стабилизации концентрации атомов

металла в пучке, позволяющая снизить отклонение концентрации от заданного значения до 2%; создан испарительный тигель новой конструкции, позволивший повысить концентрацию атомов меди в пучке и одновременно устранить электронную бомбардировку поверхности меди при ее испарении.

Результаты измерений для 42 переходов CuII представлены в таблице, где даны длина волны, переход и внутреннее квантовое число согласно [6], энергия положения нижнего и верхнего уровней, сечения возбуждения при энергии электронов 50 эВ и в максимуме ОФВ, положение максимума и форма ОФВ в соответствии с нумерацией кривых на рисунке. Как следует из полученных результатов, сечения возбуждения



Сечения возбуждения переходов однозарядного иона меди

Номер	λ , нм	Переход	J	E_H , эВ	E_B , эВ	$Q_{50 \text{ эВ}}$, $\cdot 10^{-18}$, см^2	Q_{max} , $\cdot 10^{-18}$, см^2	E_{max} , эВ	ОФВ
1	201.558	$4s^3D-4p^1P^0$	1-1	10.71	16.85	1.32	1.32	48	1
2	201.689	$4s^3D-4p^3D^0$	3-2	10.45	16.59				
2	211.210	$4s^1D-4p^1P^0$	2-1	10.99	16.85	2.18	2.18	48	1
3	213.434	$4s^1D-4p^3D^0$	2-1	10.99	16.79	2.32	2.32	50	4
3	213.598	$4s^3D-4p^3F^0$	3-4	10.45	16.25				
4	214.898	$4s^3D-4p^3F^0$	3-3	10.45	16.22	0.94	0.94	50	3
5	219.227	$4s^3D-4p^3F^0$	2-3	10.56	16.22	1.90	1.90	50	3
6	224.700	$4s^3D-4p^3P^0$	3-2	10.45	15.69	1.64	1.77	60	2
7	229.437	$4s^3D-4p^3P^0$	2-2	10.56	15.96	0.58	0.63	60	2
8	236.929	$4s^1D-4p^3F^0$	2-3	10.99	16.22	0.28	0.28	50	3
9	240.334	$4p^3P^0-5s^3D$	2-3	15.69	21.12	0.13	0.13	45	7
10	250.627	$4p^3F^0-5s^3D$	3-2	16.22	21.16	0.26	0.27	55	6
11	252.930	$4p^3D^0-5s^1D$	3-2	16.51	21.41	0.15	0.16	52	5
12	254.481	$4p^3F^0-5s^3D$	4-3	16.25	21.12	0.30	0.31	45	7
13	260.027	$4p^1F^0-5s^1D$	3-2	16.65	21.41	0.25	0.26	52	5
14	268.930	$4p^3D^0-5s^3D$	3-3	16.51	21.12	0.16	0.16	45	7
15	270.096	$4p^1D^0-5s^1D$	2-2	16.82	21.41	0.21	0.22	52	5
16	271.351	$4p^3D^0-5s^3D$	2-2	16.59	21.16	0.12	0.12	55	6
17	271.878	$4p^1P^0-5s^1D$	1-2	16.85	21.41	0.17	0.17	52	5
18	274.527	$4p^1F^0-5s^3D$	3-2	16.65	21.16	0.10	0.10	55	6
19	354.874	$4p^3F^0-7s^3D$	3-3	22.19	25.68	0.032	0.049	130-150	10
20	404.350	$4p^3D^0-4s^2^1G$	3-4	16.51	19.58	0.14	0.18	110-120	8
21	454.103	$5p^1P^0-7s^3D$	1-2	22.96	25.69	0.020	0.023	90-100	9
22	455.592	$4p^3P^0-4s^2^3P$	2-2	15.96	18.68	0.095	0.103	80	12
23	468.777	$5p^1D^0-7s^3D$	2-2	23.05	25.69	0.018	0.020	90-100	9
24	481.294	$4d^1P-4f^1D^0$	1-2	22.26	24.84	0.037	0.050	75-80	13
25	483.224	$4p^3P^0-4s^2^3P$	1-1	16.15	18.72	0.014	0.016	90-100	11
26	488.969	$4p^3P^0-4s^2^3P$	1-2	16.15	18.68	0.027	0.029	80	12
27	493.720	$4d^3D-4f^3F^0$	1-2	22.35	24.86	0.024	0.025;	38; 80	15
27	493.797	$4d^3P-4f^3P^0$	1-2	22.07	24.58				
28	494.302	$4d^3P-4f^3P^0$	2-1	22.07	24.57	0.025	0.026;	43; 115	14
29	495.597	$4d^3G-4p^1^3G^0$	4-4	22.07	24.57	0.048	0.048		
30	502.403	$4d^3F-4f^3G^0$	4-4	22.16	24.62	0.041	0.047	65	17
31	503.900	$4d^1D-4f^1D^0$	2-2	22.38	24.84	0.015	0.020	75-80	13
32	504.132	$4d^3D-4f^3P^0$	3-2	22.12	24.58	0.045	0.047;	38; 80	15
33	507.229	$4d^3F-4f^3F^0$	3-3	22.15	24.60	0.034	0.043		
34	508.399	$4d^3F-4f^3F^0$	4-3	22.16	24.60	0.016	0.020	70	16
35	508.826	$4d^3D-4f^3F^0$	2-3	22.16	24.60	0.028	0.035	70	16
35	508.849	$4d^1F-4f^1P^0$	3-3	22.42	24.86				
35	508.893	$4d^3D-4f^3F^0$	2-3	22.16	24.60	0.028	0.029;	43; 115	14
36	518.336	$4d^3P-4f^3P^0$	0-1	22.18	24.57				
37	559.373	$4d^1D-4f^3F^0$	2-3	22.38	24.60	0.021	0.026	90-100	11
38	584.267	$4p^3D^0-4s^2^3P$	2-1	16.59	18.72	0.059	0.069	80	12
39	592.690	$4p^3D^0-4s^2^3P$	2-2	16.59	18.68	0.057	0.062	80	12
40	608.032	$4p^1F^0-4s^2^3P$	3-2	16.65	18.68	0.050	0.054	80	12
41	644.849	$4p^3D^0-4s^2^3P$	1-1	16.79	18.72	0.042	0.049	90-100	11
42	655.158	$4p^3D^0-4s^2^3P$	1-1	16.79	18.68	0.040	0.043	80	12

переходов однозарядного иона меди в исследованной области спектра значительно уступают атомным (резонансные переходы CuII, находящиеся в вакуумном ультрафиолете, нами не изучались). Лишь для пяти переходов сечения возбуждения имеют величину $(1-3) \cdot 10^{-18} \text{ см}^2$, тогда как для переходов с уровней, лежащих вблизи 21 эВ, характерны величины сечений около 10^{-19} см^2 , а для более высоколежащих и для расположенных вблизи 18 эВ — около 10^{-20} см^2 . В связи с малой величиной оптического сигнала для большинства исследованных переходов погрешность относительных величин сечений достигает 10—15 %, а абсолютных — 25—30 %.

Большинство зарегистрированных переходов относится к триплетной системе термов; значительно уступают им по численности переходы в синглетной системе и интеркомбинационные. Следует отметить, что для переходов с длинами волн 508.826 и 508.893 нм в [6] даны тождественные наборы квантовых

чисел верхних и нижних состояний; определить верные значения квантовых чисел на основе имеющейся информации нам не удалось.

Анализ форм ОФВ показывает, что у большинства зарегистрированных ОФВ максимум расположен далеко от порога возбуждения; такое положение максимума характерно для процессов возбуждения с одновременной ионизацией. Особенно далеко отстоят от порога возбуждения максимумы ОФВ переходов с высоколежащих состояний $7s^3D_{2,3}$, а также переходов из состояний $4s^2^1G_4$ и $4S^2^3P_{1,2}$, при возбуждении которых один из $3d$ -электронов покидает атом меди, а другой переходит в $4s$ -оболочку, дополняя ее до замкнутой.

Как правило, острые и сравнительно узкие максимумы обнаруживаются у ОФВ переходов из синглетных состояний $CuII$; при этом по мере роста орбитального момента оболочки иона максимумы ОФВ отодвигаются в область более высоких энергий. У переходов в триплетной системе термов ОФВ подуровней, различающихся только по J , близки по форме, однако не тождественны. Различия форм ОФВ спектральных линий одного мультиплета могут возникать как из-за неодинакового относительного вклада каскадных процессов заселения подуровней, так и вследствие различий в процессе прямого заселения соответствующих подуровней, особенно с большими значениями полного момента оболочки.

Выражаю благодарность П. А. Колосову за помощь в проведении измерений.

Литература

- [1] Scillag L., Janossy X., Rozsak N., Salamon T. — Phys. Lett., 1974, v. A50, N 1, p. 13—14.
- [2] McNeil J. R., Collins G. J., Persson K. B., Franzen D. P. — Appl. Phys. Lett., 1975, v. 27, N 11, p. 595—597.
- [3] Касабов Г. А., Елисеев В. В. Спектроскопические таблицы для низкотемпературной плазмы. М., 1973, с. 122.
- [4] Красавин А. Ю., Кученев А. Н., Смирнов Ю. М. — ЖПС, 1982, т. 36, № 6, с. 912—917.
- [5] Van Zyl B., Dunn G. H., Chamberlain G., Heddle D. W. O. — Phys. Rev. A, 1980, v. 22, N 5, p. 1916—1929.
- [6] Стриганов А. Р., Свентицкий Н. С. Таблицы спектральных линий нейтральных и ионизованных атомов. М., 1966, с. 506—522.

Поступило в Редакцию 6 февраля 1984 г.