

УДК 539.184.52 : 546.77

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ
АТОМНЫХ КОНСТАНТ Mo I (f_{ik} , τ_k)

Г. А. Плехоткин, А. М. Шухтин и Я. Ф. Веролайн

Методом крюков определены относительные значения сил осцилляторов ряда спектральных линий Mo I. Многоканальным методом задержанных совпадений в пересекающихся атомном и электронном пучках измерены радиационные времена жизни возбужденных состояний Mo I. По результатам этих измерений произведен расчет абсолютных значений сил осцилляторов.

Абсолютные значения сил осцилляторов, радиационные времена жизни возбужденных состояний являются важнейшими характеристиками атомных систем. Значения этих фундаментальных констант крайне необходимы для исследований в таких областях современной физики, как квантовая электроника, теоретическая и прикладная спектроскопия, физика плазмы, астрофизика.

Однако имеющийся в настоящее время теоретический и экспериментальный материал по определению этих констант остается недостаточным. Теоретические расчеты для таких сложных атомов, как молибден, отсутствуют. Таким образом, основную и наиболее достоверную информацию можно получить только из эксперимента.

Настоящая работа посвящена определению абсолютных значений сил осцилляторов спектральных линий и радиационных времен жизни возбужденных состояний атома молибдена.

К началу нашей работы в литературе было известно небольшое количество работ, касающихся этого вопроса [1, 3]. Это, по-видимому, связано с тем, что молибден является одним из самых трудноиспаримых элементов. В работе [4] было показано, что значительные концентрации нормальных атомов молибдена могут быть получены из сравнительно легколетучих химических соединений этого элемента путем их диссоциации в импульсном разряде.

В табл. 1 представлены результаты измерений относительных значений сил осцилляторов для некоторых спектральных линий атома молибдена. Из сравнения данных в графах 4 и 5 видно, что для некоторых линий значения относительных сил осцилляторов сильно различаются. Поэтому в настоящей работе было проведено измерение относительных значений сил осцилляторов методом крюков Рождественского. Результаты наших измерений приведены в табл. 1, (графа 3).

При определении относительных значений сил осцилляторов линий Mo I пары молибдена получались путем диссоциации молекул соли $MoCl_5$ в импульсном разряде. Условия эксперимента (вводимая в разрядный контур энергия, время регистрации интерференционной картины, концентрация молекул $MoCl_5$) выбирались таким образом, чтобы спектроинтерферограмма была наиболее удобна для измерения крюков всех спектральных линий, представленных в табл. 1, т. е. получена одновременно. Для этого мы использовали спектрограф типа СТЭ-1, позволяющий фотографировать спектр в широком диапазоне длин волн.

Таблица 1
Относительные значения сил осцилляторов спектральных линий Мо I

$\lambda, \text{Å}$	Переход, см^{-1}	$f_{\text{отн}}$			
		настоящая работа	[²]	[³]	[¹]
3902.96	0—25614	0.56 ± 0.03	0.51	0.57 ± 0.01	0.54
3864.11	0—25872	0.75 ± 0.03	0.85	0.72 ± 0.02	0.77
3798.25	0—26324	1	1	1	1
3466.83	0—28836	—	0.02	—	—
3456.39	0—28924	0.04 ± 0.01	0.062	0.096 ± 0.004	—
3208.83	0—31155	0.19 ± 0.02	0.29	0.012 ± 0.009	—
3193.97	0—31300	0.79 ± 0.03	0.75	0.07 ± 0.01	—
3170.35	0—31533	0.92 ± 0.02	0.9	0.46 ± 0.01	—
3158.16	0—31655	0.38 ± 0.03	0.62	0.58 ± 0.01	—
3132.59	0—31913	1.52 ± 0.04	1.6	0.12 ± 0.01	—
3112.12	0—32123	0.13 ± 0.02	0.15	0.76 ± 0.04	—
5570.45	10768—28715	1.0 ± 0.2	0.3	0.055 ± 0.009	—
5533.05	10768—28837	0.8 ± 0.1	0.66	—	—
5506.49	10768—28924	1	1	—	—
3404.34	11859—41224	1	1	—	—
3384.62	11859—41396	0.6 ± 0.1	3.18	—	—

Сравнение с результатами других авторов показывает (табл. 1), что наши результаты лучше согласуются с относительными значениями сил осцилляторов, полученных из данных работы [²] путем пересчета, и в некоторых случаях отличаются от результатов работы [³], в которой использовался тот же экспериментальный метод. Это можно объяснить тем, что в последней работе применялся спектрограф, позволяющий фотографировать небольшой участок спектра. Весь исследуемый спектральный интервал был разбит на несколько участков, и измерения проводились с использованием нескольких спектроинтерферограмм, полученных в различных условиях. Для перевода относительных значений сил осцилляторов в абсолютные необходимо знание концентрации атомов в момент получения спектроинтерференционной картины. Так как нами использовался импульсный метод получения паров молибдена, провести корректные измерения концентрации затруднительно.

Для получения абсолютных значений сил осцилляторов можно использовать также абсолютные значения вероятностей переходов и радиационных времен жизни возбужденных состояний атомов. В литературе имеется всего лишь одна работа [⁵] по измерению τ_k Мо I. В табл. 2 приведены данные из этой работы, а также пересчитанные из [²] с учетом всех возможных переходов. Эти результаты отличаются друг от друга, и поэтому нами проведены прямые

Таблица 2
Радиационные времена жизни возбужденных состояний Мо I

$\lambda, \text{Å}$	Классификация	$\tau_k, \text{нс}$		
		наши данные	[⁵]	пересчет по [²]
3902.96	$z^7P_0^0 - a^7S_3$	16.7 ± 1.2	13.6 ± 0.7	23.5
3864.11	$z^7P_3^0 - a^7S_3$	18.2 ± 0.9	15.8 ± 0.8	20.35
3798.25	$z^7P_2^0 - a^7S_3$	15.3 ± 0.8	14.4 ± 0.8	20.45
3208.83	$z^7D_0^0 - a^7S_3$	33.2 ± 1.7	8.2 ± 0.8	28.8
3193.97	$y^7P_3^0 - a^7E_3$	8.1 ± 0.4	6.0 ± 0.5	11.3
3170.35	$y^7P_0^0 - a^7E_3$	7.7 ± 0.5	10.2 ± 0.5	12.9
3158.17	$z^7D_0^0 - a^7S_3$	21.0 ± 0.9	12.1 ± 1.0	18.3
3132.59	$y^7P_4^0 - a^7S_3$	6.7 ± 0.5	5.7 ± 0.6	9.2
3112.12	$z^7D_4^0 - a^7S_3$	80.5 ± 10.0	—	89.3
4381.64	$z^5H_3^0 - c^5G_6$	24.3 ± 1.2	—	12.5
5533.05	$z^5P_3^0 - a^5S_2$	23.8 ± 0.7	—	28.9
5506.49	$z^5P_3^0 - a^5S_2$	21.7 ± 0.9	—	27.2

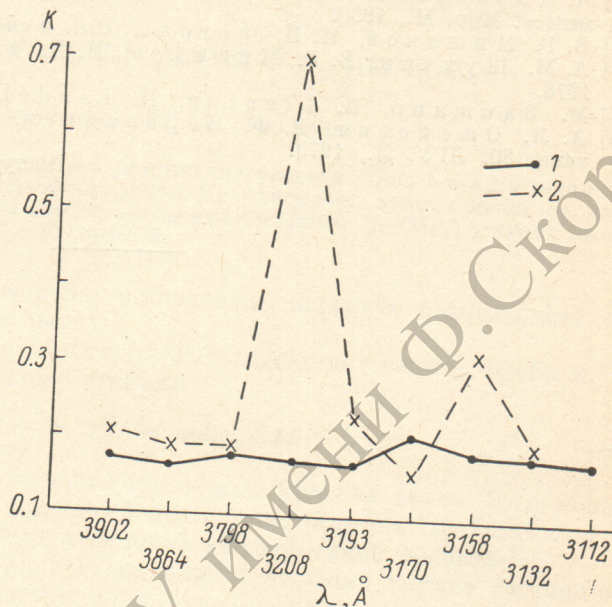
измерения радиационных времен жизни возбужденных состояний Mo I с использованием многоканального метода задержанных совпадений [6], который является универсальным и в настоящее время наиболее надежным. Указанный метод предполагает использование пересекающихся атомного и электронного пучков. Для получения атомов молибдена нами применялся молекулярный пучок Mo(CO)₆, причем концентрация молекул в пучке могла изменяться плавно с помощью натекателя.

Измеренные нами значения τ_k возбужденных состояний атома молибдена приведены в табл. 2 (графа 3). Анализ данных этой таблицы показывает удовлетворительное согласие значений τ_k для некоторых уровней. Однако в большинстве случаев наблюдается большое расхождение между результатами, полученными всеми авторами. Для выявления наиболее достоверных данных мы использовали следующую методику.

Известно, что отношение абсолютного значения силы осцилляторов ($f_{абс}$) к относительному ($f_{отн}$) для одной спектральной серии линий

диаграмма значений коэффициента K для одной спектральной серии линий с одним общим уровнем.

1 — наши данные, 2 — результаты работы [5].



с одним общим уровнем должно быть постоянной величиной. Мы определили значения указанного отношения $K = f_{абс}/f_{отн}$, которые представлены на рисунке в виде диаграммы. Анализ возможных дополнительных переходов с исследуемых уровней дает малый вклад как в величину абсолютной вероятности перехода, так и в величину τ_k ($\leq 2\%$ для всех исследованных уровней). Величина K рассчитывалась с использованием данных табл. 1 и формулы

$$f_{абс} = 1.499 \frac{g_k \lambda_{ik}^2}{g_i \tau_k}$$

Сравнительное постоянство коэффициента K с учетом наших данных и аномальное его поведение при использовании значений τ_k из работы [5] позволяет сделать вывод, что наши результаты экспериментального определения радиационных времен жизни Mo I более достоверны.

Таблица 3
Абсолютные значения сил осцилляторов спектральных линий Mo I

$\lambda, \text{Å}$	$f_{абс}$		$\lambda, \text{Å}$	$f_{абс}$	
	настоящая работа	[2]		настоящая работа	[2]
3902.96	0.101 ± 0.015	0.067	3170.35	0.17 ± 0.02	0.117
3864.11	0.136 ± 0.011	0.11	3158.16	0.069 ± 0.007	0.081
3798.25	0.181 ± 0.012	0.134	3132.59	0.28 ± 0.03	0.2
3466.83	—	0.0026	3112.12	0.024 ± 0.003	0.02
3456.39	0.0072 ± 0.0009	0.008	5533.05	0.21 ± 0.04	0.12
3208.83	0.034 ± 0.007	0.037	5506.49	0.27 ± 0.04	0.18
3193.97	0.14 ± 0.02	0.097			

Используя среднее значение коэффициента K , полученное для переходов, связанных с основным состоянием, были рассчитаны абсолютные значения сил осцилляторов Mo I (табл. 3). Отметим хорошее в основном согласие наших результатов по определению $f_{\text{абс}}$ с данными работы [2].

Доверительный интервал, указанный нами в табл. 1—3, соответствует доверительной вероятности 0.95.

Литература

- [1] Е. И. Никонова, В. К. Прокофьев. *Опт. и спектр.*, 1, 290, 1956.
- [2] Ч. Корлисс, У. Бозман. *Вероятности переходов и силы осцилляторов 70 элементов*. Мир, М., 1968.
- [3] В. Г. Мишаков, Н. И. Фогель. *Опт. и спектр.*, 42, 1193, 1977.
- [4] А. М. Шухтин, В. Г. Мишаков, Н. И. Фогель. *Опт. и спектр.*, 41, 902, 1976.
- [5] M. Baumann, H. Liening, H. Lindel. *Phys. Lett.*, 68A, 319, 1978.
- [6] А. Л. Ошерович, Я. Ф. Веролайнен. В сб.: *Проблемы атмосферной оптики*, 80. ЛГУ, Л., 1979.

Поступило в Редакцию 13 июля 1981 г.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ имени Ф.СКОРНИНЫ