

Член-корреспондент АН СССР С. Э. ФРИШ и И. П. ЗАПЕСОЧНЫЙ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФУНКЦИЙ ВОЗБУЖДЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УРОВНЕЙ РТУТИ ПО ОПТИЧЕСКИМ ФУНКЦИЯМ ВОЗБУЖДЕНИЯ

Оптические функции возбуждения, дающие зависимость интенсивности спектральных линий от энергии возбуждающих электронов, были экспериментально изучены еще около 20 лет назад. При этом считалось, что при возбуждении большинства линий не играют заметной роли каскадные переходы и что, следовательно, в большинстве случаев оптическая функция возбуждения совпадает с функцией возбуждения энергетического уровня, являющегося исходным при испускании данной линии. Этот вывод был до сих пор общепринятым. Однако анализ условий возбуждения спектральных линий заставляет в нем сомневаться.

При условии, когда можно пренебречь ступенчатыми возбуждениями и реабсорбцией, интенсивность каждой линии I пропорциональна числу актов возбуждения ΔN_k ее исходного уровня, что ведет к соотношению:

$$I \sim N_e(V) N_0 Q_{0k}(V) + \sum_{i=k+1}^{\infty} N_i A_{ik}, \quad (1)$$

где $N_e(V)$ — число электронов с заданной энергией; N_i — число атомов в i -м состоянии; A_{ik} — вероятность спонтанного перехода; $Q_{0k}(V)$ — функция возбуждения k -го уровня.

Из равенства (1) видно, что оптическая функция возбуждения совпадает с функцией возбуждения $Q_{0k}(V)$ только в случае, если

можно пренебречь членом $\sum_{i=k+1}^{\infty} N_i A_{ik}$, учитывающим каскадные переходы, чего, вообще говоря, делать нельзя.

В частности, при возбуждении видимого триплетта ртути ($\lambda\lambda$ 5461; 4358; 4047 Å) нельзя пренебрегать каскадными переходами с уровней 7^3P_j . То обстоятельство, что роль этих переходов до сих пор не была обнаружена, следует отнести за счет недостатков экспериментов.

С целью обнаружения роли каскадных переходов мы провели опыты по определению интенсивности линий ртути в зависимости от энергии возбуждающих электронов, воспользовавшись фотоэлектрическим методом измерения интенсивностей и обратив особое внимание на монокинетичность возбуждающего пучка электронов.

Эксперименты были произведены с возбуждающей трубкой с ускорением электронов методом двойного поля (1). Использовался равнопотенциальный катод, система охранных цилиндров и приемник электронов, снабженный рядом сеток для избежания возникновения вторичных и рассеянных электронов. Трубка тщательно обезгаживалась и откачивалась. В отпаянном виде она работала многие десятки часов без заметной порчи вакуума и изменения эмиссионных свойств катода. Были использованы два экземпляра трубок, несколько различавшихся размером и относительным расположением электродов.

Линии из спектра ртути выделялись монохромометром; их интенсивности измерялись фотоэлектрическим фотометром, изготовленным экспериментальными мастерскими НИФИ ЛГУ по схеме, разработанной С. Ф. Родионовым и сотр. (2). Фотоэлектрический метод измерения интенсивностей имел существенные преимущества перед фотографическим: он обладал большей чувствительностью, большей точностью (погрешность $\sim 2\%$) и благодаря скорости измерений позволял строить кривые по многим десяткам точек (до 70 для одной кривой), причем точки брались, где это было нужно, через 0,1 в.

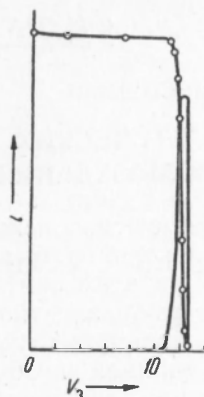


Рис. 1

Был произведен ряд контрольных опытов. Отсутствие реабсорбции, ступенчатых возбуждений и тушащих ударов проверялось по линейности зависимости интенсивности линий I от давления возбуждаемых паров ртути и силы тока в пучке. Линейные зависимости выполнялись для давлений в интервале от нуля до $3,5 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст. и для сил токов в интервале от нуля до 100 μ а (последнему значению соответствовала плотность тока в пучке $4 \cdot 10^{-3}$ а/см²).

Распределение электронов по энергиям проверялось методом задерживающего поля. На рис. 1 проведена зависимость силы тока i , достигающего приемник, от задерживающего потенциала V_z . Ускоряющий потенциал $V = 12,7$ в. На том же рисунке приведена дифференциальная кривая, из которой следует, что 90% электронов имели энергии в интервале шириной около 1,0 эв. При уменьшении плотности тока и давлений паров этот интервал удавалось снизить до 0,5 эв.

Были исследованы 8 видимых линий ртути, длины волн и сериальная принадлежность которых приведены в табл. 1. Измерения, произведенные с обеими трубками, давали кривые, совпадающие друг с другом в пределах ошибок наблюдений.

Таблица 1

Длина волны, Å	Сериальный символ	Потенциал возбуждения, в	Число максимумов	Положение наблюдаемых максимумов, в
5461	$6^3P_2-7^3S_1$	7,69	6	8,2; 8,9; 9,6; 10,5; $\sim 11,0$; $\sim 12,4$
4358	$6^3P_1-7^3S_1$	7,69	6	То же
4047	$6^3P_0-7^3S_1$	7,69	6	» »
4078	$6^3P_1-7^1S_0$	7,90	4(+1)*	8,7; 10,0; 11,1; $\sim 13,1$; (~ 30)
4916	$6^1P_1-8^1S_0$	9,18	2(+1)	10,2; $\sim 11,1$; (~ 35)
4108	$6^1P_1-9^1S_0$	9,67	2(+1)	10,4; $\sim 11,1$; (~ 35)
5791	$6^1P_1-6^1D_2$	8,80	1(?)	~ 18
4347	$6^1P_1-7^1D_2$	9,51	1(?)	~ 20

* В скобках отмечены плоские максимумы, лежащие в области больших энергий возбуждающих электронов.

Результаты измерений дали следующее: 1) оптические функции возбуждения линий $\lambda\lambda$ 5461; 4358; 4047 Å, имеющих общий верхний уровень 7^3S_1 , вполне совпадают между собой; 2) оптические функции возбуждения линий ртути $\lambda\lambda$ 5461; 4358; 4047; 4078; 4916; 4108 Å имеют по несколько острых максимумов, расположенных при потенциалах немного больших (на 1—4 в) потенциала возбуждения (число и положение этих максимумов приведены в табл. 1); 3) оптические функции возбуждения линий $\lambda\lambda$ 4078; 4916 и 4108 Å имеют, кроме того (в согласии с предыдущими авторами), плоский максимум при энергиях возбуждения электронов 30—35 эв; 4) оптические функции возбуждения линий $\lambda\lambda$ 5791 и 4347 Å не имеют резко выраженных максимумов; 5) при искусственном ухудшении монокинетичности пучка электронов максимумы, расположенные вблизи потенциала возбуждения, сглаживались, и когда энергии электронов были распределены в интервале шириной около 3,5 эв, они сливались в один; при

этом кривые совпадали в пределах ошибок наблюдений с кривыми, полученными раньше для соответственных линий Шаффернихтом (3).

Наличие нескольких максимумов у оптических функций возбуждения вблизи потенциала возбуждения объясняется ролью каскадных переходов. Каждая экспериментальная кривая с несколькими максимумами может быть разложена на кривые, представляющие собой функции возбуждения отдельных энергетических уровней атома ртути. Так как для каждого уровня известен его потенциал возбуждения и

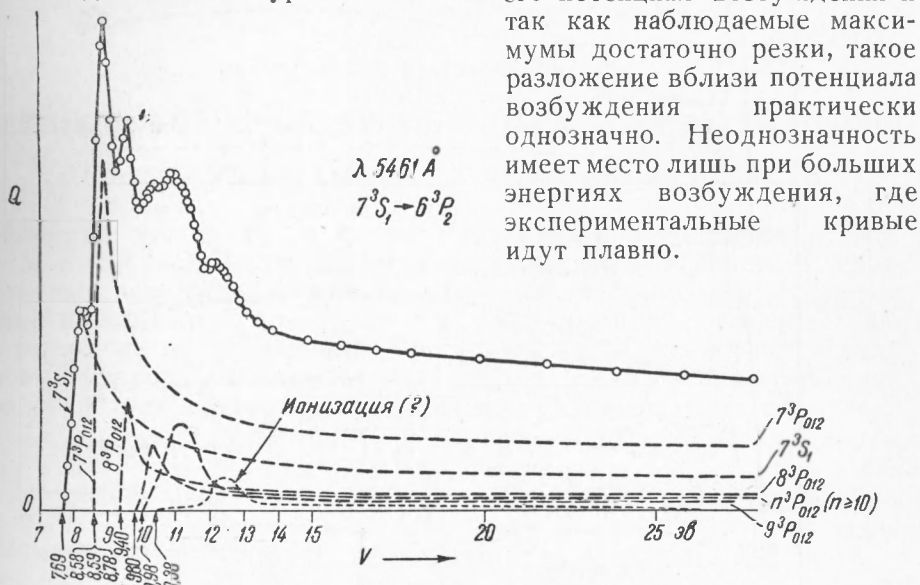


Рис. 2

На рис. 2 приведена наблюдаемая оптическая функция возбуждения линии $\lambda 5461 \text{ \AA}$; пунктирные линии изображают функции возбуждения энергетических уровней, на которые экспериментальная кривая разлагается. Первый небольшой максимум на экспериментальной кривой при 8,2 эв относится к возбуждению уровня 7^3S_1 ; три последующих максимума относятся к возбуждению уровней 7^3P_j , 8^3P_j и 9^3P_j , имеющих, соответственно, потенциалы возбуждения 8,6; 9,4 и 9,8 эв. Пятый максимум относится к возбуждению неразрешенной группы уровней n^3P , при $n \geq 10$. Размытый максимум около 12,4 эв, по всей вероятности, относится к процессу рекомбинации ионов ртути. Как видно, роль каскадных переходов, особенно с уровнями 7^3P , очень велика. Возбуждение уровня 7^3P должно сопровождаться излучением инфракрасного триплета $\lambda\lambda 11287$; 13673 и 13951 $\text{\AA}$, который мы не могли пока наблюдать из-за нечувствительности употреблявшегося фотоэлектрического фотометра в этой части спектра.

Линии $\lambda\lambda 4078$; 4916 и 4108 $\text{\AA}$ имеют исходными, соответственно, уровни 7^1S_0 , 8^1S_0 и 9^1S_0 . Наблюдаемая оптическая функция возбуждения линии $\lambda 4078 \text{ \AA}$ (см. рис. 3) имеет три хорошо выраженных максимума, которые относятся к возбуждению уровней 7^1S_0 , 7^1P_1 и неразрешенной группы уровней n^1P_1 при $n \geq 8$. Максимумы, относящиеся к этой группе уровней n^1P_1 , имеются и на кривых для линий $\lambda\lambda 4916$ и 4108 $\text{\AA}$; первые максимумы на этих двух кривых относятся, соответственно, к возбуждению уровней 8^1S_0 и 9^1S_0 . Таким образом, вид кривых для этих трех линий вполне соответствует друг другу. Остаются необъясненными размытый максимум на кривой для линии $\lambda 4078 \text{ \AA}$ вблизи 13 эв и плоские максимумы на кривых всех трех линий при больших энергиях возбуждающих электронов. Пер-

вый из них, по всей вероятности, относится к процессу рекомбинации иона ртути; происхождение вторых остается неизвестным, возможно, что они присущи самим функциям возбуждения одиночных уровней n^1S_0 . Отсутствие заметных максимумов на оптических функциях

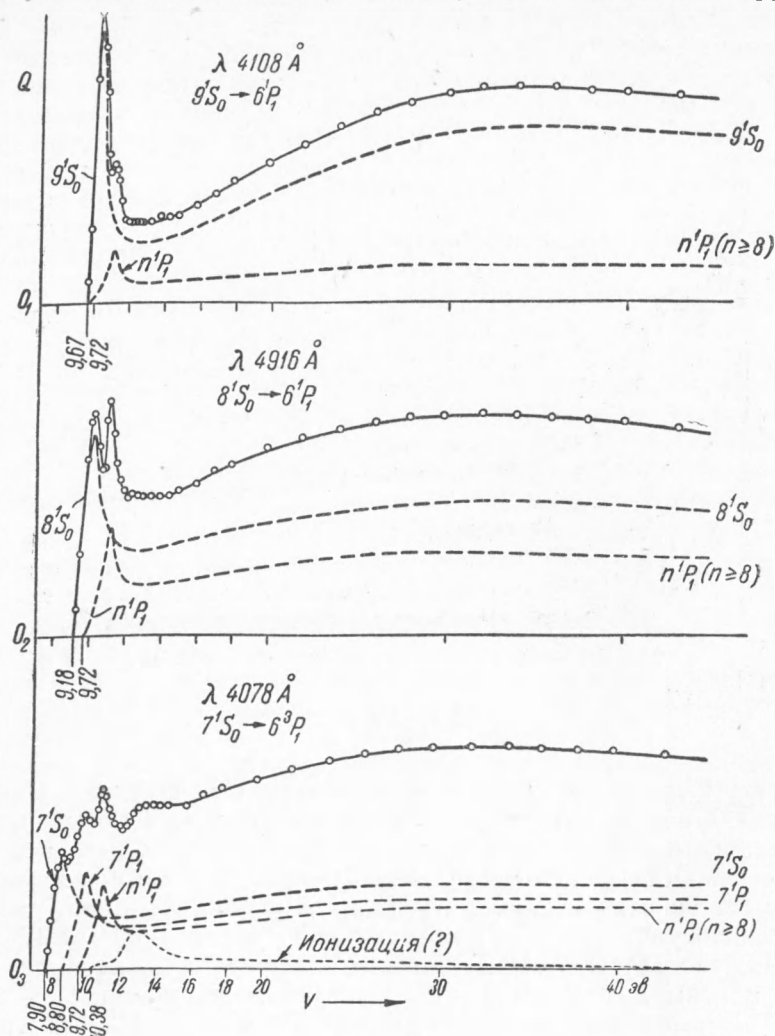


Рис. 3

возбуждения линий $\lambda\lambda$ 5791 и 4347 Å объясняется тем фактом, что выше их исходных уровней расположено значительное число близких друг к другу уровней, с которых возможны каскадные переходы. В условиях наших опытов эти уровни оставались неразрешенными.

Из изложенных опытов следует, что наблюдавшиеся до сих пор функции возбуждения получались в результате слияния кривых, относящихся к возбуждению отдельных энергетических уровней. Истинные функции возбуждения энергетических уровней имеют вблизи потенциалов возбуждения более острые максимумы, чем это считалось.

Физический институт
Ленинградского государственного университета
им. А. А. Жданова

Поступило
10 II 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ W. Hanle, Zs. f. Phys., 56, 94 (1929). ² А. Л. Ошерович, Е. Н. Павлова и др., ЖТФ, 19, 184 (1949). ³ W. Schaefernicht, Zs. f. Phys., 62, 106 (1930).