

# ВОЗБУЖДЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ЛИНИЙ ЦИНКА В ОБЛАСТИ 120-360 НМ ПРИ ЭЛЕКТРОН-АТОМНЫХ СТОЛКНОВЕНИЯХ

*Алджубури Х.И.*

Впервые исследовано возбуждение спектральных линий цинка в области 120-360 нм при электрон-атомных столкновениях. Измерены функции возбуждения спектральных линий Zn I, Zn II, Zn III и Zn IV от порога до 300 эВ. Установлено их подобие для линий главной серии  $ZnI4s^{21}S_0-np^1P_1$  до  $n = 8$ .

Измерения проведены на установке с пересекающимися электронным и атомным пучками. В эксперименте использовался вакуумный монохроматор с постоянным углом отклонения  $70^\circ$  (схема Сейма-Намиока [1]) с двумя фотоэлектронными умножителями: ФЗУ-142 в вакуумно-ультрафиолетовой (ВУФ/ и ФЭУ-140 в ультрафиолетовой (УФ) областях спектра. Плотность электронного пучка, формируемого треханодной пушкой с оксидным катодом, не превышала  $10^{12}$  А/см при энергетической неоднородности электронов  $\Delta E \sim 1,5$  эВ. Плотность атомов цинка в области пересечения пучков  $10^{12}$  см<sup>3</sup>. Для идентификации длин волн использовались справочники [2, 3, 4].

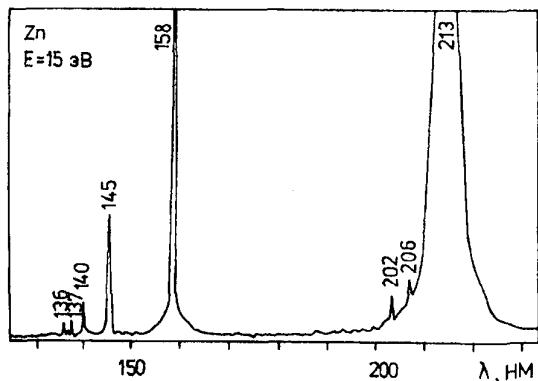


Рис. 1. ВУФ спектр цинка при энергии электронов  $E = 15$  эВ.

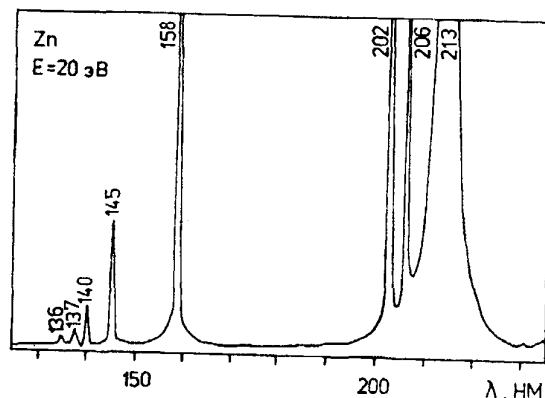


Рис. 2. ВУФ спектр цинка при энергии электронов  $E = 20$  эВ.

На рис.1 приведен ВУФ спектр цинка при возбуждении электронами с энергией  $E = 15$  эВ. Измерено шесть линий главной серии  $4s^{21}S_0-5np^1P_1$  ZnI / $n = 4-9$ / начиная от резонансной: 213.9 нм, 158.9 нм, 145.7 нм, 140.4 нм, 137.6 нм, 136.1 нм. Как видно, уменьшение интенсивности линий монотонное с увеличением без нарушений. Предел главной серии 132.0 нм / $E = 9.39$  эВ/. На рис.2 приведен этот же ВУФ спектр цинка при возбуждении электронами с энергией  $E = 20$  эВ. Появились резонансные линии иона цинка 202.5 нм и 206.6 нм  $4s^2S_{1/2}-4p^2P_{3/2,1/2}$  ZnII. При энергии электронов  $E = 50$  эВ в области 120-150 нм появляется несколько слабых линий 141 нм, 144 нм Zn II, 148 нм Zn II, две из которых принадлежит однократному иону. Линии 141 нм и 147 нм неидентифицированы. На рис.4 приведен УФ спектр цинка при возбуждении электронами с энергией  $E = 20$  эВ. В спектре наиболее интенсивна интеркомбинационная атомная линия Zn I - 307.6 нм.  $4s^{21}S_0-4p^3P_1$ . Интеркомбинационную линию Zn I 136.2 нм с  $5p^3P_1$  уровня, как видно из рис.2 и 3, в ВУФ спектрах не обнаружено, что указывает на очень сильное падение эффективности

возбуждения этой серии с увеличением главного квантового числа  $n$ . При энергии  $E = 20$  эВ в области 120-360 нм могут возбуждаться только две резонансные линии иона цинка, поэтому все линии на спектре (см.рис.4) атомные и соответствуют переходам между синглетными и триплетными уровнями Zn I. К новым линиям Zn I, отсутствующим в [4] относятся: 236 нм, 241 нм, 243 нм, 291 нм, 317 нм.

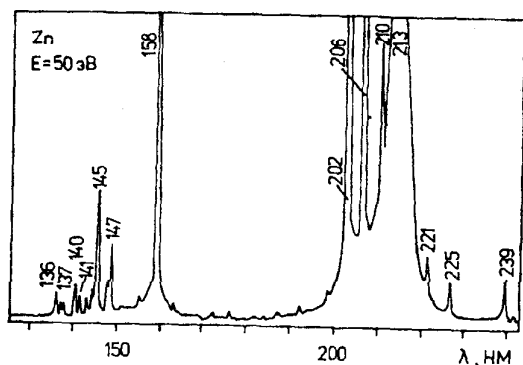


Рис. 3. ВУФ спектр цинка при энергии электронов  $E = 50$  эВ.

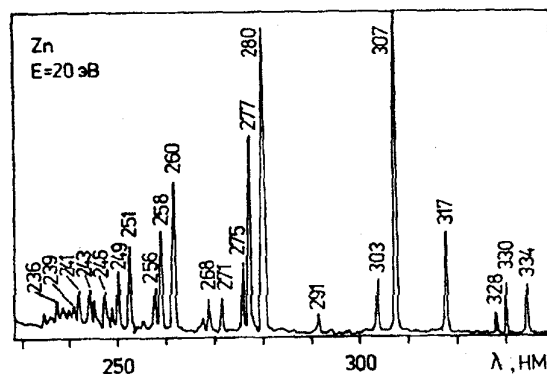


Рис. 2. ВУФ спектр цинка при энергии электронов  $E = 20$  эВ.

При энергиях электронов выше 100 эВ в УФ и ВУФ спектрах появляются линии Zn III и Zn IV.

Измерены функции возбуждения /ФВ/ интенсивных линий Zn I, Zn II, Zn III, Zn IV. Относительная погрешность в определении ординат ФВ во всех случаях была  $< 10\%$ . Наблюдается хорошее подобие ФВ линий главной серии  $4s^{21}S_0-5snp^1P_1$  для  $n = 4, 5, 6, 7, 8, 9$ . ФВ быстро растут от порога 8 эВ до 20 эВ с последующим монотонным спадом до 300 эВ. У интеркомбинационной атомной линии 307.6 нм  $4s^{21}S_0-4s4p^3P^1$  ZnI наблюдается резкий рост от порога 5 эВ до 7 эВ с быстрым монотонным спадом. Ширина ФВ на полувысоте составляет 4 эВ. Практически с 30 эВ и выше она уже не возбуждается. Функции возбуждения иона цинка можно подразделить на два характерных вида: линии принадлежащие обычной схеме уровней  $4S$  конфигурации быстро возрастают от порога 20 эВ, имеют в области 50 эВ максимум, а затем монотонно спадают; линии принадлежащие системе уровней  $4d^94s^2$  конфигурации медленно возрастают от порога 20 эВ до 100 эВ и далее 300 эВ незначительно уменьшаются. Полученные в работе результаты по однократной ионизации согласуются с измерениями в [5]. Возбуждение линий Zn III начинается с порогов 50-60 эВ. Например для линии 167 нм Zn III наблюдается плавный рост ФВ от 55 эВ до 150 эВ и дальше вплоть до 300 эВ не зависит от энергии возбуждающих электронов. Функции возбуждения трехкратного иона цинка впервые измерены в настоящей работе. Например, для линии 225.2 нм Zn IV наблюдается линейный рост от порога 100 эВ до 300 эВ.

Наличие резонансных линий 202.6 нм и 206.2 нм Zn II почти на границе ВУФ области дает возможность оценить абсолютные эффективные сечения линий главной серии Zn I, имея относительную спектральную чувствительность спектрометрической установки в диапазоне 110-350 нм (ФЭУ-142) [6]. Используя данные по сечениям Zn II [5], абсолютные сечения линии главной серии Zn I 136 нм, 137 нм, 140 нм, 145 нм на спектре /см.рис.1/ при энергии 15 эВ соответственно  $0,5 \cdot 10^{-18} \text{ см}^2$ ,  $0,6 \cdot 10^{-18} \text{ см}^2$ ,  $1,2 \cdot 10^{-18} \text{ см}^2$ ,  $3,8 \cdot 10^{-18} \text{ см}^2$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Намиока Т. Космическая астрофизика. М.: ИЛ, 1962.
2. Moor С.Е. Atomic energy levels / Circular of the NBS 1952. V.1-3.
3. Стриганов А.Р., Свентицкий И.С. Таблицы спектральных линий. М.:Атомиздат, 1966.

4. Зайдель А.И. и др. Таблицы спектральных линий. М.: Наука, 1977.
5. Пенкин Н.П., Нитюрёва А.А., Шенсерина Е.Р. /Опт. и спектр., 1972. Т.33. Вып.6. С.1028.
6. Алджубури Х.И., Сомкида М.-Т.И., Шимон Л.Л. /Тезисы доклада 9-ой Всесоюзной конференции ВУФ 91. Томск, 1991, С.202.

### **SUMMARY**

The excitation of Zn spectral lines was investigated for the first time in the wavelength 120-200 nm by electron-atom collision method. The excitation functions were measured for spectral lines of Zn I, Zn II, Zn III and Zn IV using electrons with energies from threshold to 300 eV. New Zn lines were identified which had not been mentioned in literature before.

### **РЕФЕРАТ**

**к статье "Возбуждение спектральных линий цинка  
в области 120-360 нм при электрон-атомных столкновениях".**

**Алджубури Х.И.**

Получены спектры возбуждения цинка в области 120-360 нм при электрон-атомных столкновениях. Измерены функции возбуждения спектральных линий ZnI, ZnII, ZnIII и ZnIV от порога до 300 эВ. Измерены абсолютные сечения возбуждения линий главной серии ZnI до n=9. Обнаружены новые линии цинка.  
УДК 539.184