

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

*Алджубури Х.И., Соскида М.-Т.И., Шимон Л.Л*

Впервые исследовано возбуждение спектральных линий кадмия в области 120-200 нм при электрон-атомных столкновениях. Установлено подобие линий главной серии  $CdI5S^2 \ ^1S_0-np^1-p_1$  до  $n=11$ . В области 150-200 нм идентифицированы линии  $CdIII$ , соответствующие возбуждению  $4d^9 5p$  и  $4d^8 5s$  - конфигураций. Измерены функции возбуждения этих спектральных линий от порога до 300 эВ.

Настоящая работа выполнена на установке с пересекающимися электронным и атомным пучками. Для регистрации излучения из области пересечения (под углом  $90^\circ$ ) электронного и атомного пучков использовался монохроматор с постоянным углом отклонения  $70^\circ$  (схема Сейя-Намиока [1]) с копией дифракционной решетки (радиус кривизны 0,5 м, плотность нарезки 1200 штрих мм), покрытой слоем алюминия и защищенной слоем фтористого магния. Размеры рабочей поверхности решетки 40x50 мм. Область эффективной работы спектрометра 120-600 нм в первом порядке дифракции при использовании двух фотоэлектронных умножителей: ФЭУ-142 в вакуумно-ультрафиолетовой области (УФ) и ультрафиолетовой (УФ) областях 110-360 нм и ФЭУ-140, чувствительного в области 200-600 нм. Входная щель монохроматора с постоянной шириной 0,2 мм и высотой 10 мм установлена в непосредственной близости от области пересечения пучков и ориентирована параллельно оси электронного пучка таким образом, чтобы весь излучающий объем находился в "поле зрения" дифракционной решетки.

Источником электронного пучка являлась треханодная электронная пушка с оксидным катодом. Плотность тока в пучке не превышала  $10^{-2}$  А/см<sup>2</sup> при энергетической неоднородности электронов  $\Delta E \sim 1,5$  эВ во всем рабочем диапазоне энергии электронов 0-300 эВ. Атомный пучок формировался эффузионной камерой с двумя коллимирующими щелями, максимально приближенными к оси электронного пучка /на 9 мм/. Такая конструкция обеспечивала концентрацию атомов кадмия в

области пересечения пучков  $10^{12}$  см. Указанные параметры соответствуют линейной зависимости интенсивности спектральных линий от электронного тока и концентрации атомов, что является основным условием однократности столкновений и получения неискаженных вторичными процессами результатов.

Методика эксперимента состояла в том, что сначала измерялись спектры возбуждаемые при ряде фиксированных значений энергии электронов, а затем после предварительной расшифровки и анализа их измерялись функции возбуждения /ФВ/ спектральных линий, представляющих интерес. Особое внимание уделялось неизвестным спектральным линиям. Для идентификации длин волн использовались справочники [2,3,4]. Так как ФЭУ-142 работает в спектральном диапазоне 120-360 нм, представляется возможным сравнивать ВУФ и УФ области спектра.

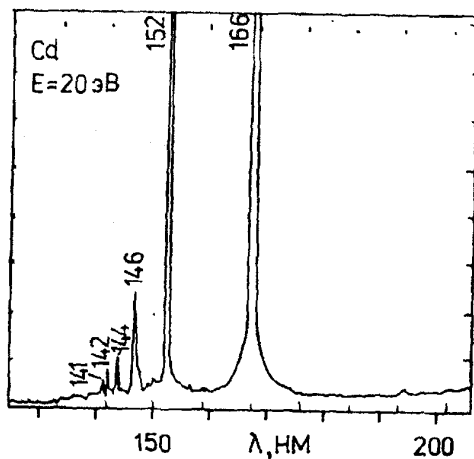


Рис. 1. ВУФ спектр кадмия при энергии электронов  $E = 20$  эВ.

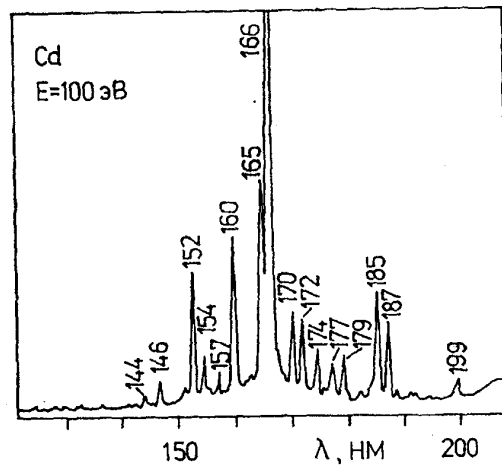


Рис. 2. ВУФ спектр кадмия при энергии электронов  $E = 100$  эВ.

Анализ  $4d^{10} 5S^2 \ ^1S_0$  конфигурации кадмия указывает на возможность возбуждения в ВУФ области, кроме высоких членов главной серии, и других линий и уровней  $4d^{10}$  или  $5S^2$  конфигураций. На рис.1 приведен ВУФ спектр кадмия при возбуждении электронами с энергией  $E = 20$  эВ. Измерено шесть линий главной серии  $CdI \ 5S^2 \ ^1S_0 - 5Snp \ ^1P_1 / n=6, 7, 8, 9, 10, 11 / 166,9$  нм,  $152,6$  нм,  $146,9$  нм,  $144,0$  нм,  $142,3$  нм и  $141,2$  нм. Как видно, уменьшение интенсивности линий монотонное с увеличением  $n$ . Предел главной серии -  $137,8$  нм /  $E_i = 8,99$  эВ/. На рис.2 приведен этот же ВУФ спектр кадмия при возбуждении электронами с энергией  $E = 100$  эВ. Идентификация указывает на появление по мере возрастания длины волны новых линий:  $154$  нм Cd III,  $157$  нм Cd II,  $160$  нм Cd III,  $165$  нм Cd II,  $170$  нм Cd III,  $172$  нм Cd III,  $174$  нм Cd III,  $177$  нм Cd III,  $179$  нм Cd III,  $185$  нм Cd III,  $187$  нм Cd III,  $199$  нм Cd II. Линия  $154$  нм соответствует возбуждению  $4d^8 5S^2$  - конфигурации, то есть удалению двух  $4d$  - электронов. Линии на участке  $170-190$  нм мы относим к исходящим с уровней конфигурации  $4d^9 5p^2$ , образующейся при двукратной ионизации с возбуждением атома кадмия. Две линии  $157$  нм и  $199$  нм исходят с уровней  $4d^9 5S^2$  конфигурации однократного иона кадмия Cd II.

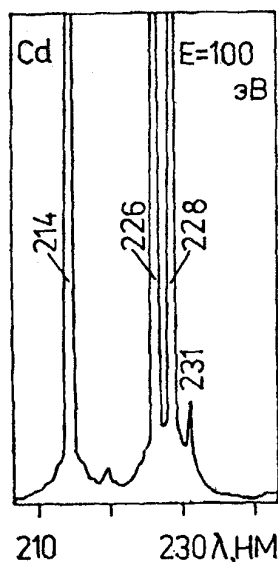


Рис. 3. УФ спектр кадмия при энергии электронов  $E = 100$  эВ. (участок 210-240 нм)

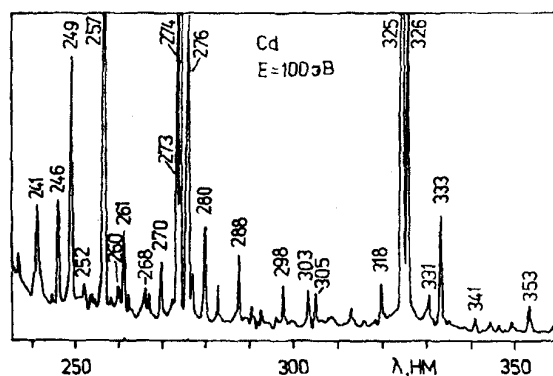


Рис. 4. ВУФ спектр кадмия при энергии электронов  $E = 100$  эВ.

На рис.3 приведен участок спектра у резонансной линии Cd I 228,8 нм  $5s^{21}S_0-5s5p^1P_1$  CdI. При энергии электронов 100 эВ рядом с ней сравнимы по интенсивности резонансные линии иона кадмия: 214,4 нм  $5s^2S_{1/2} - 5p^2P_{3/2}$  CdII и 226,5 нм  $5p^2S_{1/2} - 5p^2P_{1/2}$  CdII. На рис.4 приведен УФ спектр кадмия при возбуждении электронами с энергией  $E = 100$  эВ. Интенсивно возбуждаются линии при ионизации 5s конфигурации: 274,9 нм, 257,3 нм  $5p^2P_{3/2} - 6s2S_{1/2}$  Cd II. Линии однократного иона кадмия 241,8 нм, 246,9 нм, 249 нм, 270,7 нм, 325,0 нм возбуждаются при отрыве одного из  $4d^{10}$  электронов с образованием уровней конфигурации  $4d^95s^2$  CdII. Здесь наиболее интенсивна линия 325,0 нм  $5p^2P_{1/2} - 4d^95s^2D_{3/2}$  CdII. Рядом с ней нами хорошо разделяется интеркомбинационная атомная линия 326,1 нм  $5s^2^1S_0 - 5p^3P_1$  Cd I. Интеркомбинационная линия 171 нм с  $6p^3P_1$  уровня в ВУФ спектре / см.рис.2/ отсутствует, что указывает на очень сильное падение эффективности возбуждения этой серии с увеличением главного квантового числа  $n$ . Другие атомные линии кадмия: 252 нм, 254 нм, 276 нм, 288 нм, 298 нм при энергии электронов 100 эВ возбуждаются слабее ионных. В области 240-360 нм присутствует линия 280,5 нм Cd III с уровня  $4d^85s^2$  конфигурации, аналогичная линии 154 нм. Не идентифицированы линии 261 нм, 266 нм, 305 нм, 318 нм, 331 нм, 333 нм.

Нами измерены функции возбуждения /ФВ/ большинства линий CdI, CdII, CdIII от порога до 300 эВ, для линий в области 120-200 нм впервые. Относительная погрешность в определении ординат ФВ во всех случаях была  $\leq 10\%$ . Наблюдается хорошее подобие ФВ линий 166,9 нм, 152,6 нм, 146,9 нм главной серии  $5s^{21}S_0-5snp^1P_1$  CdI. Они быстро возрастают от порога  $\sim 8$  эВ до 12-20 эВ с последующим монотонным спадом до 300 эВ. Функции возбуждения спектральных линий иона кадмия (Cd II) можно разделить на два характерных вида: линии принадлежащие обычной системе уровней 5s - конфигурации быстро возрастают от порога 20 эВ, имеют в области 50 эВ максимум, а затем монотонно спадают; линии принадлежащие системе уровней  $4d^95s^2$  конфигурации медленно возрастают от порога 20 эВ до 100 эВ и далее до

300 эВ незначительно уменьшаются. Наши результаты по однократной ионизации с возбуждением согласуются с измерениями в [5]. Что касается ФВ линий Cd III с  $4d^85s$  и  $4d^95p$  конфигураций, то все они в основном подобны между собой. Наблюдается медленный рост от порога 50 эВ до 120 эВ и далее незначительный спад до 300 эВ. Подобие ФВ линий с  $4d^{10}$  конфигурации указывает, что несущественно каким образом и между сколькими электронами d конфигурации перераспределяется энергия, полученная от налетающего электрона.

### 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., Светицкий И.С. Таблицы спектральных линий. М.: Атоиздат, 1966.
4. Зайдель А.Н. и др. Таблицы спектральных линий. М. Наука, 1977.
5. Варшавский С.П., Митюрева А.А., Пенкин И.П. // Опт. и спектр., 1970. Т.29. Вып.4. С.637.

### РЕЗЮМЕ

Вперше досліджено збудження спектральних ліній в області 120-200 нм при електрон-атомних зіткненнях. Встановлено подібність ліній головної серії CdI  $5s^2 1S_0$ -np  $1P_1$  до  $n=11$ . В області 150-200 нм ідентифіковані лінії CdIII, що відповідають збудженню  $4d^95p$  і  $4d^85s^2$  - конфігурацій. Виміряні функції збудження цих спектральних ліній від порога до 300 эВ.

### SUMMARY

For the first time in the wavelength range of 120-200 nm the excitation of Cd spectral lines was investigated by electron-atom collision method. The similarity of CdI lines was ascertained for principal series  $5s^2 1S_0$ -np  $1P_1$  up to  $n=11$ . The CdII series accorded to excitation of  $4d^95p$  and  $4d^85s^2$  - configurations were indentified in the wavelength range of 150-200 nm. Excitation functions of these spectral lines were measured in the energy range from intres-hold to 300 eV.

### РЕФЕРАТ

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

Алджубури Х.И., Соскида М.-Т.И., Шимон Л.Л.

Получены спектры возбуждения кадмия в области 120-360 нм при электрон-атомных столкновениях. Установлено подобие линий главной серии CdI  $5s^2 1S_0$ -np  $1P_1$  до  $n=11$ . Вобласти 150-200 нм идентифицированы линии CdIII соответствующие возбуждению  $4d^95p$  и  $4d^85s^2$ -конфигураций. Измерены функции возбуждения этих спектральных лоний от порога до 3000 эВ.

УДК 539.184