

ОБРАЗОВАНИЕ ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ АТОМОВ И ИОНОВ ЦИНКА, КАДМИЯ И РТУТИ ПРИ СТОЛКНОВЕНИИ С ПРОТОНАМИ НИЗКИХ ЭНЕРГИЙ

М.Ю.Ципле, В.Л.Овчинников, О.Б.Шпенник

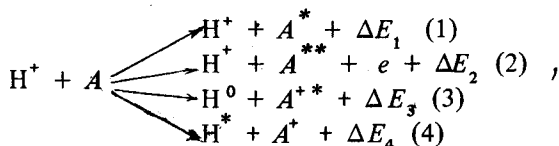
Впервые получены функции возбуждения спектральных линий атомов и ионов Zn, Cd и Hg, возбуждаемых протонным ударом вблизи порога. Обнаружены anomalно большие сечения ионов и выявлена осцилляционная структура ряда линий, указывающая на квази-молекулярный характер взаимодействия частиц.

К настоящему времени опубликовано большое количество экспериментальных работ по изучению неупругих процессов столкновений ионов и атомов. Подавляющее число этих исследований проводились в области высоких энергий и относится к изучению столкновений многоэлектронных систем. Известно ¹, что в динамике этих процессов значительную роль играют эффекты межэлектронных корреляций в остовах сталкивающихся партнеров, что особенно важно для систем с большим числом электронов. Корректный учет таких корреляций является самостоятельной теоретической задачей, решение которой значительно упрощается для случая чисто кулоновского поля налетающего иона, в частности протона. Тем не менее, вопрос экспериментального исследования возбуждения атомов и молекул такими ионами остается открытым. Это, видимо, обусловлено трудностями, связанными с получением и формированием достаточно интенсивных пучков протонов контролируемой энергии и хорошей монокинетичности. В этом смысле исследование неупругих процессов с участием "бесструктурной" тяжелой частицы — протона представляет особый интерес. Результаты таких исследований служат ключом для понимания элементарных процессов, происходящих в водородосодержащей плазме, а также атмосферных и астрофизических явлений. Они могут использоваться также для создания инверсной заселенности в газовых лазерах.

В настоящей работе впервые обнаружены anomalно большие сечения ионных спектральных линий в процессах столкновений протонов низких энергий с атомами цинка, кадмия и ртути. Наряду с этим выявлена регулярная осцилляционная структура функций возбуждения линий, указывающая на квази-молекулярный характер взаимодействия частиц.

Эксперименты проводились на установке, описанной в работе ². Она позволяет осуществлять исследования процессов возбуждения оптическим методом в видимой и ультрафиолетовой области спектра (220 – 800 нм). Функции возбуждения получены путем усреднения многих кривых (8 – 10 измерений). Погрешность относительных измерений функций возбуждения не превышает 3 – 4%, а точность измерения абсолютных сечений возбуждения, определенных путем сравнения интенсивности спектральных линий, возбужденных протонным ударом с интенсивностью линий, возбуждаемых электронным ударом с известным сечением возбуждения, составляет величину 45 – 50%.

Перейдем к результатам наших исследований. Анализ спектров возбуждения показал, что в них наблюдаются линии, связанные с протеканием следующих процессов:



где A — атом мишени, ΔE_i — дефект энергии реакции. Для каждой пары сталкивающихся частиц в спектрах обнаружено примерно равное число спектральных линий, принадлежа-

щих как атомам, так и ионам исследуемых элементов. Учитывая, что многие возбужденные состояния указанных частиц излучают в пределах доступного нам диапазона длин волн, у нас появилась возможность провести относительное сравнение эффективности этих двух процессов. Результат такого сравнения показал, что величины эффективных сечений ионных спектральных линий оказались значительно больше атомных (примерно на два порядка). Такая аномалия наблюдается независимо от того, сколько электронов участвует в акте столкновения (одноэлектронный или двухэлектронный процесс). Так, величины эффективных спектральных линий, испущенных со смещенных уровней ($\lambda = 5894 \text{ \AA}$, $\lambda = 7479 \text{ \AA}$ для ZnII и $\lambda = 3250 \text{ \AA}$, $\lambda = 4416 \text{ \AA}$ для CdII) превосходят сечение одноэлектронных процессов, ведущих к образованию атомных состояний. Исключение составляют резонансные линии ZnI и CdI , сечение которых дано без учета самопоглощения и достигает величин порядка 10^{-17} см^2 . Такой результат не согласуется с данными работы ³, где изучались неупругие процессы столкновений He^+ и H^+ с атомами Na и K . Авторы этой работы пришли к выводу, что эффективность одноэлектронных процессов обладает преимуществом перед двухэлектронными и в определении предпочтительных неупругих каналов это правило играет более важную роль, чем энергетика реакции.

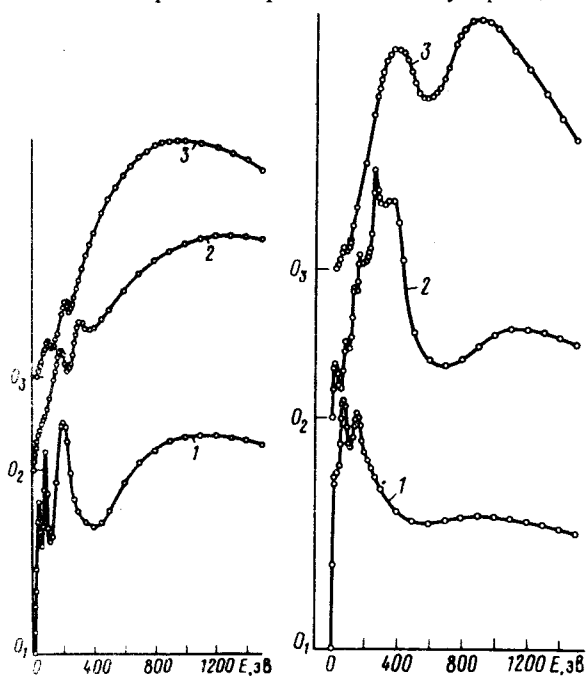


Рис. 1

Рис. 2

Рис. 1. Функции возбуждения спектральных линий атомов цинка, кадмия и ртути: 1 — ZnI , $\lambda = 6362 \text{ \AA}$ ($4^1D_2 \rightarrow 4^1P_1$), 2 — CdI , $\lambda = 3610/12/14 \text{ \AA}$ ($6^2D_j \rightarrow 5^3P_j$), 3 — HgI , $\lambda = 4358 \text{ \AA}$ ($7^3S_1 \rightarrow 6^3P_1$)

Рис. 2. Функции возбуждения спектральных линий ионов цинка, кадмия и ртути: 1 — ZnII , $\lambda = 5894 \text{ \AA}$ ($4s' - 2D \rightarrow 4^2P_{3/2}$), 2 — CdII , $\lambda = 2749 \text{ \AA}$ ($6^2S_{3/2} \rightarrow 5^2P_{1/2}$), 3 — HgII , $\lambda = 2847 \text{ \AA}$ ($7^2S_{1/2} \rightarrow 6^2P_{3/2}$)

Другой особенностью полученных нами результатов является тот факт, что измеренные функции возбуждения носят ярко выраженный осциллирующий характер. На рис. 1 и рис. 2 в качестве примера приведены функции возбуждения нескольких спектральных линий. Обращает на себя внимание стремительный рост сечения у порога, причем экспериментальные пороги возбуждения измеренных нами функций в пределах ошибок эксперимента совпадают с кинематическими. Интересно, что ни в одном случае нами не был зарегистрирован характерный для столкновения тяжелых частиц сдвиг порогов на функциях возбуждения в сторону увеличения энергии налетающих ионов.

Наконец, отметим, что максимумы функции возбуждения спектральной линии $\lambda = 6362 \text{ \AA}$ ZnI эквидистантны в шкале обратных скоростей. Этот результат, видимо, является первым наблюдением регулярной осцилляционной структуры при взаимодействии "бесструктурной" частицы — протона с атомами, что свидетельствует о квазимолекулярном механизме взаимодействия частиц и рассмотрен в работах ^{4,5}.

Детальный анализ полученных результатов будет дан в последующих публикациях.

Литература

1. *Круглевский В.А.* VIII Всесоюзная конференция по физике электронных и атомных столкновений. Тезисы докладов, Ленинград, 1981, с. 68.
2. *Шпеник О.Б., Овчинников В.Л., Ципле М.Ю.* VII Всесоюзная конференция по физике электронных и атомных столкновений. Тезисы докладов. Петрозаводск, 1978, ч. 2, с. 140.
3. *Bearman G.H., Alspach S.D., Leventhal J.J.* Phys. Rev. A, 1978, **18**, 68.
4. *Бобашев С.В.* Письма в ЖЭТФ, 1970, **11**, 389.
5. *Шпеник О.Б., Запесочный И.П., Завилопуло А.Н.* ЖЭТФ, 1971, **60**, 513.

Ужгородский
государственный университет

Поступила в редакцию
13 октября 1984 г.