

РЕЗОНАНСЫ ПРИ ЭЛЕКТРОННОМ ВОЗБУЖДЕНИИ  
МЕТАСТАБИЛЬНЫХ УРОВНЕЙ МОЛЕКУЛ*А.Н.Завилопуло, А.В.Снегурский, О.Б.Шпеник*

Методом пересекающихся пучков — газодинамического молекулярного и моноэнергетического электронного — впервые измерены энергетические и угловые зависимости образования метастабильных молекул  $H_2$ ,  $N_2$  и  $O_2$  при электронном ударе.

Резонансные эффекты в электрон-атомных (молекулярных) столкновениях в настоящее время широко изучаются по наблюдаемой структуре оптических функций возбуждения. Наряду с этим, значительную информацию о резонансах можно извлечь из исследования возбуждения метастабильных состояний. Метод этот обладает высокой точностью и чувствительностью, что позволяет находить не только энергетическое положение резонансов и их ширину, но и, в некоторых случаях, дает возможность определения их принадлежности к данному энергетическому уровню. В данной работе приводятся новые данные о возбуждении метастабильных состояний молекул водорода, азота и кислорода моноэнергетическими электронами, а также угловые распределения метастабильных частиц, образующихся при электронном ударе.

Эксперименты проводились на установке, состоящей из газодинамического источника молекулярного пучка (ГИМП), источника моноэнергетических электронов и подвижного детектора для регистрации метастабильных частиц. Отдельные узлы установки детально описаны ранее [1, 2]. Интенсивность молекулярных пучков в зависимости от рода газа составляла  $1 \div 3 \cdot 10^{19}$  мол/см<sup>2</sup>·сек·стерад, а угловая расходимость —  $1 \div 1,5^\circ$ . Полная ширина энергетического разброса на половине высоты максимума распределения пучка электронов, создаваемого 127-градусным селектором, составляла  $\Delta E \sim 0,08$ . Метастабильные частицы детектировались каналным электронным умножителем (ВЭУ-6), установленным на подвижной платформе. Нулевой угол поворота детектора, совпадающий с направлением оси нейтрального пучка, определялся с помощью ртутной лампы, ультрафиолетовое (УФ) излучение от которой проходило через все формирующие щели ГИМП'а и попадало на детектор. В диапазоне углов  $\pm 60$ -градусное угловое разрешение детектора составляло 0,016 рад. Полезный сигнал регистрировался временно-аналоговым устройством с автоматическим сканированием энергии электронного пучка с шагом 0,025 эВ. Методика эксперимента сводилась к измерению полного числа метастабильных частиц, попадающих на детектор, в зависимости от энергии налетающих электронов, которая изменялась в диапазоне 7 — 19 эВ. Точность калибровки энергетической шкалы была не хуже  $\pm 0,05$  эВ. Относительная погрешность определения относительных сечений образования метастабильных частиц составляла  $\sim 3\%$ . Для устранения влияния заряженных частиц на регистрацию полезного сигнала, на входе ВЭУ-6 смонтирована ионно-оптическая система, состоящая из набора линз и цилиндрического конден-

сатора. Кроме того, на одну из линз подавался импульс задержки, препятствующий "засветке" детектора УФ излучением. Такая система практически обеспечивала отношение сигнал/шум, равное 10/1.

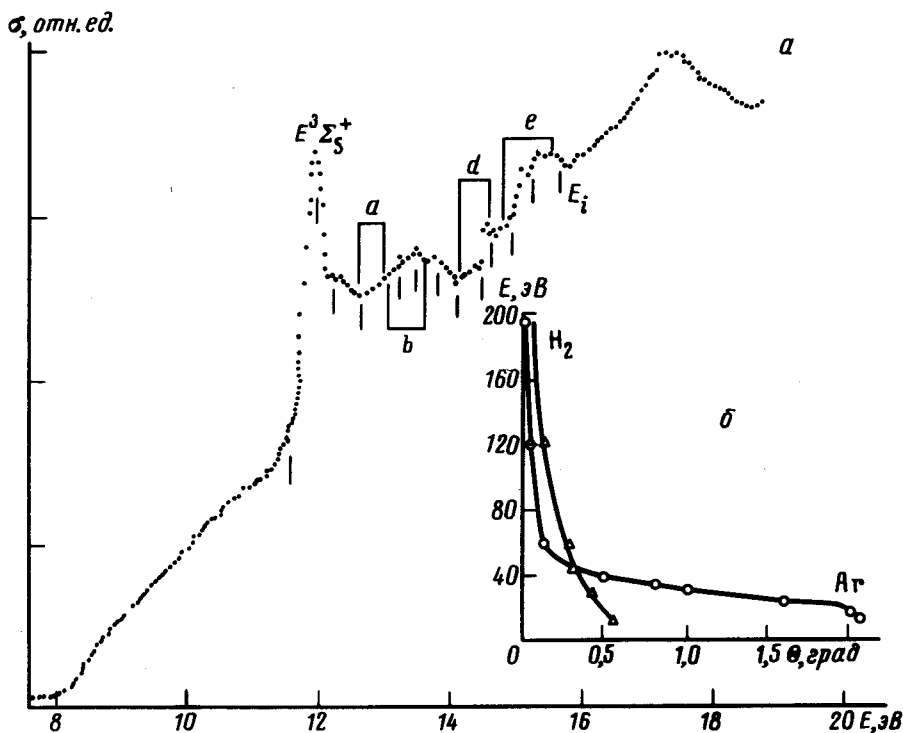


Рис. 1. *a* – Функция возбуждения метастабильного состояния молекулы  $N_2$ ; *b* – угловая зависимость выхода метастабилей от энергии электронов

На рисунках 1 – 3 представлены результаты наших измерений<sup>1)</sup>. Отметим, что функция возбуждения метастабильного уровня азота измерялась ранее в работе [3], однако в ней источником молекулярного пучка служил эффузионный источник со значительной угловой расходимостью. Несмотря на существенное различие в этом аспекте, вид измеренной нами функции (рис. 1, *a*) хорошо согласуется с полученной в [3]. Ширина резонанса на этой функции при  $E = 11,92$  эВ практически совпадает с полушириной энергетического разброса электронного пучка, что позволило использовать его для калибровки энергии возбуждающих электронов. Что касается подобных экспериментов с молекулами  $H_2$  и  $O_2$ , то насколько нам известно, они отсутствуют. Энергетическое положение резонансов на функциях возбуждения  $H_2$  (см. рис. 2) достаточно хорошо коррелирует с энергетическими уровнями отрицательных ионов  $H_2^-$ , идентифицированных в опытах по "electron transmission" [4] и соответствует возбуждению полос "a", "b", "c", "e" и "f". Подобная ситуация имеет место и для молекулы  $O_2$  (рис. 3), од-

<sup>1)</sup> На рисунках введена маркировка полос и резонансов по Шульцу [4], энергетические положения резонансов взяты из работ [3, 4].

нако, здесь интересным является тот факт, что высокий максимум появляется практически вблизи порога ионизации и соответствует потенциалу возбуждения метастабильного  $1\Sigma_u^+$ -уровня. Как видно из рисунков 1 – 3, на функциях возбуждения метастабильных состояний молекул  $H_2$ ,  $N_2$  и  $O_2$  имеется целый ряд максимумов за потенциалом ионизации ( $E_i$ ). Представляется наиболее вероятным, что природа их возникновения связана с автоионизационными состояниями молекул.

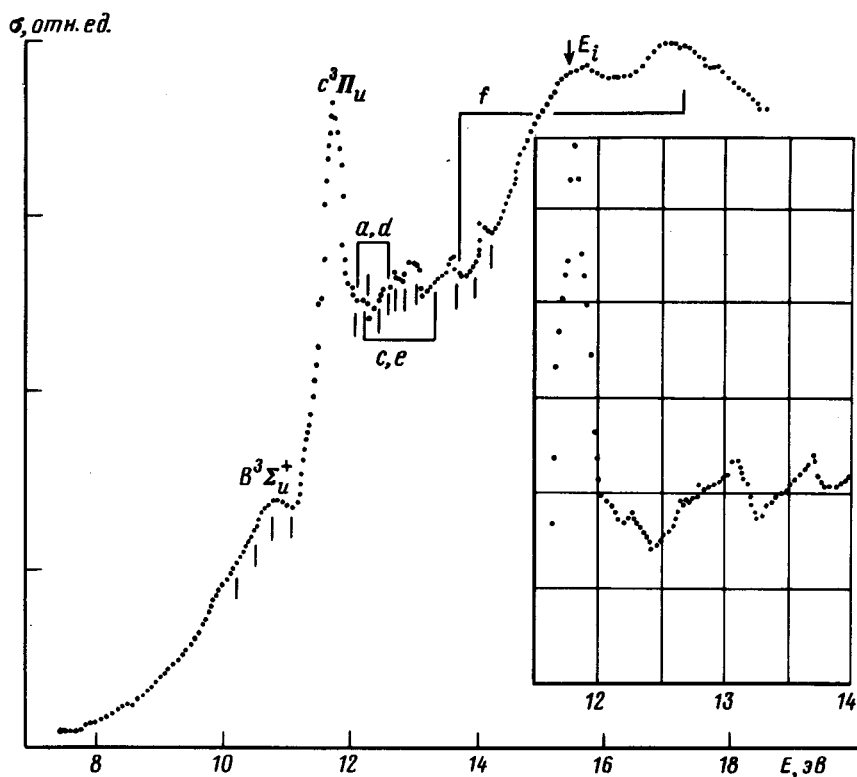


Рис. 2. Функция возбуждения метастабильного состояния молекулы  $N_2$

Малая угловая расходимость молекулярного пучка, создаваемого ГИМП'ом и возможность перемещения детектора метастабилей относительно оси молекулярного пучка, позволили определить с высокой точностью положение максимума распределения интенсивности метастабильных частиц и исследовать угловые распределения их выхода (см. рис. 1, б). Нами впервые измерены угловые зависимости интенсивности метастабильных атомов Ar и молекул  $H_2$ ,  $N_2$  и  $O_2$  при различных энергиях электронов. Экспериментально обнаружено, что эффект передачи импульса (импульс отдачи) имеет место до определенной энергии электронов, выше которой направление метастабилей совпадает с направлением первичного пучка молекул. Проведенный расчет угла сноса метастабилей вследствие электронного удара по методу, предложенному в [5], хорошо согласуется с полученными экспериментальными результатами (за исключением молекулы водорода). Измеренные нами угловые зависимости выхода метастабильных частиц от

энергии электронов для  $H_2$ ,  $N_2$ ,  $O_2$  и  $Ar$  показывают, что при энергиях свыше 150 эВ угол сноса стремится к нулю. Таким образом, экспериментально подтверждено, что с ростом энергии электронов величина импульса, передаваемого ими частицам мишени, существенно уменьшается. Это свидетельствует в пользу того, что вероятность возбуждения быстро убывает по мере роста угла рассеяния электронов.

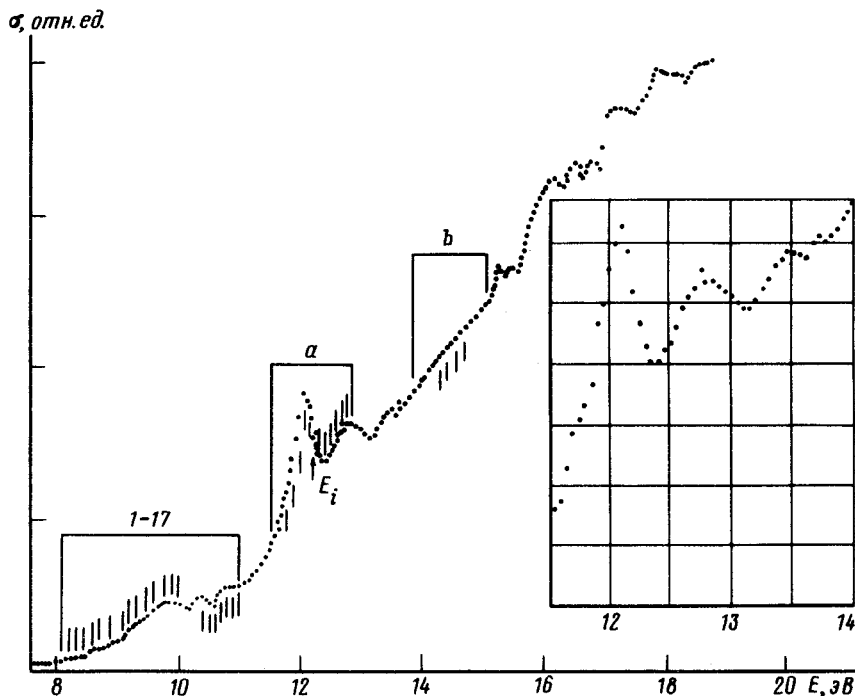


Рис. 3. Функция возбуждения метастабильного состояния молекулы  $O_2$

Авторы выражают благодарность проф. И.П.Запесочному за ценное обсуждение результатов данной работы, а также Е.Э.Контрошу и И.В.Чернышовой за помощь при обработке результатов.

Ужгородский  
государственный университет

Поступила в редакцию  
25 октября 1979г.

### Литература

- [1] A.N.Zavilopulo et al. VI Int. Symp. on Molec. Beams. Book of Abstracts. Netherlands, 269, 1977.
- [2] И.П.Запесочный, О.Б.Шпеник. ЖЭТФ, 50, 890, 1966.
- [3] J.N.H.Brunt, G.C.King, F.H.Read. J. Phys. B. Atom. Molec. Phys., 11, 173, 1978.
- [4] G.J.Schulz. Rev. Mod. Phys., 45, 423, 1973.
- [5] V.Brutschy, H.Haberland. J. Phys. E. Sci. Instrum., 10, 90, 1977.