

水素分子の(e,2e)電子衝突イオン化過程の入射電子エネルギー依存性[2]: 実験と理論との比較

(東北大多元研) 浅野佑策、渡辺昇、高橋正彦

【序】 一電子のイオン化と同時にもう一つの電子が励起する、いわゆる励起を伴うイオン化過程は電子相関や反応メカニズムに関する重要性から多種多様な研究がこれまで活発に行われてきている。我々は binary (e,2e)分光法を用いて、二電子系である水素分子の励起を伴うイオン化過程についての研究を進めている。これまでの一連の研究で[1-3]、1-4keV という高い入射電子エネルギーでも励起を伴うイオン化過程に対しては一次の Born 近似に基づく平面波撃力近似(PWIA)の枠組みでは実験結果を定性的にも理解できず、Born 近似の二次項で表される two-step メカニズムが重要な役割を担うことを見出し、昨年の分子構造総合討論会で報告した[4]。本研究ではその定量的な理解のため two-step メカニズムの寄与を取り入れた二次の Born 近似(SBA)計算を行い実験と比較したので報告する。

【実験】 実験は、我々が開発した画像観測(e,2e)分光装置[2]を用いて行った。電子銃で生成した入射電子をマルチノズルから噴出した標的ガスビームと交差させ、電子衝突イオン化を起こす。これによって生成した非弾性散乱電子と電離電子のうち散乱角 45° 方向に飛び出したものを球型アナライザーでエネルギー分析した後、2組の二次元検出器で同時計測し、その検出位置から電子の運動量 p_1 、 p_2 とエネルギー E_1 、 E_2 を決定する。このとき入射電子のエネルギー E_0 と運動量 p_0 は既知であるので、散乱前後のエネルギー保存則と運動量保存則からイオン化エネルギー E_{bind} と生成イオンの反跳運動量 q を共に決定できる。

$$E_{\text{bind}} = E_0 - (E_1 + E_2) \quad ; \quad q = p_0 - (p_1 + p_2)$$

以上の原理により、(e,2e)散乱断面積を E_{bind} と q の双方の関数として測定する。

【結果と考察】 図1に、 $E_0=1.2$ keV の条件下で得た水素分子のイオン化エネルギースペクトルを示す。 $E_{\text{bind}}=16.2$ eV 付近に現れる $1s\sigma_g$ 主遷移ピークの高エネルギー側に、 $2p\sigma_u$ や $2p\pi_u$ などイオン励起状態への遷移によるサテライトバンドが現れている。これらサテライトバンドは本質的にブロードであるため互いに重なって現れているが、波形分離によって遷移毎の強度を得ることができる。これにより、各イオン化遷移の(e,2e)散乱断面積の q 依存性を示す運動量分布を求めた。

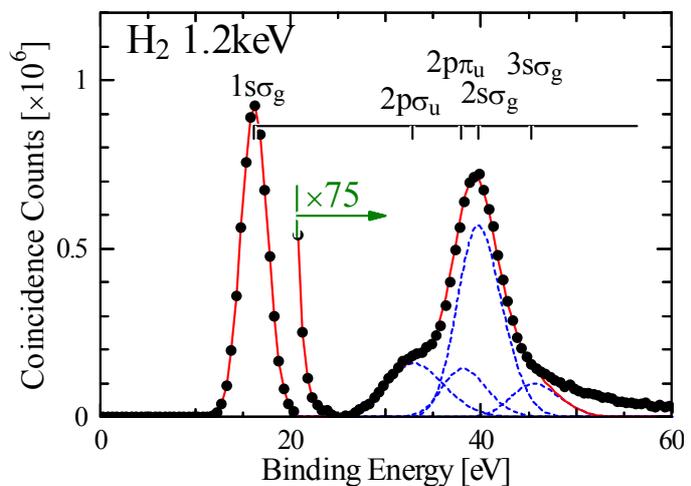


図1. 水素分子の(e,2e)イオン化エネルギースペクトル

図2に、 $E_0=1.2, 2.0$ keVの条件下で測定した $1s\sigma_g$ 主遷移、 $2p\sigma_u$ 、 $2p\pi_u$ 、及び $2s\sigma_g$ イオン化遷移の実験的運動量分布とPWIA、SBA計算による理論的分布を示す。本実験では散乱断面積の絶対値を得ることはできないが、測定した遷移間の相対強度は保存される。そこでPWIA計算が実験をよく再現することが分かっている $1s\sigma_g$ 運動量分布について、測定した運動量領域での積分が1になるように規格化し、得られた規格化因子を $2p\sigma_u$ や $2p\pi_u$ などイオン化遷移に対しても適用し、運動量分布を $1s\sigma_g$ 遷移に対する相対強度としてプロットすることで実験と理論の定量的な比較を行っている。

図から、 $1s\sigma_g$ 主遷移の運動量分布に関してはPWIAの予測は実験と満足すべき一致を見せていることが分かる。一方、 $2p\sigma_u$ 、 $2p\pi_u$ 、及び $2s\sigma_g$ イオン化遷移について見てみると、実験結果と、高エネルギー極限近似であり E_0 依存性を持たないPWIAの予測との間に有意な差があり、その差異の大きさは遷移毎に異なっていることが分かる。また、 E_0 を上げていくにつれて実験的分布の強度が下がっていきPWIAに漸近していくこと、さらに、その漸近の様子が遷移毎に大きく異なっていることが見て取れる。

こうした実験結果を、SBA計算による理論的分布はどの遷移においても良く再現する。このことは、水素分子の励起を伴うイオン化過程の(e,2e)散乱ダイナミクスにおけるtwo-stepメカニズムの重要性を見出してきた我々の実験研究[1-4]を強く支持するものである。

講演では $E_0=4.0$ keVでの実験結果も示し、水素分子の(e,2e)電子衝突イオン化過程の E_0 依存性について議論を行う。

【参考文献】

- [1] M. Takahashi *et al.*, Phys. Rev. A **68**, 042710 (2003).
- [2] M. Takahashi *et al.*, J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom. **141**, 83 (2004).
- [3] M. Takahashi *et al.*, Phys. Rev. Lett. **94**, 213202 (2005).
- [4] 浅野佑策ら, 1C05, 分子構造討論会 (静岡, 2006).

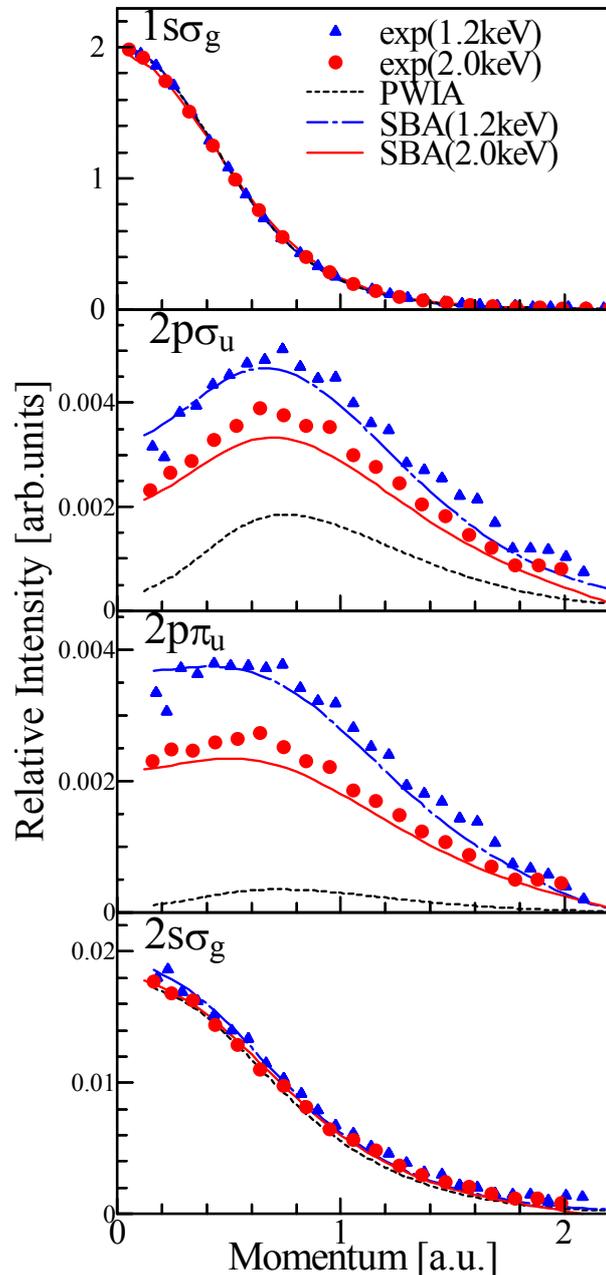


図2. 水素分子の運動量分布