

2P127

三重同時計測による配向水素分子の(e,2e)散乱ダイナミクス (II)

(東北大多元研) ○渋谷昌弘, 高橋穰, 浅野佑策, 渡辺昇, 高橋正彦, 宇田川康夫

[序] 電子線コンプトン散乱の動力的完全実験である binary (e,2e)分光は、電子と標的原子分子との衝突ダイナミクスを研究する上で強力な実験手法である。しかし、分子座標系における電子衝突立体ダイナミクスの研究という観点から見ると、標的のランダムな空間配向により空間平均された測定結果しか得られず、定量的な議論に必要な多くの情報が失われてしまうという問題がある。そこで我々は、この問題点を克服するため、生成分子イオンの axial recoil 解離を利用した配向分子の binary (e,2e)分光を世界に先駆けて開発し、分子座標系での(e,2e) 散乱断面積の測定を実現した[1]。(e,2e+M)分光と名付けた本手法を用いることで、電子-H₂ 分子の衝突立体ダイナミクスの研究を行っている。これまでの入射電子エネルギー $E_0=1.2\text{keV}$ における実験で、イオン励起状態への遷移に対し two-step メカニズムに代表される高次 Born 項が重要な役割を果たすことを見出し、その寄与の分子軸方向に対する異方性の観測に成功した[1,2]。本研究では、(e,2e)散乱ダイナミクスの詳細な理解のため、2.0keV というより高い入射電子エネルギーで測定を行ったので報告する。

[(e,2e+M)分光の原理] binary(e,2e)分光実験では高速電子衝撃イオン化で生成する非弾性散乱電子と電離電子のエネルギー E_1, E_2 と運動量 $\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2$ を同時計測法により測定する。これにより、既知の入射電子のエネルギー E_0 と運動量 \mathbf{p}_0 を用いて、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 \mathbf{q} を同時に決定できる。

$$E_{\text{bind}}=E_0 - E_1 - E_2, \quad \mathbf{q} = \mathbf{p}_0 - \mathbf{p}_1 - \mathbf{p}_2$$

図1に実験で用いる symmetric noncoplanar 配置を示す。電子衝撃イオン化で生成した散乱二電子のうち、散乱角が 45° でエネルギーが相等しいものを同時計測する。この時、 \mathbf{q} の大きさは検出した二電子間の方位角差 $\Delta\phi$ から分かる。以上の原理により、イオン化遷移毎の電子運動量分布を空間平均した形で得ることができる。これが従来の binary (e,2e)分光である。

我々は、この binary (e,2e)分光を配向分子のそれへとクアンタムジャンプするため、従来は観測していなかったイオンに着目した。すなわち、生成分子イオンが分子回転より十分速く解離する場合、解離イオンの反跳方向は電子衝撃時の分子軸方向と同じとする axial recoil 近似が使える。また、symmetric noncoplanar 配置では \mathbf{q} は基本的に入射電子ビーム軸と垂直であるため、 \mathbf{p}_0 と垂直方向に飛び出した解離イオンを検出すれば \mathbf{q}

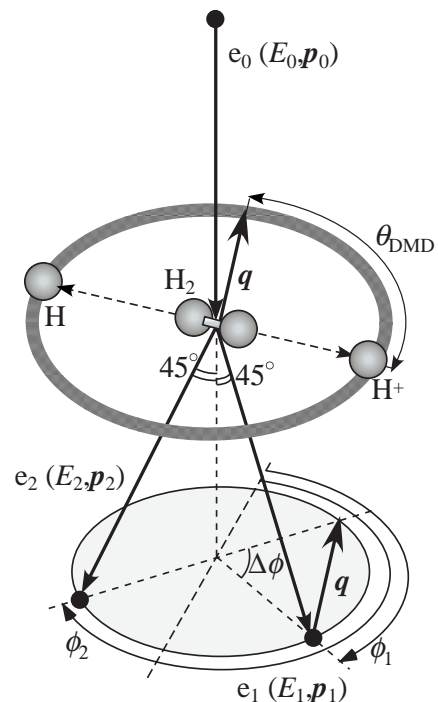


図 1: symmetric noncoplanar 配置

と分子軸との角度 θ_{DMD} が決定できる。従って、散乱二電子と解離イオンの三つの荷電粒子間のベクトル相関の測定により、(e,2e)断面積を q と θ_{DMD} の関数として求めることができる。

[実験] 実験は axial recoil を満足する直接解離を後続過程として伴う H_2 分子イオンの励起状態への遷移を対象として、衝突エネルギー2keV の条件下で行った。実験装置の詳細については、文献[1]を参照されたい。

[結果と考察] 図2は 3 重同時計測数を E_{bind} の関数としてプロットすることで得られた水素分子のイオン化エネルギースペクトルである。比較のため、通常の(e,2e)実験による結果も点線で示している。(e,2e)実験で観測された $1s\sigma_g$ H_2^+ 基底イオン状態への遷移による $E_{\text{bind}}=16\text{eV}$ の強い主遷移ピークが、三重同時計測信号から構成したスペクトルでは実験誤差の範囲内においては消失している。これは、 $1s\sigma_g$ 遷移において生成イオンの解離する割合が極端に低いことに加え、解離イオンの運動エネルギーが 1eV 以下と小さく、3 重同時計測信号に殆ど寄与しないことによる。これに対し、 H_2^+ イオンがすべて解離し、 H^+ イオンも大きな運動エネルギーを持つイオン励起状態への遷移は、三重同時計測信号として $E_{\text{bind}}\geq 25\text{eV}$ の領域に現れている。

図3はイオン励起状態への遷移に対する (e,2e+M)断面積を分子軸と q が成す角 θ_{DMD} の関数として、分子軸を紙面上下方向とした極座標表示でプロットした結果である。ここで示すのは、 $E_{\text{bind}}\geq 25\text{eV}$ で観測された $2p\sigma_u$, $2s\sigma_g$ 状態を含むすべてのイオン励起状態への遷移の和である。図より分子軸と q が平行となる紙面上下方向の実験値が、他の角度における測定値よりも大きな強度を示していることがわかる。現在この要因を解明するため、解析を進めている。

当日は、イオン化遷移毎に成分を分離した解析結果を示すとともに、 $E_0=1.2\text{keV}$ における実験や平面波撃力近似に基づく理論計算との比較などから、電子- H_2 分子の衝突立体ダイナミクスについて議論する。

[参考文献]

[1] M. Takahashi *et al.*, J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom. **141**, 83 (2004).
 [2] M. Takahashi *et al.*, Phys. Rev. Lett. **94**, 213202 (2005).

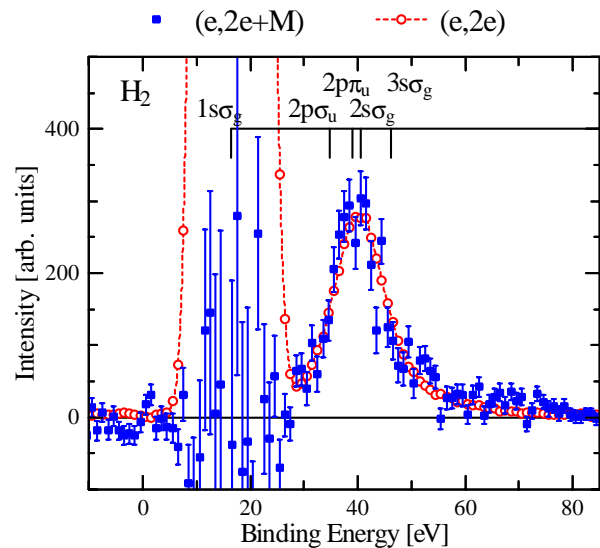


図 2 : 水素分子のイオン化スペクトル

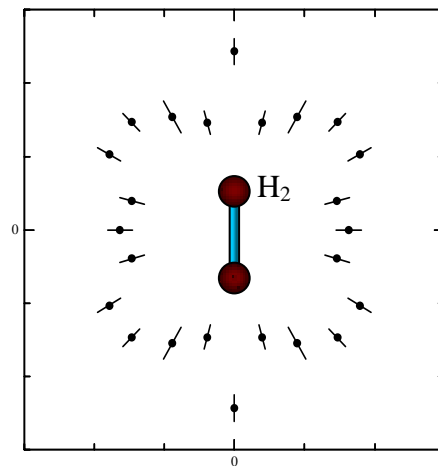


図 3 : $E_0=2\text{keV}$ における配向水素分子の (e,2e+M) 散乱断面積