

原子運動量分光による希ガス原子線の速度分布の異方性の研究

¹東北大学多元物質科学研究所

○立花佑一¹, 細野雅貴¹, 山崎優一¹, 高橋正彦¹

Anisotropy of the velocity distribution of rare gas atoms in a beam observed by atomic momentum spectroscopy

○Yuichi Tachibana¹, Masaki Hosono¹, Masakazu Yamazaki¹, Masahiko Takahashi¹

¹Institute of Multidisciplinary Research for Advanced Materials, Tohoku University

【Abstract】 Recently, it has been shown that keV electron scattering at high momentum transfer q can be used as a new technique for direct observation of the Compton profile, a projection of the momentum distribution of atoms in a molecule onto the direction of q . In order to fully explore potential of this new technique, we have developed recently a multi-channel apparatus that has an ability to perform experiments for various angles between q and the target molecular beam. Here, we have examined how the Compton profile of rare gas atoms are affected by the velocity distribution of a target gas beam. The results clearly demonstrate that not only contributions of the center-of-mass motion but also its anisotropy are negligibly small, except the He case. These findings have subsequently been employed to extract information about internal motions for diatomic molecules.

【序】 近年、大きな移行運動量 q を伴う高速電子線の準弾性後方散乱過程が、入射電子と分子内のある 1 つの原子との二体衝突として記述できることが分かってきた[1]。このとき散乱原子は、その質量を M 、運動量を p とすると、 $E_{\text{rec}} = q^2/2M + q \cdot p/M$ で与えられる反跳エネルギーを得る。したがって、入射電子のエネルギー損失スペクトルから p の分布を q 方向へ射影した形のコンプトンプロファイルを調べることができる。我々は、原子運動量分光 (Atomic Momentum Spectroscopy; AMS) とよぶ本手法を、化学反応中の原子運動の変化をも捉える形に発展させるため、分子の内部運動の情報を実験データから抽出することを試みている。本研究ではまず希ガスを対象として、標的ビームの並進運動が実験データに与える寄与を調べた。

【実験方法】 実験装置の概略を Fig.1 に示す[2]。2 keV の入射電子線を、ガスノズルから噴射した標的原子線 (He, Ne, Ar, Kr, および Xe) と散乱点で衝突させ、散乱角 135° 方向に準弾性散乱した電子のみを球型アナライザーに導いてエネルギー分散させた後、二次元検出器で検出した。本装置は標的原子線の進行方向を 0° として、方位角 -72.5° から 72.5° 、 107.5° から 252.5° に散乱した電子を一度に捕集できるため、標的原子線の進行方向に対して移行運動量 q が様々な向きの場合のデータを得ることができる。したがって、並進運動の寄与が十分に大きければ、原子線の進行方向に対して前方に

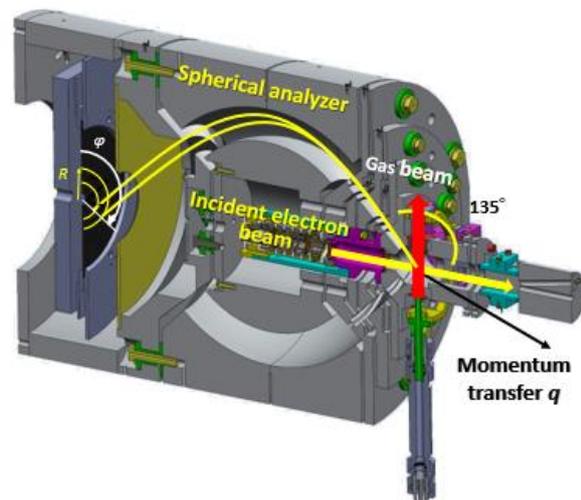


Fig. 1. Schematic of the multichannel atomic momentum spectrometer

散乱した場合と、後方に散乱した場合とで、スペクトルに相違が現れると期待される。

【結果・考察】 Figure 2 は、方位角が 0° と 180° の場合に対して得た、He の電子エネルギー損失スペクトルである。図から明らかのように、 $\phi=0^\circ$ と 180° とでピーク位置が異なる様子が見て取れる。これは、標的原子線の速度分布の異方性のため、標的原子運動量 \mathbf{p} に対する \mathbf{q} の向きによって、反跳エネルギー E_{rec} の $\mathbf{q} \cdot \mathbf{p}/M$ 項の寄与が逆転するためである。ただし、このような速度分布の異方性が観測されたのは He の場合のみであり、そのほかの希ガス原子についてはピーク位置の方位角依存性は無視できるほど小さいことが分かった。

次に、速度分布（幅）がバンド形状に与える影響を調べるため、方位角ごとにバンドのピーク位置のシフト量を取り除いたスペクトルを様々な希ガス原子について比較した (Figure 3)。Figure 3 から、バンド形状は希ガスに依らず、速度分布の影響は無視できるほど小さいことが分かった。そこで、Kr のスペクトルを装置関数として用い、 D_2 の調和振動の理論的スペクトル[3]に Kr のスペクトルをたたみ込んだものを、 D_2 の実験スペクトルと比較したのが Fig. 4 である。装置関数でたたみ込んだ調和振動子のコンプトンプロファイルは D_2 の実験結果を良く再現しており、したがって、分子の AMS スペクトルから振動の寄与を抽出できることを強く示唆している。

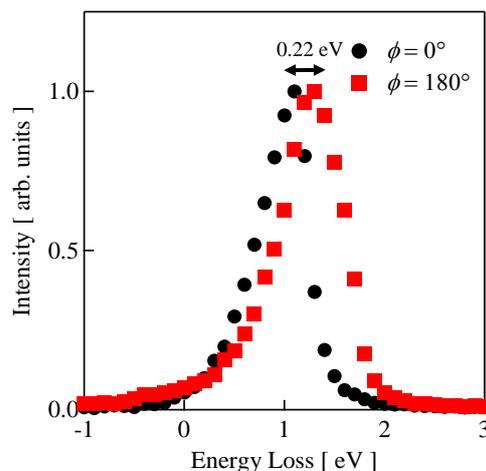


Fig. 2. Electron energy loss spectra of He measured at $\phi=0^\circ$ and $\phi=180^\circ$.

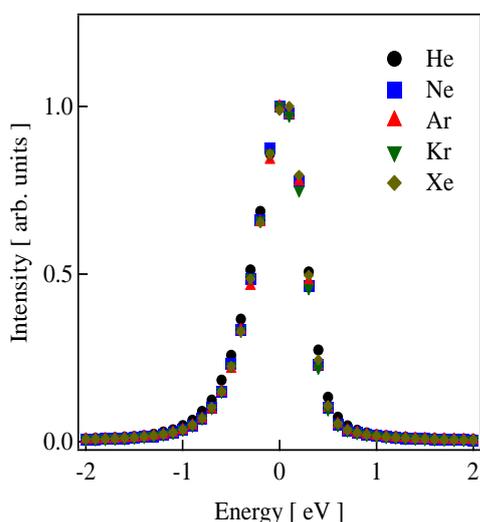


Fig. 3. Electron energy loss spectra of rare gases.

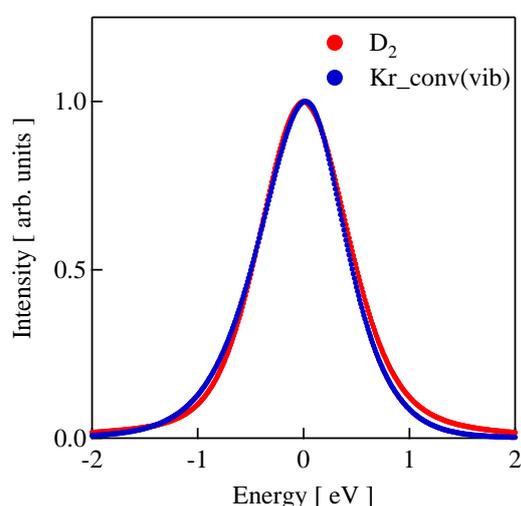


Fig. 4. Comparison between AMS spectrum of D_2 and that of Kr convoluted by the vibrational contribution of D_2 .

【参考文献】

- [1] M. Vos, M. Went, G. Cooper, and C. Chatzidimitriou-Dreismann, *J. Phys. B* **41**, 135204 (2008).
- [2] M. Yamazaki, M. Hosono, Y. Tang, and M. Takahashi, *Rev. Sci. Instrum.* **88**, 063103 (2017)
- [3] E.B.Karlsson, *Nucl. Instrum. Methods B* **694**, 286 (2012).