

Title	Chemical Effect on Muonic Atom Formation through Muon Transfer Process in Hydrocarbon Molecules
Author(s)	稲垣, 誠
Citation	大阪大学, 2018, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/69366
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

論文内容の要旨

氏名 (稲垣 誠)

論文題名

Chemical Effect on Muonic Atom Formation through Muon Transfer Process in Hydrocarbon Molecules
(炭化水素分子系のミュオン転移過程によるミュオン原子形成における化学効果)

論文内容の要旨

原子は正の電荷を持った原子核と負の電荷を持った電子から構成される。原子はこれらが電磁相互作用によって引き合うことにより成り立っているため、原子核と電子の一方または両方を他の正電荷を持つ粒子と負電荷を持つ粒子に変えても原子系が成り立つ。このような原子系をエキゾチックアトムと呼ぶ。その中でも、原子中の一つの電子をミュオンまたはパイオンで置き換えた原子系であるミュオン原子およびパイオン原子はよく研究されているエキゾチックアトムである。興味深い現象として、ミュオン原子やパイオン原子の形成過程に原子のおかれた化学的環境が影響することが知られており、化学効果と呼ばれている。化学効果に関しては多くの研究が行われているが、その多くはミュオンやパイオンが原子に直接捕獲される過程についてのものである。一方で、水素原子を介してミュオンやパイオンが原子に捕獲される過程であるミュオン転移過程やパイオン転移過程における化学効果については報告例が少なく、不明な点が多い。

本研究ではミュオン転移過程における化学効果、特にミュオン転移速度に対する化学効果を明らかにすることを目的とした。そのために、先行研究でパイオン転移過程における化学効果が観測されているベンゼンおよびシクロヘキサンを用い、それらにおけるミュオン転移過程について調べた。

実験は気体と液体の2種類の系で行った。気体の系では、ベンゼンおよびシクロヘキサンを低密度の状態を用いてミュオン原子形成実験を行った。この実験では、低密度の気体においてはミュオンの転移速度が遅いことを利用して、ミュオン転移過程のみに由来するミュオン特性X線を観測してミュオン転移速度を直接測定した。液体の系では、先行研究でパイオン転移過程に対する化学効果が観測された実験と同じベンゼンまたはシクロヘキサンと四塩化炭素とを混合した液体を用いてミュオン原子形成実験を行った。この実験では液体の混合比を変えながら精密な測定を行い、ミュオン捕獲のモデルを用いることでミュオン転移速度を解析した。

その結果、気体の系においてはベンゼンとシクロヘキサンとでミュオン転移速度の差は見られず、液体の系においてはベンゼンの炭素原子へのミュオン転移速度がシクロヘキサンの炭素原子へのミュオン転移速度の1.2倍程度であることが分かった。一方、液体の系におけるパイオン転移過程では、その速度の差が約2倍であることが先行研究により知られている。これらの違いは、転移が起こる際にミュオン水素原子やパイオン水素原子が励起状態である割合が高いほど、分子構造による立体障害の違いの影響を受けやすいと考えられると説明することができる。本研究により、ミュオンやパイオンの転移過程における化学効果には励起状態のミュオン水素原子やパイオン水素原子が重要な役割を果たしていることが明らかとなり、転移過程の化学効果が生じる機構についての知見を得ることができた。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (稲 垣 誠)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教授	篠原 厚
	副 査	教授	奥村光隆
	副 査	教授	岡田美智雄
	副 査	教授	久保謙哉 (国際基督教大学)

論文審査の結果の要旨

原子は正の電荷を持った原子核と負の電荷を持った電子から構成される。原子はこれらが電磁相互作用によって引き合うことにより成り立っているため、原子核と電子の一方または両方を他の正電荷を持つ粒子と負電荷を持つ粒子に変えても原子系が成り立つ。このような原子系をエキゾチックアトムと呼ぶ。その中でも、原子中の一つの電子をミュオンまたはパイオンで置き換えた原子系であるミュオン原子およびパイオン原子はよく研究されているエキゾチックアトムである。興味深い現象として、ミュオン原子やパイオン原子の形成過程に原子のおかれた化学的環境が影響することが知られており、化学効果と呼ばれている。化学効果に関しては多くの研究が行われているが、その多くはミュオンやパイオンが原子に直接捕獲される過程についてのものである。一方で、水素原子を介してミュオンやパイオンが原子に捕獲される過程であるミュオン転移過程やパイオン転移過程における化学効果については報告例が少なく、不明な点が多い。

本研究ではミュオン転移過程における化学効果、特にミュオン転移速度に対する化学効果を明らかにすることを目的としている。そのために、先行研究でパイオン転移過程における化学効果が観測されているベンゼンおよびシクロヘキサンを用い、それらにおけるミュオン転移過程について調べた。実験は気体と液体の2種類の系で行った。気体の系では、ベンゼンおよびシクロヘキサンを低密度の状態を用いてミュオン原子形成実験を行った。この実験では、低密度の気体においてはミュオンの転移速度が遅いことを利用して、ミュオン転移過程のみに由来するミュオン特性 X 線を観測してミュオン転移速度を直接測定した。液体の系では、先行研究でパイオン転移過程に対する化学効果が観測された実験と同じベンゼンまたはシクロヘキサンと四塩化炭素とを混合した液体を用いてミュオン原子形成実験を行った。この実験では液体の混合比を変えながら精密な測定を行い、ミュオン捕獲のモデルを用いることでミュオン転移速度を解析した。

その結果、気体の系においてはベンゼンとシクロヘキサンとでミュオン転移速度の差は見られず、液体の系においてはベンゼンの炭素原子へのミュオン転移速度がシクロヘキサンの炭素原子へのミュオン転移速度の 1.2 倍程度であることが分かった。一方、液体の系におけるパイオン転移過程では、その速度の差が約 2 倍であることが先行研究により知られている。これらの違いは、転移が起こる際にミュオン水素原子やパイオン水素原子が励起状態である割合が高いほど、分子構造による立体障害の違いの影響を受けやすいと考えられる。本研究により、ミュオンやパイオンの転移過程における化学効果には励起状態のミュオン水素原子やパイオン水素原子が重要な役割を果たしていることが明らかとなり、転移過程の化学効果が生じる機構についての基本的な知見を得た。この成果は、今後広く展開が期待されているミュオン X 線による元素分析等への応用にも重要である。

よって、本論文は博士(理学)の学位論文として十分価値あるものと認める。