



Title	Atomic Processes after Formation of Pionic and Muonic Atoms
Author(s)	二宮, 和彦
Citation	大阪大学, 2008, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/48756
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

氏名	にの 三 宮 和 彦
博士の専攻分野の名称	博士 (理学)
学位記番号	第 21756 号
学位授与年月日	平成 20 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 理学研究科化学専攻
学位論文名	Atomic Processes after Formation of Pionic and Muonic Atoms (パイ中間子原子およびミュオン原子形成後の原子過程)
論文審査委員	(主査) 教授 篠原 厚 (副査) 教授 渡會 仁 教授 笠井 俊夫 高エネルギー加速器研究機構教授 三浦 太一

論文内容の要旨

原子は原子核と電子の電気的な相互作用からなっているため、原子核・電子以外の電荷を持った粒子も同じように原子様の系を形成することが出来る。これらの原子様の系を総称してエキゾチックアトムと呼ぶ。この中でも負の電荷を持ったパイ中間子もしくはミュオンが電子の代わりに導入された系、パイ中間子原子およびミュオン原子はこれら負の粒子が加速器で比較的容易に生成できることから、その形成過程については多くの研究がされている。しかしそのほとんどは分子にパイ中間子やミュオンが捕獲されたときにどの原子に捕獲されるかといったことや、どのような状態（量子数）で捕獲されたかということに注目しており、パイ中間子原子およびミュオン原子形成後の原子過程について注目した研究は非常に少ない。

本研究ではパイ中間子原子およびミュオン原子形成後の原子過程解明のために、これら形成後のカスケード過程において放出される電子の特性エックス線（電子エックス線）のエネルギーに注目して研究を行った。高エネルギー加速器研究機構陽子シンクロトロン加速器研究施設においてパイ中間子原子の実験を、同機構内中間子実験施設においてミュオン原子に関するこれらの測定を行った。得られたスペクトルをフッティングにより解析し、エネルギーシフト値（パイ中間子もしくはミュオン Z 原子と Z-1 原子の電子エックス線のエネルギー差）を導出した。

またこれらエキゾチックアトムにおいてパイ中間子、ミュオンがそれぞれどの準位に存在しているときに電子エックス線が放出されるのか、またそれぞれの準位にパイ中間子およびミュオンが存在するときの電子エックス線のエネルギーを計算により求め、パイ中間子原子およびミュオン原子のエネルギーシフトを計算値を求めた。加えて原子系内に電子空孔が存在している場合の電子エックス線エネルギーの変化についても同様に計算を行った。

エネルギーシフトの計算値と実験値を比較した結果、パイ中間子原子、ミュオン原子共に原子番号の大きい領域 ($Z > 70$) においては電子空孔によるエネルギーシフトへの影響が L 裂電子で一個相当、原子番号の小さい領域においては L 裂電子空孔 2 個相当分のエネルギーへの影響があることが分かった。これは原子番号の大きい領域においてはエネルギーシフト値に電子空孔の影響はほとんどないとしたミュオン原子に関する過去の実験結果とは異なる結果である (H. Schneuwly and P. Vogel, Phys. Rev. A22, 2081 (1980))。また、電子エックス線の強度についての考察から化学形による電子空孔の影響の違いを示唆する結果も得られた。

パイ中間子およびミュオン原子形成後の原子過程について、これらの粒子の捕獲によって原子系は非常に乱されたものとなってはいるが、電子エックス線のエネルギーの測定から、エックス線の放出およびそのエネルギーに関わるような比較的内殻の電子の状態については静的な仮定の下での考察によりその状態を理解できることが分かった。

論文審査の結果の要旨

原子系に一つの負パイ中間子もしくは負ミュオンが電子の代わりに導入された、パイ中間子原子およびミュオン原子（エキゾチックアトム）は、負パイ中間子および負ミュオンが加速器において比較的容易に生成できることからこれまで多くの研究が行われてきている。エキゾチックアトムのうち特にミュオン原子はその寿命が非常に長く（ $Z \leq 10$ において $1 \mu s$ 以上）化学の分野への利用、つまりこれらを化学種とみなすような新しい領域の化学の展開が期待される。現在までにこれらのエキゾチックアトム形成の過程には電子の効果、つまり化学効果が存在することが知られている。また形成後の負パイ中間子や負ミュオンの脱励起過程については、これらの遷移に伴う特性エックス線（パイオニックエックス線もしくはミュオニックエックス線）の測定から比較的容易に理解できることから、多くの研究が行われてきている。しかし一方で、これらエキゾチックアトムが形成した後の電子の状態に注目した研究は非常に少ない。化学においては原子系に存在する電子の状態が非常に重要であり、エキゾチックアトムによる新しい化学領域の開拓のためには、エキゾチックアトム形成後の電子状態に関する知見が必要不可欠である。

本研究ではパイ中間子原子およびミュオン原子形成後の原子過程についての知見を得るために、これらのエキゾチックアトムから放出される電子の特性エックス線（電子エックス線）に注目した。負パイ中間子や負ミュオンは捕獲された後に原子内カスケード過程を経て脱励起していくが、このとき電子との相互作用（オージェ過程）により電子系が乱され、その再配列に伴い電子エックス線の放出が起こる。このエックス線のエネルギー（ K_{α} / K_{β} エックス線収率比）は、エックス線放出時の電子状態の影響を受けるため、これらを精密に測定することでエックス線放出時の電子状態に関する知見を得ることができる。

本研究では、広い範囲の元素について、パイ中間子原子およびミュオン原子から放出される電子エックス線エネルギーについて精密に測定を行った。さらにパイ中間子原子についてパイオニックエックス線と同時に放出された電子の特性エックス線の微細構造の測定を行った。実験は高エネルギー加速器研究機構において行った。パイ中間子原子に関する一連の測定は 12 GeV 陽子シンクロトロン加速器研究施設東カウンターホール $\pi \mu$ チャネルにおいて、ミュオン原子に関する実験は中間子実験施設 μ ポートにおいて、それぞれ専用の測定システムを構築して行った。

実験で得られた電子エックス線のエネルギーと計算から得られた電子エックス線のエネルギーを比較することにより、電子エックス線放出時のパイ中間子原子およびミュオン原子の電子状態を考察した。原子番号の大きい領域（ $Z > 70$ ）では、パイ中間子原子およびミュオン原子の電子エックス線エネルギーに対する電子空孔の影響は小さく、L殻電子空孔に換算して 1 個程度の寄与しかなく、一方で比較的低い原子番号領域（ $Z < 60$ ）においては L 殻電子空孔で 2 個かそれ以上の影響があるということが分かった。これらの傾向は電子の再充填速度の原子番号依存を考えた場合非常に妥当なものであるといえる。また、特に希ガス元素やイオン性化合物の測定サンプルにおいては電子空孔の影響が大きく出ており、化学形がパイ中間子原子形成後の電子状態に影響している可能性も示された。

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。