

Title	Energy Losses of Moderate-Energy Protons, Alpha Particles, and Nitrogen Ions in Al, Ni, Se, Ag, and Au( Abstract_要旨 )
Author(s)	Nakata, Hiroshi
Citation	Kyoto University (京都大学)
Issue Date	1971-07-23
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2433/213686">http://hdl.handle.net/2433/213686</a>
Right	
Type	Thesis or Dissertation
Textversion	none

氏名	中 田 泰 司
	なか た ひろ し
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	工 博 第 263 号
学位授与の日付	昭 和 46 年 7 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	工 学 研 究 科 原 子 核 工 学 専 攻
学位論文題目	<b>Energy Losses of Moderate-Energy Protons, Alpha Particles, and Nitrogen Ions in Al, Ni, Se, Ag, and Au</b>
	(中速陽子、アルファ粒子並びに窒素イオンのアルミニウム、ニッケル、セレンウム、銀、又は金に於けるエネルギー損失の研究)
	(主 査)
論文調査委員	教 授 向 坂 正 勝 教 授 兵 藤 知 典 教 授 大 石 純

### 論 文 内 容 の 要 旨

重イオンが物質中を通過するときの衝突過程、およびその結果現われるエネルギー損失や飛程に関しては、従来 1 MeV/amu 以上および 0.1 MeV/amu 以下 (amu=原子質量単位) がよく研究されている。この中間領域すなわち中速度の重イオンでは、ターゲット原子のもつ電子との衝突と原子核との衝突のほか、電荷変換現象も競合しており、最近とくに興味のある研究対象となっているが、極めて多くの問題が残されている。

本論文は 0.1~1MeV/amu のエネルギー領域の窒素イオンを、アルミニウム、ニッケル、セレンウム、銀、金の5種の媒質にあててエネルギー損失過程を詳細に実測するとともに、同領域の陽子、アルファ粒子による実験とも比較検討しており、5章からなっている。

第1章は、重イオンのエネルギー損失過程における衝突理論、およびこれから導かれるエネルギーと飛程との関係に関する基礎並びに従来からの理論と実験の現状とにつき概説したものである。とくに中速重イオンの領域では、イオン速度が入射イオンのもつ外側の殻電子速度 ( $\sim 10^8$  cm/S) と同程度になること、および電子的衝突と核的衝突とが競合して起ることに注意を喚起している。

第2章は、本領域でとくに有名な Lindhard, Scharff, Schiøtt 理論 (LSS 理論) を紹介し、エネルギーや飛程が無次元数で巧妙に表現される過程を順を追って明らかにしている。この方法によって電子的衝突と核的衝突とが分離されてそれぞれエネルギー損失に寄与すること、および実験で現われる飛程のゆらぎをどのように取扱かうべきかについて述べ、とくに中速領域の投射飛程について詳細な数学的取扱いを示している。なお本章での Schiøtt 理論も一部紹介している。

第3章は、著者の行なった窒素イオンのエネルギー損失実験とその解析に関するものである。まず京大サイクロトロンで 11.7 MeV の窒素イオンを加速し、これをアルミニウム、ニッケル、セレンウム、銀、または金の薄膜に通し、透過後のエネルギーを半導体検出器で測定する。膜厚を順次厚くすることにより、11.7~1 MeV の領域での透過エネルギーを知り、また曲線を外挿して飛程を求めた。この実験を解析し

て各エネルギーにおけるエネルギー損失と飛程を正確に求め、さきの LSS 理論を適用して詳細な比較検討を行なっている。

その結果、エネルギー損失の実測値がどの媒質でも理論値よりやや大きくなることに注目し、他の実験結果とも対比した結果、原因が窒素イオンのもつ電子配列によるとの重要な推論を下している。すなわちエネルギー損失は入射重イオンの原子番号とともに単調増加するのではなく、振動的に変化していることを強調している。

第4章では、同じ媒質による陽子、アルファ粒子のエネルギー損失と飛程の実測結果をあげているが、この際使用した軽いイオンはさきの窒素イオンと同じ速度領域に選んでいる。この実験を行なったのは、セレンウムが窒素イオンに対してとくに異常なエネルギー損失を示したことが一つの原因である。その結果、残り4種の媒質については、軽イオンのエネルギー損失が他の実測と極めてよい一致をみているに拘らず、セレンウムのみ異常値を示した。このことより、セレンウム薄膜は蒸着膜作製時の均質状態が急変するか、ないしはエネルギー損失に大きな媒質依存性を現わすものと推測している。

第5章は有効電荷と平均電離エネルギーに関する研究である。本実験での重イオンエネルギー領域では、10~20%が核的衝突、残り80~90%が電子的衝突によってエネルギーを失なうとされている。従って電子的衝突に重きをおいて、Bethe-Bloch の公式を適用し、式中の入射重イオンの有効電荷と平均電離エネルギーの変化状態を、各媒質と各エネルギーについて計算している。

### 論文審査の結果の要旨

MeV 程度のエネルギーをもった電子、陽子あるいはアルファ粒子などのいわゆる軽い荷電粒子が、物質中を通過するときの減速機構については古くから研究されており、そのエネルギー損失や飛程についてよく解明されている。

しかしながら重い荷電粒子、いわゆる重イオンについては、1 MeV/amu 以上および 0.1 MeV/amu 以下 (amu=原子質量単位) の領域、すなわち高速度および低速度のばあいについての研究が大半である。中速度の 0.1~1 MeV/amu 領域は現在の主要な研究対象であって、とくに実験面での情報が不足している。

本研究は中速領域の窒素イオンを京大サイクロトロンによって発生し、アルミニウム、ニッケル、セレンウム、銀および金の薄膜を用いて飛程とエネルギー損失を精密に測定するとともに、同領域の陽子、アルファ粒子による結果とも比較検討しており、つぎの新しい知見を得ている。

1) 中速度窒素イオンの飛程実測値は、上記5種のどの媒質でも Lindhard らの理論 (LSS 理論) 値に比べて低い。この理由は、窒素イオンのもつ軌道電子配列にあってエネルギー損失が特に大きく現われるとしている。従ってエネルギー損失は、入射重イオンの原子番号とともに単調増加するのではなく、振動的に変化すると重要な特徴を示唆している。

2) 中速重イオンの領域では、物質通過中に電子的衝突と核的衝突とが競合して起るが、従来の理論で核的衝突は一定であるとしていた。これに対し著者はエネルギー依存の頂を見出し、修正したエネルギーと飛程の関係式を提唱している。

3) 本領域の重イオンの衝突断面積は、従来エネルギーの 0.5 乗に比例すると考えていたのに対し、0.4 乗が正しいことを実測で示している。

4) 同領域の速度をもった陽子、アルファ粒子を用い、そのエネルギーと飛程の関係を実測して窒素イオンの結果とを比較し、LSS 理論および Firsov 理論の問題点を明らかにしている。

すなわち本論文は、従来実験データの乏しかった 0.1~1 MeV/amu の重イオンの領域に対し、とくに窒素イオンを使用してエネルギー損失過程を詳細に実測した結果、重イオンの原子番号に依存する新しい頂を見出し、従来の理論の欠点を指摘して一部修正を試みたものであり、学術上実際上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。