【164】

氏　名（本　籍）	野口正晴（茨城県）
学位の種類	工　学　博　士
学位記番号	博　乙　第　513　号
学位授与年月日	平成元年３月25日
学位授与の要件	学位規則第５条第２項該当
審査研究科	工学研究科
学位論文題目	**Nuclear reaction of 12 GeV protons with medium mass tragets** **（中重核種における12GeV 陽子による原子核反応の研究）**

主　査	筑波大学教授	理学博士	森　茂　樹
副　査	筑波大学教授	理学博士	鈴　木　哲　郎
副　査	高エネルギー物理学研究所教授	理学博士	近　藤　健次郎
副　査	筑波大学助教授	理学博士	浅　野　侑　三

論　文　の　要　旨

本論文は12 GeV 陽子による中重核標的の核反応の断面積を，γ線スペクトロスコピーによって測定し，そのデータを基にして荷電分散解析（charge-dispersion analysis）と断面積の質量依存（mass-yield curve）を定量敵に研究している。

高エネルギー粒子による原子核反応においては，標的核が多数の核子を失う破砕反応が重要である。この反応は一般に，衝突過程と蒸発過程の二段階モデル（cascade-evaporation model）によって，良く理解されている。はじめの衝突過程では，高エネルギーの入射粒子が核内の核子とカスケード状に球つき衝突を行って，核子を核外にはじき出す。その結果，残留核は勃起状態になり，次の蒸発過程で，核子を蒸発することによってエネルギーを失い，生成原子核となる。これらの原子核には，β崩壊に対して安定なものと不安定なものが存在する。不安定なものは，β崩壊の後に，原子核に特有なγ線を放出する。

当研究では，γ線スペクトロスコピーを行ってγ線のエネルギーと半減期から，核反応によって生じる不安定原子核を同定し，生成断面積を決定する。照射実験は，高エネルギー物理学研究所の12 GeV 陽子シンクロトロンの一次陽子ビームを用いて行われた。標的は15種（Al, Ti, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Zr, Nb, Mo, Ag, Sn, W, Ta, Au）の金属薄膜と，７種の同位体膜（^{48}Ti, ^{56}Fe, ^{57}Fe, ^{58}Ni, ^{60}Ni, ^{63}Cu, ^{65}Cu）からなる。

本研究は，このうち，W, Ta, Au を除く全ての標的について，解析を行った。天然の標的は２グループに，又，同位体標的は１グループにして，計３回の照射を行った。各照射時間は約10分で，

照射陽子数は約 2×10^{14}であった。天然標的の場合の入射陽子は，$^{27}Al(p,3pn)^{24}Na$ 反応によって測定され，85cc Ge(Li) 検出器の検出効率を用いて，生成断面積の絶対値を決定した。同位体標的の場合は，^{58}Ni，^{60}Ni を除いて酸化物の粉末であるため，エポクシ樹脂と共にアルミ箔でサンドウイッチして薄板にした。これらの標的の厚さを正確に求めることが困難であったため，断面積の絶対値は，全断面積を天然標的の値と比較して決定した。

本研究では，はじめに，天然の Ti, Fe, Co, Ni, Cu, Zn 標的による生成断面積を用いて荷電分散解析を行った。この解析では，質量数A，原子番号Zの原子核の生成断面積を，Rudstam によって提案された半実験公式に類似させて，

$$\sigma\ (A, Z)=\exp\ \{f\ (A)+g(A)\ |\ Zp-Z\ |^{3/2}\}$$

$$f(A)=a_1+a_2A+a_3A^2 \qquad (1)$$

$$g(A)=a_4+a_5A$$

$$Z_p=a_6A$$

でパラメタライズを行った。σ (A, Z) は Z_pをピークに持つベル型状をしている。Aを固定すると Z_p で最大値をもつ。Z_p は原子番号に対応するが，必ずしも整数であるとは限らない。この Z_p から，$N=A-Z_p$を用いて，$(N/Z)_p$を計算すると，この値と，標的核の中性子数と陽子数の比，$(N/Z)_T$の値（天然標的の場合は平均値）の間に，

$$(N/Z)_p=0.783+0.304\ (N/Z)_T \qquad (2)$$

の関係が求められた。

この関係は、Regnier によって，同じ質量領域の標的を用いて，24GeV 陽子による破砕反応で，Ar同位元素の解析で得られた結果と一致せず，(N/Z) の値で0.2ほど大きいが，他の実験結果とは一致している。

こゝで注目を要するのは，Ni 標的で $(N/Z)_p=1.118$，$(N/Z)_T=1.099$となり，生成原子核の N/Z の比が標的核のそれより大きくなっている。このことはカスケード蒸発模型で，クーロン斥力のため，陽子の蒸発確率が中性子に比べて小さいことと矛盾する。

又，天然の標的から求められた (p, n) 反応の断面積が異常な標的依存性を示すことがわかった。

以上の興味深い点を更に解明するために同位体核の照射実験を行った。^{58}Ni と ^{65}Cu の $(N/Z)_T$の値は各々1.071と1.241となり，天然の標的の場合より，広い $(N/Z)_T$をカバー出来た。荷電分散解析の結果，同位体核も(2)式の関係を満たしていることが証明された。

同位体核の場合に，(p, xpyn) 反応の断面積が一義的に決定出来る。この実験では，(p, capture) 反応の断面積が約0.2mb と求められた。この値は意外に大きく，天然の標的の解析では，この反応の寄与を無視したため，(p, n) 反応の断面積が一部間違って測定されたため，異常な標的依存性を生じたことが解明された。新しく求められた (p, n) 反応の断面積は，ほぼ一様で，強い標的依存性は見られない。

(p, xpyn) 反応で，x=1,2に対しては，標的依存性は，ほとんど認められないが，$x\geqq3$ では標的依存性が現れ，標的核の陽子数 Z_T，中性子数 N_Tとすると，断面積は

$$\sigma(x, y) = \sigma_0(x)\exp\{-0.32\left(y - \frac{\alpha}{|\alpha|^{1/4}} - y_0(x)\right)^2\} \quad (3)$$

$$\sigma = N_T - 1.172 Z_T$$

$$\sigma_0(x) = 55/(x - 0.5)$$

$$y_0(x) = 1.3(x - 1)$$

で良く近似されることが見い出された。

N/Zの値は,

$$N/Z = (N_T - y_0)/(Z_T + 1 - x) \quad (4)$$

で与えられ，x≒7に対して，荷電分散解析で求められた$(N/Z)_P$とほぼ一致することが示された。前述のRegnierのデータとの不一致は，Z_Pを(4)式により，

$$Z_P = a_6 A - a_7 A^2 \quad (5)$$

と展開すると，第2項によって，説明出来ることが示された。

当研究では更に，Zr～Sn標的に対して，生成断面積の荷電分散解析を行い，これらの標的では，Zpとして，A^2の項を含む(5)式を使わないと，実験結果を良くパラメタライズ出来ないことがわかった。又，$(N/Z)_P$は，この領域でも(2)式と一致することがわかった。

AuとUを用いた他の実験結果を含めると，$(N/Z)_T$=1.071～1.59の広い範囲で(2)式が実験データを説明することがわかった。

審　査　の　要　旨

本研究では，高エネルギー陽子加速器の残留放射能の問題を理解する上で必要な原子核破砕反応の有用なデータを提供するとともに，原子核反応を系統的に理解するための基礎データにもなるもので大変貴重である。

本研究で測定された生成断面積のデータは量と質の点で，これまで行われたどの測定に比べても遜色のないものである。又，それらのデータをもとにして行われた荷電分散解析は，標的核の$(N/Z)_T$の広い領域をカバーしており，この値と荷電分散曲線のピークに対応する$(N/Z)_P$の間で求められた関係は大変興味深いものである。

又，同位体核を標的として行われた測定では（p, xpyn）反応の断面積が一義的に決定され，xとyの関数として標的核依存性を比較的簡単な定式化に成功している。その結果，これまで一致しないと考えられていた$(N/Z)_P$の他の実験データを説明することに成功している。

TiからSnまでの広い質量領域の標的に対して系統的に行われた荷電分散解析は，非常に貴重なもので，この結果をもとに，物理的考察や，応用面での生成断面積の半実験公式の改良の点で有用なデータを提供している。

本研究は，著者を中心として行われた共同実験の一部をなし，既に，Physical Reviewに3編の論文が掲載されている。特に，本研究で行われたデータ解析は，高く評価出来る。

よって，著者は工学博士の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。