

氏名	さわ だ しん や 澤 田 真 也
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学位記番号	理 博 第 1860 号
学位授与の日付	平 成 9 年 5 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	理 学 研 究 科 物 理 学 第 二 専 攻
学位論文題目	Differential Cross Sections for the $np \rightarrow dX$ Reaction at 1.0 and 2.0 GeV (1.0および2.0 GeVにおける $np \rightarrow dX$ 反応の微分断面積)
論文調査委員	(主 査) 教 授 今 井 憲 一 教 授 政 池 明 教 授 笹 尾 登

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、高エネルギー物理学研究所の陽子シンクロトロン (KEK-PS) において行われた中性子ビームエネルギーが 1.0GeV および 2.0GeV における $np \rightarrow dX$ 反応の二階微分断面積を測定する実験を中心として、それに関連する理論的な考察も含めた研究についてまとめたものである。

$np \rightarrow dX$ 反応は最も簡単な原子エネルギーであり、広いエネルギー領域に渡ってこの反応の反応機構を明らかにすることは原子核物理学にとって必要不可欠なテーマである。しかし、特に入射中性子の運動エネルギーが 1GeV 以上の領域においては中性子ビームが得難いために過去において実験的なデータが十分になく、数少ない実験データも最終的な測定量である微分断面積の絶対値が得られていないなどの欠陥を持っている。本研究はこのエネルギー領域 (1GeV および 2GeV) における $np \rightarrow dX$ 反応の反応機構を明らかにすることを目的としている。特に中性子エネルギー 2GeV での二階微分断面積の測定は世界的に初めてのものである。 $pp \rightarrow dX$ 反応が $I(\text{アイソスピン})=1$ のみが許されるのに対し $np \rightarrow dX$ 反応は $I=0, 1$ の両方が許される。したがって、考慮すべき過程は $np \rightarrow d\pi$, $np \rightarrow d\pi\pi$, $np \rightarrow d\eta$, $np \rightarrow d\rho$ といったものになる。

本研究の第一の特徴は中性子ビームにある。ドイツの DESY (ドイツ電子シンクロトロン研究所) において行われた実験は 4.5GeV の電子ビームをベリリウム標的に入射して得られる 2.7GeV 以下の連続エネルギー中性子ビームを用いたものであり、反応機構のエネルギー依存性を研究するためには不十分なデータである。フランスの Saclay にある陽子シンクロトロンで行われた実験では、本研究と同様にシンクロトロンで加速された重陽子をベリリウム標的に分解して得られる、エネルギーの広がり小さい中性子ビームが用いられたが、中性子の最高運動エネルギーは 1.2GeV であった。本研究では数 GeV 領域中性子ビームを得るために KEK-PS において新たに中性子ビームラインの建設を行った。KEK-PS では重陽子を 11.2GeV まで加速できるが、加速された重陽子を長さ 6cm、直径 3cm のベリリウム標的に導き中性子を発生させた。中性子と共に発生する荷電粒子はベリリウム標的直後の双極電磁石によって除去され、中性子はその下流にある鉛および鉄でできたコリメーターによってビームとなって実験エリアに導かれる。これによって 5.6GeV までの中性子ビームが得られることになる。本研究で用いたのは運動エネルギーが 1GeV および 2GeV の中性子ビームであり、ビームのエネルギー幅は半値全幅で 7.2% であった。ビーム強度は入射重陽子数から求められたが、典型的に毎秒 1×10^8 個であり、系統的な誤差は 27% であった。

本研究の第二の特徴は測定が磁気スペクトロメーターを用いて行われたということであり、これによって微分断面積の絶対値を得ることができた。双極電磁石、ドリフトチェンバー、マルチワイヤープロポーショナルチェンバー、飛行時間を計測するためのシンチレーションカウンターからなる磁気スペクトロメーターによって、入射中性子ビームと液体水素ターゲット中の陽子との反応によって発生した荷電粒子の質量および運動量が測定された。運動量分解能は最大約 3% (σ)、飛行時間分解能は約 4.5m の飛行距離に対して約 350ps(σ) であった。

このような実験装置によって np 反応から生じる陽子および重陽子の二階微分断面積 ($d^2\sigma/d\Omega dp$) が測定された。二階

微分断面積の絶対値については、荷電交換反応 ($np \rightarrow pn$) 部分を過去のデータと比較して、本実験の系統的な誤差 (30%) および過去のデータの系統的な誤差 (20%) の範囲内で矛盾のないことを確かめた。

得られた二階微分断面積を一核子交換描像 (one-nucleon-exchange model) に基づく理論的な計算と比較した。このモデルは $np \rightarrow dX$ 反応を $np \rightarrow d\sigma$ と $\sigma \rightarrow \pi\pi$ の二つの過程に分けて断面積を計算するもので、 $np \rightarrow dX$ 反応のうちの $I=0$ かつ S 波の成分のみの寄与を計算するものである。 $T_n=1\text{GeV}$ においてはこのモデルは実験値よりも小さな二階微分断面積を予測するが、これは $T_n=1.2\text{GeV}$ の場合と定性的に同じであり、中間状態として Δ 励起を経由する過程 ($\Delta\Delta$ model) などの一核子交換描像では考慮されていない過程があるためだと思われる。 $T_n=2\text{GeV}$ においては一核子交換描像は $d\pi\pi$ のエネルギー閾値近くで鋭いピーク (いわゆる ABC ピーク) を予想するが、実験データにはそのようなピークは見られない。一方実験データは一核子交換描像では二階微分断面積が小さくなっている missing mass が最も大きい領域で大きな二階微分断面積を示している。一核子交換描像に基づく計算は $I=0$, S 波の $\pi\pi$ 位相差のとり方に敏感に依存し、また σNN 頂点での結合定数にも非常に敏感であるため、いわゆる ABC ピークの大きさやその現れ方に関しては $np \rightarrow d\sigma$ 以外のプロセスとの干渉がピークを小さくする方向に働く可能性もあり、また $\pi\pi$ 位相差の精度を実験的に良くすることも含めて今後のさらなる検討が必要である。実験で得られた二階微分断面積から missing mass 分布 ($d^2\sigma/d\Omega dM_x$) を得て調べたところ、 $T_n=2\text{GeV}$ では ρ の質量のところに大きなピークが見られた。このことは $T_n=2\text{GeV}$ での $np \rightarrow dX$ 反応では $np \rightarrow d\rho$ 過程が支配的であることを示すものである。

論文審査の結果の要旨

本申請論文では、中性子ビームエネルギーが 1.0GeV と 2.0GeV における $np \rightarrow dX$ 反応の微分断面積を測定し関連する理論との比較検討を行ったものである。 $np \rightarrow dX$ 反応は二体核子系の簡単な反応であるにもかかわらず、これまであまり多くの実験的研究はない。 $pp \rightarrow dX$ 反応と較べると $np \rightarrow dX$ 反応では I (アイソスピン) $=0$ のチャンネルが許されるのが大きな違いで、 X としては $I=0$ のメソンが生成されることが大きな特徴となっており、その点でも注目されてきた反応である。しかし中性子ビームを用いるためこれまで実験的研究は多くなく、統計的に十分意味のあるデータとしては、ロスアラモス研究所およびサクレイ研究所でのそれぞれ中性子ビーム 0.8GeV および 1.2GeV におけるデータのみである。本申請論文はこれまでのエネルギー範囲を越えて、中性子ビームエネルギー 1.0GeV および 2.0GeV における新しい実験データを提供したものと評価できる。

実験的にはこれまでにない高いエネルギーの中性子ビームを建設する必要がある。このため申請者等は高エネルギー研究所の陽子シンクロトロンで重陽子が加速された機会をとらえて、この重陽子の分解反応で得られる中性子をつかって、比較的運動量の広がり小さい中性子ビームラインを建設した。最大運動エネルギー 5.6GeV 、ビームのエネルギー巾 7.2% (FWHM) ビーム強度 $10^8/\text{sec}$ の性能をもつ世界的ユニークな中性子ビームラインの建設に成功したことが、本申請論文で示された新しい $np \rightarrow dX$ 反応の微分断面積の測定につながったわけであり、申請者の業績としても評価できる。

いまひとつの実験装置としては、この研究には飛行時間測定機能を備えた磁気スペクトロメーターが用いられ、 np 反応から実験室系で前方角度に放出される荷電粒子を検出している。測定粒子としては $np \rightarrow pX$ および $np \rightarrow dX$ 反応の陽子および重陽子である。この陽子のスペクトルから 1.0GeV の $np \rightarrow pn$ 反応をとりだし、その断面積を求め、過去のデータと比較してよい一致を得ており、本申請論文のデータの信頼性を示すものとなっていると考える。

申請論文では実験結果として $np \rightarrow dX$ 反応の角度毎の二階微分断面積および一定範囲の角度領域の missing mass 分布を与えている。また理論計算との比較として一核子交換描像に基づく計算値と実験結果を比較することによって、このエネルギー領域における $np \rightarrow dX$ 反応の特徴を理解しようと試みている。それによると 0.8GeV で成功したこのモデルが 1.0GeV ではデータを再現しないこと、また 2.0GeV では運動量分布の形が違っていることを示している。申請者はその原因として、 Δ 励起を経由する過程が重要なこと、またこのモデルが使っている σNN 結合定数や $I=0, L=0$ の $\pi\pi$ 散乱位相差のとりかたに改良の余地があることを提起している。また 2GeV での missing mass 分布に ρ メソンに対応するピークを見出し、このエネルギーでは $np \rightarrow d\rho$ 反応が支配的であると結論している。これらは $1\sim 2\text{GeV}$ 領域の $np \rightarrow dX$ 反応のダイナミクスの問題に新しい知見を与えたものである。なおこの申請論文の主な内容はすでに Nuclear Physics(A) 誌に発表さ

れている。

よって、本申請論文は博士（理学）の学位論文に値するものと認める。

なお主論文および参考論文に報告された研究業績を中心として、これに関連した研究分野について口頭試問した結果、合格と認めた。