The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	大角度中性子散乱断面積の検証を目的としたDT中性子による積分実験の研究
Author(s)	大西, 世紀
Citation	大阪大学, 2016, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/55934
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（　大西　世紀　）	
論文題名	大角度中性子散乱断面積の検証を目的としたDT中性子による積分実験の研究

論文内容の要旨

放射線相互作用の確率を与える断面積データは、実験値の取捨選択やモデル計算により評価済み核データライブラリとして整備され、放射線輸送計算等に広く用いられている。近年核データの中性子相互作用時の放出粒子角度や散乱角度分布の重要性が認識されているが、実験データは少なく評価値も定まっていないものが多い。さらに大角度散乱が原因と思われる、計算値と実験値の乖離が報告されているベンチマーク実験も存在し、大角度散乱断面積の検証が求められている。そこで大角度散乱データ検証のために、DT(Deuteron-Triton Fusion)ビーム中性子場を整備し、ステンレス円筒体系での照射実験を行った。実験では体系内での放射化箔の反応率を測定し、実験値と計算値の比較及びモンテカルロシミュレーションでの中性子飛跡分析により、DT核融合中性子エネルギー領域の大角度散乱断面積データに問題があることを確認した。次により大角度散乱に焦点を当てたシャドーバー実験を設計し、大阪大学OKTAVIANでDT中性子照射を行った。シャドーバー実験では核データ間の差異がビーム中性子実験よりも顕著に現れ、検出器として用いたニオブ箔の放射化量を評価した場合、核データ間で計算値に最大1.6倍の差異が生じた。散乱角に対する感度を調べたところ大角度散乱の寄与が大きかったため、散乱角度分布の大角度部分を調整した結果、計算値間の差異は縮小した。これらの実験及び数値計算によりシャドーバー実験が従来検証できていなかった大角度散乱のベンチマーク実験となっていることを示した。

第一章では放射線、特に中性子の相互作用について整理を行い、これらの相互作用が核データ作成にあたってどのように扱われているかを既存の核データ、核データ作成コードの概説に沿ってまとめた。また社会的に重要なテーマとなっている核融合炉での核反応に対して核データが重要視されていることと、既往の研究で実施されたベンチマーク実験により提起されている問題を示し、本研究の目的について述べた。

第二章では大角度散乱データの検証を行うため、核融合中性子源でコリメータを用いたビーム中性子場を作成し、性能測定と照射実験を行った。DT中性子とコリメータによりほぼ立体角通りのビーム径が得られ、ビーム軸上とビーム軸から10cm離れたオフセット位置でDT中性子強度比は5.1×10^{3}となった。半径方向に表面から中心軸まで測定用の穴が複数設けられたステンレス円筒に対して、底面からDT中性子ビームを照射し、測定用穴に設置したニオブ箔の^{93}Nb(n,2n)^{92m}Nb反応率を測定した結果、中心から径方向に離れた位置に設置した箔ほど計算値/実験値比の1からの乖離が大きいという結果が得られた。

第三章では中性子散乱の角度別頻度算出プログラムを用いてモンテカルロ放射線輸送計算での粒子飛跡を解析し、前章で実施した中性子ビーム実験でどのような角度の散乱が起こっているかを把握した。実験ではビーム軸から離れた位置ではビーム軸上の測定点に比べて大角度散乱が多く起こっており、実験値と計算値の不整合は大角度散乱に原因があると推定された。このためより大角度散乱に主眼をおいた実験として、シャドーバーの裏側直近で散乱線を測定するシャドーバー実験を計画した。シャドーバー実験を模擬した放射線輸送シミュレーションにおいて散乱角頻度を算出し、ビーム中性子実験よりも大角度の散乱が多数発生していることを確認した。

第四章では大阪大学OKTAVIANでシャドーバーを用いたDT中性子照射実験を行った。実験ではシャドーバー裏側に散乱線測定用のニオブ箔を設置し、放射化量の測定値と計算値を比較した。JEFF-3.1及びJENDL-4.0を用いた計算結果は実験値を良く再現したが、ENDF/B-VIを用いた場合、比較的単純な体系にもかかわらずニオブ箔放射化量を60%程度過大評価する、という結果が得られた。

第五章ではこの結果を受け、シャドーバー実験での散乱線測定用ニオブ箔放射化量に対する弾性散乱角度分布の感度を解析した。ニオブ箔の感度は大角度(110～160度)で大きくなっていたため、この高感度領域でENDF/B-VIの^{56}Fe弾性散乱角度分布を調整したところ、核データ間の計算結果差が縮まり、測定値を再現する方向へと変化した。またこの調整を行った後でも、既存の積分ベンチマーク実験結果の再現性には問題が生じないことを確認し、シャドーバー実験が従来の実験では対象としていなかった領域を検証していることを示した。

第六章では結言としてこれらの成果をまとめ、シャドーバー実験が示唆する現象とその有用性について述べた。

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（ 大西　世紀 ）		
論文審査担当者	（職）	氏　名
	主 査　教授	村田　勲
	副 査　教授	福田　武司
	副 査　教授	北田　孝典

論文審査の結果の要旨

近年中性子相互作用時の粒子放出角度や散乱角度分布の重要性が認識されているが、ベンチマーク実験により大角度散乱が原因と思われる計算値と実験値の乖離が報告されている例がある。そこで大角度散乱データ検証のために、DT(Deuteron-Triton Fusion)ビーム中性子場を整備し、ステンレス円筒体系での照射実験を行った。実験の結果、DT核融合中性子エネルギー領域の大角度散乱断面積データに問題があることが推定されたため、より大角度散乱に焦点を当てたシャドーバー実験を設計し、大阪大学OKTAVIANでDT中性子照射を行った。シャドーバー実験では核データ間の差異がビーム中性子実験よりも顕著に現れ、ニオブ箔放射化量計算値に最大1.6倍の差異が生じた。このため感度の大きい弾性散乱角度分布の大角度部分を調整し、再度計算した結果、計算値間の差異は縮小した。これらの実験及び数値計算により、シャドーバー実験が従来検証できていなかった大角度散乱角度分布のベンチマーク実験となっていることを示した。

第一章では放射線、特に中性子の相互作用について整理を行い、相互作用が核データ作成にあたってどのように扱われているかを既存の核データ、核データ作成コードの概説に沿ってまとめた。また既往のベンチマーク実験により提起されている問題を示し、その解決を目指す本研究の目的について述べた。

第二章では大角度散乱データの検証を行うため、ステンレス円筒の表面から中心軸上へ径方向に設けられた測定用穴にニオブ箔を設置し、円筒底面からDT中性子ビームを照射した場合の^{93}Nb(n,2n)^{92m}Nb反応率を測定した。測定では中心から径方向に離れた位置に設置した箔ほど計算値/実験値比の1からの乖離が大きいという結果が得られた。

第三章ではDT中性子ビーム実験での角度別中性子散乱頻度を分析した。ビーム実験ではビーム軸から離れた位置では軸上の測定点に比べて大角度散乱が多く起こっており、実験値と計算値の不整合は大角度散乱に原因があると推定された。このためより大角度散乱に主眼をおいた実験として、シャドーバー実験を提案した。

第四章では大阪大学OKTAVIANでシャドーバーを用いたDT中性子照射実験を行った。実験ではシャドーバー裏側に散乱線測定用のニオブ箔を設置し、放射化量の測定値と計算値を比較した。JEFF-3.1及びJENDL-4.0を用いた計算結果は実験値を良く再現したが、ENDF/B-VIを用いた場合、比較的単純な体系にもかかわらずニオブ箔放射化量を60%程度過大評価する、という結果が得られた。

第五章ではこの結果を受け、シャドーバー実験での散乱線測定用ニオブ箔放射化量に対する弾性散乱角度分布の感度を解析した。ニオブ箔の感度は大角度(110～160度)で大きくなっていたため、この高感度領域でENDF/B-VIの^{56}Fe弾性散乱角度分布を調整したところ、核データ間の計算結果差が縮まり、測定値を再現する方向へと変化した。またこの調整を行った後でも、既存の積分ベンチマーク実験結果の再現性には問題が生じないことを確認し、シャドーバー実験が従来の実験では対象としていなかった領域を検証していることを示した。

第六章では結言としてこれらの成果をまとめ、シャドーバー実験が示唆する現象とその有用性について述べた。

以上のように、本論文はこれまで行われてこなかった、後方角度散乱断面積の実験的検証法を提案するものであり、新しい核データベンチマーク実験手段になり得るものである。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。