

機関番号：82110

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20760597

研究課題名（和文） 中間エネルギー領域における180度方向中性子生成断面積に関する実験的研究

研究課題名（英文） Experimental study on neutron production cross section at 180° in the intermediate energy region

研究代表者

岩元 洋介（IWAMOTO YOSUKE）

独立行政法人日本原子力研究開発機構・原子力基礎工学研究部門・研究員

研究者番号：10391327

研究成果の概要（和文）：大阪大学核物理研究センターRCNPにおいて、180度方向の陽子入射核反応に対する炭素、鉄及び金ターゲットからの中性子生成二重微分断面積を測定した。測定結果は量子分子動力学QMDモデルを用いた粒子・重イオン輸送計算コードPHITSの計算結果と良く一致した。中性子エネルギースペクトルをフィッティングすることで、2つの蒸発成分と前平衡成分からなることを示唆し、核データ評価で利用される運動源モデルのパラメータ核温度を導出した。

研究成果の概要（英文）：The neutron energy spectra of carbon, iron, and gold targets with 140 MeV protons at 180° were measured at the RCNP cyclotron facility using the time-of-flight technique. Experimental neutron energy spectra at 180° were composed of two evaporation Maxwellian-type components (in two neutron energy regions of 1-4 MeV and 4-10 MeV) and a pre-equilibrium (in the neutron energy region above 10 MeV) Maxwellian-type component. All experimental spectra were fitted well by the sum of three Maxwellian-type equations across the entire energy region of the neutrons.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：核データ測定、放射線工学

科研費の分科・細目：原子力学

キーワード：180度、中性子生成断面積、中間エネルギー

1. 研究開始当初の背景

高エネルギー加速器施設の遮蔽や応用に関して、モンテカルロ輸送計算コード及び評価済み核データが使用される。その中性子の精度検証のために、中性子生成二重微分断面積(DDX)の系統性を把握することは不可欠である。そのため陽子入射に対する15度から150度方向の多くのDDX測定がなされて

おり、その実験データを基に計算コードの物理モデルが構築されている。しかし、最後方における検証及び評価は、実験データが全くないことからなされていない。

2. 研究の目的

(1) 140 MeV陽子入射反応による180度方向中性子生成二重微分断面積を大阪大学核物

理研究センターRCNPのサイクロトロン加速器施設において測定し、粒子・重イオン輸送計算コードPHITSを検証する。

(2) 得られる実験データを、核データ評価に必要な残留核の核温度のパラメータからなる関数でフィッティングを行い、核温度を導出する。

3. 研究の方法

RCNPのサイクロトロン加速器施設のビーム・スウィンガー・マグネットを用いて、180度方向の陽子入射核反応に対する中性子微分断面積の測定を行った。実験体系を図1に示す。

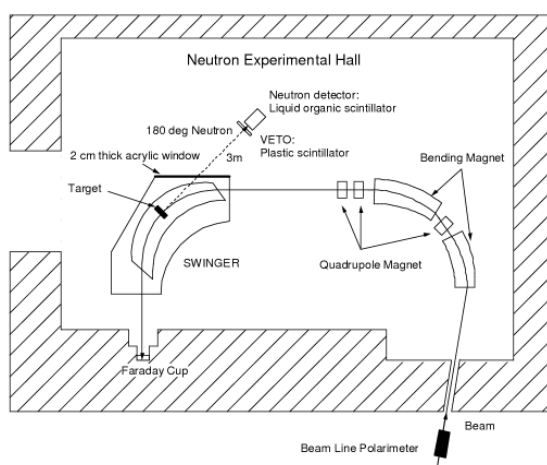


図1 実験体系

実験データを有効に活かすため、様々な入射エネルギーで広い範囲の質量数の標的核種に対する系統的な断面積データの取得が重要である。本研究では、炭素、鉄、金を用いた。中性子検出器である直径、厚さが2インチの液体有機シンチレータに飛行時間 (TOF: Time of Flight) 法を応用した測定システムを利用した。中性子の飛行距離を3mとした。バックグラウンド環境を調べるために、有機液体シンチレータの中性子検出器の前面に鉄ブロックのシャドーバーを設置し、中性子・ γ 線の床・壁散乱の影響を調べた。

4. 研究成果

(1) RCNPの実験施設におけるバックグラウンド環境測定の結果、バックグラウンドの主な成分は γ 線であることがわかり、波形弁別により良く弁別することができた。また床・壁散乱の中性子のエネルギーは主に1MeV以下で、中性子検出器の測定可能範囲である1MeV以上の中性子を精度良く測定できることがわかった。

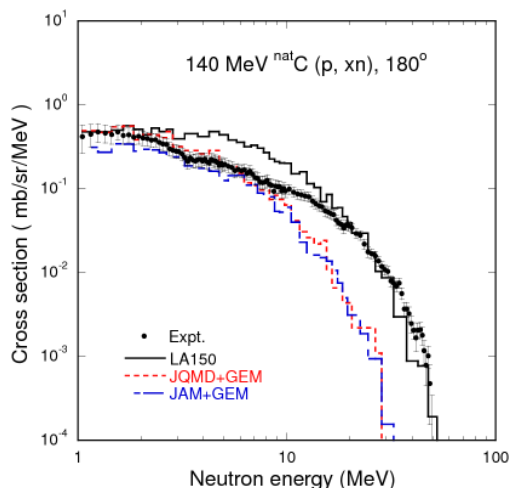


図2 140MeVの陽子が炭素ターゲットへ入射した場合の180度方向の中性子生成断面積

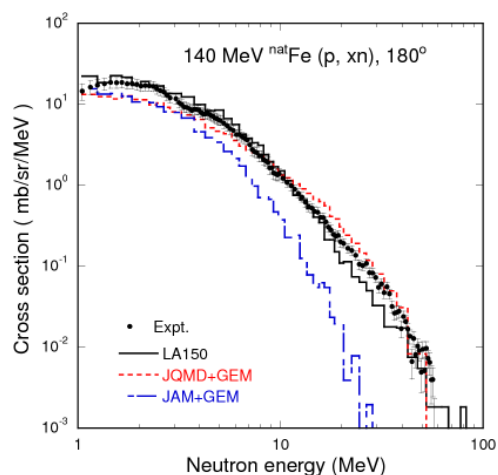


図3 140MeVの陽子が鉄ターゲットへ入射した場合の180度方向の中性子生成断面積

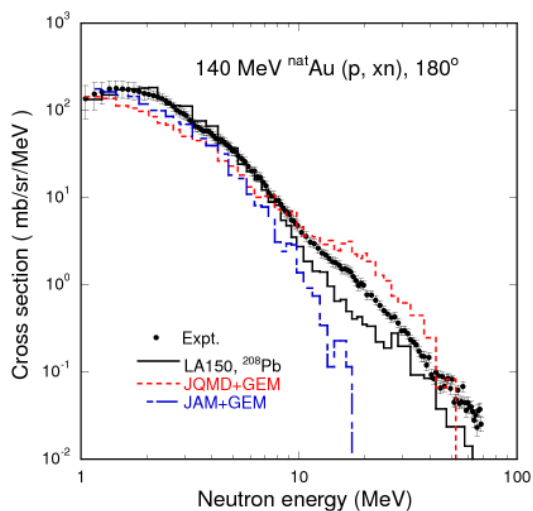


図4 140MeVの陽子が金ターゲットへ入射した場合の180度方向の中性子生成断面積

図 1~3 に測定で得られた 140MeV の陽子が炭素、鉄及び金ターゲットへ入射した場合の 180 度方向の中性子生成断面積を、PHITS コードに含まれる量子分子動力学 QMD モデルおよび核内カスケードモデル JAM による計算結果と比較した。鉄および金ターゲットの場合、JAM モデルに比べて核子-核子の相互作用を精密に計算できる QMD の結果は、中性子放出に関する核温度を良く再現することがわかった。鉄の評価済み核データ LA150 と比較したところ、良く実験データを再現することがわかった。また金の評価済み核データが存在しなかったため、金の質量数と近い鉛と比較したところ、実験データを良く再現することが分かった。炭素の場合、QMD と JAM を用いた PHITS による計算結果は中性子エネルギー 10MeV 以上においては過大評価することがわかった。

(2) 180 度中性子エネルギースペクトルの解析で、以下の 3 つの成分を考えた。

- 1) 蒸発過程 I: 中性子エネルギー 4MeV 以下の蒸発過程からのスペクトル
- 2) 蒸発過程 II: 4-10MeV の蒸発過程からの小さな肩を持ったスペクトル
- 3) 前平衡過程: 10MeV 以上のスペクトル

中性子二重微分断面積を以下の 3 成分の和で示した。

$$\frac{d^2\sigma}{dE d\Omega} = \sum_{i=1}^3 A_i(E/T_i) \exp(-E/T_i).$$

ここで、 $E(\text{MeV})$ は実験室系での放出中性子エネルギーで、 $A(\text{mb/sr/MeV})$ と $T(\text{MeV})$ は、大きさ及び核温度を示す。上式を用いて、180 度のエネルギースペクトルを最小二乗法でフィッティングした。図 5 に異なる核温度を持った、3 つの Maxwell 型関数の和でフィッティングした中性子エネルギースペクトルを示す。表 1 にフィッティングによるパラメータ A と T の数値データを示す。

全てのエネルギースペクトルは、式の 3 成分の和で良くフィッティングされることがわかった。大きさ A はターゲット質量が増加するにつれて増えるが、核温度はターゲットによらないことがわかった。

以上のように、中間エネルギーの陽子入射による 180 度方向の中性子エネルギースペクトル測定に初めて成功し、モンテカルロ輸送計算コードの検証に有益なデータとな

った。核温度等のパラメータは高エネルギー核データの評価に利用される可能性がある。今後は、入射エネルギー点を増やして測定を行い、コード検証及び核温度等のパラメータの入射エネルギー依存性を調べることが望まれる。

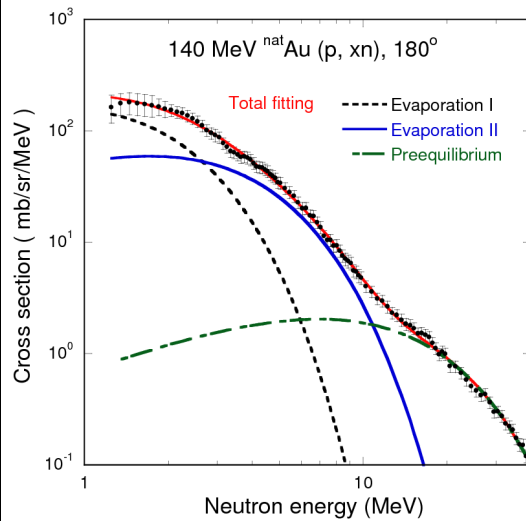


図 5 マクスウェル型関数でフィッティングした中性子エネルギースペクトル

	Amplitude			Temperature		
	A_1	A_2	A_3	T_1	T_2	T_3
	mb/sr/MeV			MeV		
C	1.02	0.38	0.26	0.76	2.08	6.24
Fe	37.0	16.1	1.11	1.05	2.32	7.00
Au	430	161	5.54	0.81	1.71	6.95

表 1 フィッティングパラメータ：大きさ A と核温度 T

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

Yosuke Iwamoto et al., “Measurements and Monte Carlo calculations of neutron production cross-sections at 180° for the 140 MeV proton incident reactions on carbon, iron, and gold,” Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A, 査読有, 620 (2010) 484-489.

[学会発表] (計 2 件)

① Yosuke Iwamoto et al., “NEUTRON

ENERGY SPECTRA AT 180° FROM 140
MEV PROTON INCIDENT REACTIONS,”
International Conference on Nuclear Data
for Science and Technology (ND2010), 2010
年 4 月 29 日, Jeju Island, Korea.

② 岩元洋介、佐藤大樹、萩原雅之ら、“中間
エネルギー領域における 180 度方向中性
子生成断面積の測定” 日本原子力学会
2008 年秋の大会、2008 年 9 月 4 日、高知工
科大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岩元 洋介 (IWAMOTO YOSUKE)

研究者番号 : 10391327