

氏名・(本籍)	後 藤 頼 男 と お より お
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	理 第 1 0 6 号
学位授与年月日	昭和 4 1 年 1 月 1 9 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 2 項該当
最終学歴	昭和 3 2 年 3 月 九州大学大学院理学研究科修士課程修了
学位論文題目	多領域系の熱中性子スペクトルの研究
論文審査委員	(主査) 教授 森 田 右 教授 武 田 暁 教授 木 村 一 治

論 文 目 次

- 第 I 章 序 論
- 第 II 章 中性子散乱断面積
- 第 III 章 Calame, Federighi の方法
- 第 IV 章 熱中性子スペクトルの空間依存
- 第 V 章 理論の応用
- 第 VI 章 実験との比較

論 文 内 容 要 旨

第 I 章 序 論

原子炉の色々な問題に於いては、有効核断面積（エネルギー、スペクトルで平均した核断面積）がよく用いられます。したがって領域が小さくて中性子の体系からのリークが多い場合や多領域の時のように領域ごとに中性子スペクトルが次々と変る場合の有効核断面積をうまく推測することが大切であります。

一領域におけるスペクトルの研究は二三あるけれども多領域のそれは数少ない。つまり吸収はないが温度差のある向い合った半無限体系を取扱った Kottwitz の解及び無限体系の中性子スペクトルの和をもつて二領域のスペクトルを記述し様とする Calame, Federighi の解法などがあります。ここでは一般の体系について、スペクトルに関して上述の方法の様に仮定を設けることなく理論を展開する。つまり各領域での熱中性子スペクトルを中性子のバランスの方程式のエネルギー部分の固有スペクトルで展開した。

終に球型二領域においての実験結果と比較を行つた。実験の精度の範囲では理論と実験との一致は良好であつた。

第 II 章 中性子散乱断面積

吸収のない減速材の時はいつも中性子のエネルギー分布はマックスウエル分布になるが、吸収のある体系においては減速材の中性子散乱核に依存したエネルギー・スペクトルになる。中性子スペクトルの計算に必要な散乱核を色々なモデルについて述べてある。速度相関函数を用いて定義された振動数分布は液体の場合も固体のそれと同じ様に解釈される。

第 III 章 Calame・Federighi の方法

二つの領域中のスペクトルが各領域が無限体系であるとした時の二つのスペクトルの和で表しうると仮定した Calame, Federighi の方法を簡単に述べてある。

第 IV 章 熱中性子スペクトルの空間依存

§ IV-1 変分原理

形式的であるけれども基礎方程式と境界条件が共に変分原理により導かれることを示す。散乱核に対する Detailed Balance を用いることにより基礎方程式は Self adjoint になつている。

§ IV-2 一般的解法

散乱核よりなるエネルギー作用素の固有値、固有函数を定義する。中性子スペクトルは此等の固有函数で展開出来るとする。展開係数は勿論場所の函数である。汎函数はエネルギーに関して積分した後に変分により展開係数の満すべき方程式が求まる。各領域でのエネルギー固有函数の関係がわかれば境界条件よりすべての常数を決定することが出来る。

§ IV-3 重いガス減速材

ガスの散乱核を求め減速材の質量が大きいことから散乱核のひろがりが少ないのを利用してエネルギー・モーメントを計算する。中性子スペクトルに対する微分方程式を求め吸収のある体系にたいしてもエネルギー固有函数を求める。その固有函数でもつて二領域の中性子スペクトルを求め、数値計算例を上げる。

§ V-4 補 足

この様にして求めたスペクトルをエネルギーについて積分した時、反射体における中性子束の形が二郡理論のそれと同じ形であることを示す。次に Kottwitz が取扱つた吸収のない二つの半無限体系の問題が展開した理論の特殊な場合になつてゐることを示す。

§ V-5 問題点と結論

この理論ではあらかじめ中性子源の space-energy に於ける分布がわかつてゐる必要がある。しかし中性子源のエネルギーをあまり高く取る事はこのましくない。それは高いエネルギーの中性子源をラグール函数で展開しようとすれば項数をふやさなければならぬからである。次にこの理論は二領域に限つたものではなく多領域への拡張はすぐに出来る。ただ境界条件がふえてくることになるだけである。勿論理論の良し悪しは実験との比較にまたねばならない。

第 V 章 理論の応用

一般の散乱核の時 ϵ エネルギー固有函数を求めることが問題となる。中性子スペクトルがラグール函数で展開出来るとして散乱核のモーメントを求める。散乱核の width function に doppler approximation が出来る時は簡単である。終りに液体の width function の形を求めた。その形から時間の短い所では液体分子は振動しており長い時間の所では単なる拡散運動となることがわかる。

第 VI 章 実験との比較

§ VI-1 実 験

実験は水均質臨界集合体 (AHCF) で行つた。スペクトルの積分測定をルテシウム (176) と吸収断面積が $1/v$ と近似できる Mn, Dy 等を用いた。ルテシウムは 0.142 eV にピークをもつ Breit-Wigner 型の resonance cross section を持つてゐる。

§ VI-2 結果と解析

Schmid と Stinson がルテシウムを使つて中性子温度の求めかたを示したけれども、中性子スペクトルに Westcott の式を用いる点が問題である。したがつて、ここではカドミウム切断エネルギー以下の放射化比を解析する。三つの体系に対する実験結果が示してある。

§ VI-3 理論と解析

理論と実験との比較がなされる。中性子源の空間分布を決定する因子はカドミで覆つた金箔の照射実験より得られたデータより求めた。

次の様な Sub-cadmium reaction rate が各炉心体系について IBM-650 を使つて計算した。

$$B(r) = \frac{\int_0^{E_{cd}} \frac{I_{176}}{\sigma(E)} \phi_n(E, r) dE}{\int_0^{E_{cd}} \sigma^{-1/v}(E) \phi_n(E, r) dE}$$

各炉心中央での近似的な中性子温度が求められた。

§ VI-4 問題点と結論

二領域熱中性子スペクトルの空間変化の積分測定をルテシウム及び Mn, Dy を用いて行つた。特に小さい炉心で観測されたスペクトルの著しい変動は有効核断面積の空間依存性を考慮しなければならぬことを示している。計算した reaction rate の境界近くでの空間変動はエネルギー固有函数の固有拡散距離に密接に関係してゐるのであるが、実験との一致はかなり良い。重水分子に対して少し重い有効質量を仮定しなければならなかつたのは重水減速材にたいして重いガス近似があまり良くないためであろう。したがつて熱中性子スペクトルの解析では謂る一般化された振動数分布を用いなければならぬだろう。

論 文 審 査 要 旨

原子炉の臨界計算では通常、有効核断面積、すなわち中性子のエネルギースペクトルで平均した核断面積が用いられる。したがって領域が小さくて中性子漏洩が多い場合や多領域系の場合に有効断面積をどのようにして求めるかが重要な問題である。そのために、熱中性子スペクトルの空間依存性が問題になるわけであるが、これに関する研究は現在までに極めて数少ない。例えば、Kottwitz は 2 つの相向いあつた半無限体系における中性子スペクトルを求めたが、この計算は吸収のない場合にしか適用できない。また Calame と Federighi は各点での熱中性子スペクトルが無限体系でのスペクトルの和で表されると仮定して 2 領域系でのスペクトルの空間変動を求めた。それで著者はより一般的な仮定から出発して理論を展開し、今までの理論よりも、さらに一般的で、適用範囲の大きい結果をえた。

本論文では、まず理論に必要な熱中性子散乱断面積および Detailed balance の原理について述べ、ついで今までの代表的な Calame 等らの方法が紹介され、その特長と限界が指摘されている。第四章が本論文の主要部分で、まず、理論の出発点として、各領域での熱中性子スペクトルが、中性子の balance 方程式のエネルギー部分の固有スペクトルの展開で表せると仮定する。この仮定は今までの理論よりも一般的な方法で、且つ観測量である拡散距離などに直接関係したものであり、また現在問題になつている固有値問題などと密接な関係をもつものである。そして一般式を計算した後、例として重いガスを減速材とした場合の散乱断面積を求め、吸収のある場合を考慮し、2 領域系の中性子スペクトルの数値計算例が示される。

第五章では、この理論の一般散乱断面積への応用について述べると共に、液体の散乱断面積について計算している。最後に本理論と実験との比較を行つている。実験は日本原子力研究所の水均質臨界集合体を用いて、著者が球型 2 領域系について行つたもので本理論の計算結果は、実験誤差の範囲内で、よく実験結果と一致しており、本理論の信頼性を示している。

以上、本論文は多領域系の熱中性子スペクトルの研究に関して、従来の理論よりも、更に一般的な適用性の広い理論を展開したもので、原子炉物理学に貢献するところ大きく、著者後藤頼男は理学博士の学位をうけるに値するものと判定する。

尙本論文はすでに日本原子力学会誌 (J. Atomic Energy Soc. Japan ; Vol 5, pp 119 ~ 126 および pp 979 ~ 984 (1962, 1963)) および J. Nucl. Sci, Tech. (Vol. 1 pp 193 ~ 196 (1964)) に印刷公表済みであり、参考論文は原子核物理学および原子炉物理学に関するもの 5 篇よりなつている。