T2R2 東京工業大学リサーチリポジトリ
Tokyo Tech Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	ランジュバン方程式による核分裂機構の研究
Title(English)	Study on mechanisms of nuclear fission by Langevin equation
著者(和文)	Mark Dennis Usang
Author(English)	Mark Dennis Usang
出典(和文)	学位:博士(学術), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11003号, 授与年月日:2018年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:千葉 敏,小栗 慶之,相樂 洋,長谷川 純,筒井 広明
Citation(English)	Degree:Doctor (Academic), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11003号, Conferred date:2018/9/20, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

Powered by T2R2 (Tokyo Institute Research Repository)

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	大学院理工学研究科 原子核工学　専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of　（　学術　）
学生氏名： Student's Name	Mark Dennis Anak Usang	指導教員（主）： Academic Supervisor(main)	千葉　敏
		指導教員（副）： Academic Supervisor (sub)	相楽　洋

要旨（和文 2000 字程度）

Thesis Summary（approx.2000 Japanese Characters ）

本論文は「Study on mechanisms of nuclear fission by Langevin equation」（ランジュバン方程式による核分裂機構の研究）と題し、4 章より構成されている。

第 1 章「Introduction」では、ランジュバン方程式を主として用いる核分裂の理論研究の現状を説明し、その問題点を述べている。まず、実験データの大局的な様相を提示し、それらの示す系統性や異常性について述べ、まだ解明されていない実験結果について述べている。次にこれまでの理論計算では核分裂途中の原子核の形状を表す変数の数（次元）が十分でなく制限の強いモデルであったり、輸送係数と総称される慣性質量及び摩擦テンソルが量子効果を含まない巨視的な流体力学的な模型で計算されてきたため、核分裂から得られる観測量のうち一部しか説明できない問題点が紹介されている。そこで、本研究の目的が微視的輸送係数を用いる 3 次元ランジュバン方程式の手法及び次元を上げた巨視的輸送係数に基づく 4 次元ランジュバン方程式の手法を開発し、それぞれによって核分裂機構がどのように記述されるかを調べることであると述べている。

第 2 章「Theory」では本研究で用いる計算手法について述べている。まず、複合核から分裂に至るまでの原子核形状を二中心殻模型で用いる座標によって表すことが述べられ、その意味が説明されている。次に、その座標で表される形状においてポテンシャルエネルギーが液滴模型と殻補正の和として求められることを述べ、それぞれの計算方法を説明している。次に輸送係数として用いられる慣性質量テンソルと摩擦テンソルを求める巨視的及び微視的方法の双方について述べている。巨視的方法においては、慣性質量テンソルは Werner-Wheeler 法、摩擦テンソルは Wall-and-Window 公式によって求め、微視的手法においては対相関を BCS（Bardeen Cooper Schrieffer）理論によって考慮した線形応答理論で求めることを述べている。さらにランジュバン方程式で用いるランダム力が白色ノイズに基づき、その強さがアインシュタイン方程式によって摩擦テンソルと系の温度によって決定されることを述べた後に、ランジュバン方程式を大きな調和振動子内の巨視的物体のブラウン運動として定式化できることを示している。

第 3 章「Results」では前章で述べた、殻補正のある場合と無い場合のポテンシャルエネルギー表面、巨視的及び微視的方法で計算した摩擦テンソル及び慣性質量テンソルを比較している。ポテンシャルについては殻補正が無い場合は二つの核分裂片が等しい質量数となるような分裂が主となることが示されている。摩擦テンソルについては、微視的摩擦係数が低温では超流動状態であることに対応し小さく、温度が上がるにつれて大きくなることが示されている。巨視的摩擦係数はこれらに対して大きく、現象論的に 0.27 倍して使うことが示されている。これに対して慣性質量テンソルの温度依存性は直観的な解釈が困難な変化をすることが示されている。また、対補正の有無による微視的摩擦係数についても、摩擦テンソルが対補正が無い場合には低温で小さくならないことが示されるが、慣性質量の温度依存性はもっと複雑であることが述べられている。これらにより、ランジュバン方程式の結果の温度による効果が必ずしも単純ではないことが示されている。次に、3 次元微視的輸送係数を用いることにより、核分裂片の質量数分布は従来の巨視的輸送係数を使う場合と同程度の精度で実験値を再現できるが、核分裂片の全運動エネルギー（TKE）については明らかに励起エネルギー依存性の再現性が高まっていることを示している。これにより微視的輸送係数の温度依存性が質量数分布には露わには影響しないが、他の量を見ることで顕在化することが分かり、核分裂に関する相関しあう物理量に対する理解が深まることを示している。また、4 次元ランジュバン方程式による計算では、ブローザ（Brosa）模型のスタンダードモード、スーパーロングモード、スーパーショートモード間の遷移が自然に表されることが明らかとなり、特に TKE の分布と、核分裂核種の質量数の増加と共に変化する TKE の系統性及び異常性、質量数分布の二山から一山、そして二山への変化を非常に良く記述できると述べている。4 次元ランジュバン模型計算で 3 次元と同様の拘束をかけると、256Fm の質量数分布が実験値を再現できないことも示されている。

第 4 章「Conclusions」では以上の各章で述べられた結果を総括し、結論を述べている。

これを要するに、本論文は核分裂の解析にこれまでも用いられてきたランジュバン方程式に 2 通りの改良を施し、3 次元の微視的輸送係数を用いる解析と 4 次元の巨視的輸送係数を用いることにより、核分裂の観測量を従来の方法より詳細かつ高精度で求めることができることを明らかにした。これによりいまだ未知の点の多い物理現象及び原子力の基礎としての核分裂に対する理解が着実に進められ、学術上貢献するところが大きい。よって、本論文は博士（学術）の学位論文として十分価値あるものとみとめられる。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	大学院理工学研究科 原子核工学　専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of　（学術）
学生氏名： Student's Name	Mark Dennis Anak Usang	指導教員（主）： Academic Supervisor(main)	千葉　敏
		指導教員（副）： Academic Supervisor(sub)	相楽　洋

要旨（英文 300 語程度）
Thesis Summary（approx.300 English Words ）

This thesis is organized into 4 separate chapters, beginning from the chapter on introduction, followed by a chapter of the theory used, then a chapter discussing our results and finally a chapter on the conclusions. In the introduction, we showed a brief history regarding the development for some of the tools used to study the process of fission and the emergence of Langevin equation as a tool to study Brownian motion. Afterwards we give a brief summary of the research and then the objective of the study. In the next chapter, we explain the theory used in our calculations. First, we describe the shape parameters for use as collective variable. These collective variables are derived from the Two Center Shell Model (TCSM). We use these collective variables as the coordinates in Langevin equation as the shape evolve in the potential energy surface. We calculate the potential energy surface from the sum of liquid drop deformation energy and shell correction energy. We also describe how the liquid drop deformation energy and shell correction energy. In Langevin calculation, the trajectory and the speed of the changes in shapes are also influenced by mass and friction tensors, hence they are also called transport coefficients. Then we describe the macroscopic transport coefficients where we show how the macroscopic mass and friction tensors are derived. Then we describe the microscopic transport coefficients using linear response theory as the basis. With the friction defined, random forces can also be defined. Finally, we showed how the Langevin equation works and how it was derived. With the theory established, we are able to venture to the next chapter discussing the results. The potential energy surface and transport coefficients is analyzed in order to understand later on the fission observables that we will see. We first discuss the results from 3-D Langevin equation with microscopic transport coefficients. In terms of fission fragment yield, there does not seem to be much improvements in comparison to 3-D Langevin equation with macroscopic transport coefficients and JENDL data. In terms of fission fragment total kinetic energy (TKE), our calculation of 3-D Langevin equation with microscopic transport coefficient seems to vastly superior in comparison to 3-D Langevin equation with macroscopic transport coefficients. Then we look towards our calculation of 4-D Langevin equation, and we are now able to describe the fission yield for a few nuclei that has previously been intractable to 3-D Langevin calculations. In the last chapter, we describe for the conclusions some of the insights and experience that we have gained as the work was done. We also describe some of our future plans regarding our calculations to improve the predictions of fission observables for a wider range of nuclei and excitation energy.

備考 ： 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。
Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ（T2R2）にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).