



|              |                                                                                                                                                 |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Title        | Ground State Properties of Finite Nuclei in the Relativistic Mean Field Model                                                                   |
| Author(s)    | 耿, 立升                                                                                                                                           |
| Citation     | 大阪大学, 2005, 博士論文                                                                                                                                |
| Version Type |                                                                                                                                                 |
| URL          | <a href="https://hdl.handle.net/11094/46499">https://hdl.handle.net/11094/46499</a>                                                             |
| rights       |                                                                                                                                                 |
| Note         | 著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、<a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">大阪大学の博士論文について</a>をご参照ください。 |

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

|               |                                                                                                             |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 氏 名           | ゲン 耿<br>立 升                                                                                                 |
| 博士の専攻分野の名称    | 博 士 (理 学)                                                                                                   |
| 学 位 記 番 号     | 第 1 9 7 9 9 号                                                                                               |
| 学 位 授 与 年 月 日 | 平成 17 年 9 月 30 日                                                                                            |
| 学 位 授 与 の 要 件 | 学位規則第 4 条第 1 項該当<br>理学研究科物理学専攻                                                                              |
| 学 位 論 文 名     | Ground State Properties of Finite Nuclei in the Relativistic Mean Field Model<br>(相対論的平均場理論における原子核の基底状態の研究) |
| 論 文 審 査 委 員   | (主査)<br>教 授 土 岐 博<br>(副査)<br>教 授 畑 中 吉 治    教 授 浅 川 正 之    教 授 下 田 正<br>助教授 保 坂 淳                           |

### 論 文 内 容 の 要 旨

Physicists have always tried to understand Nature in one, not more, simple and elegant theory. This year, known as the World Year of Physics (Einstein Year), we have heard a lot about the unified field theory, in which (initiated by Albert Einstein) one tries to unify the four elementary forces in Nature : the strong, weak, electromagnetic and gravity forces. In a similar spirit but a smaller scale, nuclear physicists are now trying to understand nuclear matter and finite nuclei at all densities and temperatures within one theoretical framework.

During the last decade, the so-called radioactive ion beam facilities and relativistic heavy ion colliders around the world have greatly extended the window from which we can access nuclear matter : At the low density region, completely novel phenomena have been observed, i.e. the so-called halos and skins ; at the high density region, nuclear matter at densities of several times of that of the center of heavy nuclei has been created, which enables us to obtain a quantitative understanding of the interior of celestial bodies, such as those of neutron stars.

Theoretically, the relativistic mean field (RMF) model based on Quantum Hadrodynamics has achieved great success in describing a variety of nuclear phenomena both at the low density region and at the high density region. However, a thorough study of all the nuclei throughout the periodic table is still missing. Such studies are necessary to understand the success of the RMF model and to further improve it, since being a phenomenological model ; its predictive power can only be checked by comparing its predictions with experiment. Therefore the purpose of this thesis is to study the ground-state properties of all the nuclei throughout the periodic table employing the relativistic mean field model. More specifically, we want to

1. take one parameter set in the RMF model and calculate all the nuclei from the proton drip line to neutron drip line ;
2. compare the predictions with all existing experimental data and those of other theoretical models ;
3. see where the predictions agree with experiment and where they fail ;
4. discuss physics in a systematic way and find where and how further improvements can be made ;

5. and many more.

Needless to say, such a study is very demanding. First, it requires a large amount of calculation. In fact, we have calculated around 7000 nuclei in the framework of the relativistic mean field model. Second, it covers too many subjects to be elaborated in detail in a thesis. Although it is our purpose to cover as many subjects as possible, it is inevitable that some of them cannot be studied thoroughly. Therefore, we wish that some interesting subjects noted in this thesis can be further studied in the future either by ourselves or by colleagues. All in all, we hope to summarize the present status of studies of ground-state properties of finite nuclei in the relativistic mean field model and inspire future works in this field.

物理学では常にひとつの簡単で美しい理論で自然を記述することを目標としてきた。今年は世界物理年（アインシュタイン年）として知られており、何度も自然界での4つの力の統一の話を聞く機会がある。4つの力は強い、弱い、電磁、重力の相互作用である。これと同じ精神だがもっと身近なところで、原子核物理ではひとつの理論で原子核や核物質を全密度と全温度で記述する試みがなされている。

最近の10年の間に世界中で放射イオンビームや相対論的重イオンビームによる実験によって原子核や核物質の性質を知ることができるようになった。低い密度ではまったく新しい現象が見つかった。それは原子核におけるハローやスキンと呼ばれている現象である。高い密度では原子核の中心密度の数倍の核物質を作ることができるようになり、中性子星のような天体の内部の様子を定量的に理解することができるようになってきた。

理論的には量子ハドロン力学における相対論的平均場モデル(RMF)が低い密度から高い密度までの多彩な現象を記述することが出来ることが示されている。しかしながら、すべての領域の原子核でこのモデルを適応する研究はいまだになされていない。この研究はRMFモデルがどの程度成功しているのかを知る意味では重要であり、さらにモデルを改良することにもなる。この理論は現象論的なものなので実験との比較をすることで始めてこのモデルのよさを検証することが出来ることによる。したがって、この論文では相対論的平均場モデルを使って、全領域にわたってすべての原子核の基底状態を研究することを目的とする。もう少し詳しく言うと、

1. ひとつのパラメータセットを使って、RMFモデルで陽子ドリップ線から中性子ドリップ線にあるすべての原子核を計算する。
2. 計算結果を存在するすべての実験データと比べる、さらには全ての理論モデルの結果と比べる。
3. 計算結果はどの実験と良く一致し、どの実験とは一致が悪いかを調べる。
4. 系統的に物理現象を議論し、どのようにすれば問題点を改良することが出来るかを見つける。
5. その上で次の方針を立てる。

言うまでもないが、このような研究はそれを成し遂げるのに非常に大きな努力を必要とする。難しさの第一は膨大な計算を必要とすることである。実際には約7000個の原子核をRMFモデルで計算した。次には非常に多くの課題を研究対象にする必要があることである。研究目的では出来るだけ多くの課題を手がけることになっているが、当然だが全ての課題を対象とすることは出来なかった。その意味ではほかの研究者との共同研究を通してこの論文で記述した研究が継続することを強く望みたい。最後になるが、相対論的平均場モデルを使って原子核の基底状態の研究成果を纏め上げ、さらには次の研究の動機付けを行いたい。

#### 論文審査の結果の要旨

最近の加速器技術の目覚ましい進歩により、寿命の短い不安定核を瞬時に作りだし、その質量や半径、さらには $\gamma$ 崩壊や $\beta$ 崩壊の測定が可能になり、我々の原子核に対する知見は飛躍的に進んだ。この段階で、一つの原子核モデルで系統的に全ての原子核の構造を理論的に研究することは非常に重要である。

申請者は相対論的平均場近似に基づく原子核モデルを用いて、7個のパラメータを含むラグランジアンを使って存在すべき全て（約7000）の原子核の基底状態の計算を行い、その結果を存在する実験データと比較することを行っ

た。この膨大な計算を可能にしたのは、申請者が状態に依存した BCS 状態の計算方法を変形核に対しても使うことが出来ることを示しその数値計算の方法を確立したことによる。

相対論的平均場近似でほとんどの原子核を非常に良い精度で再現することが出来ることを示した。変形や半径の質量依存性は実験との良い一致を示している。さらには実験との詳細な比較により、アイソスピンに依存する相互作用を改良する必要があることも指摘している。申請者の研究結果はひとつの原子核モデルを使って、全領域にわたる原子核の基底状態を研究したものであり、今後の原子核構造の研究の理論及び実験の基礎となるものであり、多くの研究者が参照するものになるであろう。内容は非常に高く評価できる。

理学（博士）の学位論文として充分価値あるものと認める。