



Title	Extended Brueckner Hartree-Fock theory for nuclear matter with realistic nucleon-nucleon interaction
Author(s)	Hu, Jinniu
Citation	大阪大学, 2011, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/1994
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

【7】

氏 名	胡 金 牛 (Jinniu Hu)
博士の専攻分野の名称	博 士 (理学)
学 位 記 番 号	第 2 4 8 7 9 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 23 年 9 月 20 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第4条第1項該当 理学研究科物理学専攻
学 位 論 文 名	Extended Brueckner Hartree-Fock theory for nuclear matter with realistic nucleon-nucleon interaction (現実的な核力を用いた拡張ブルックナーハートリー理論による核物質 の研究)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 保坂 淳 (副査) 教 授 下田 正 教 授 青井 考 准教授 佐藤 透 准教授 緒方 一介 名誉教授 土岐 博

論 文 内 容 の 要 旨

We construct some new theoretical frameworks to describe the properties of nuclear matter with a realistic nucleon-nucleon (NN) interaction in this thesis. It is important to treat the short range repulsion and strong tensor interaction in the intermediate distance of the realistic NN interaction properly in many-body theory. To achieve this goal, we study first the role of form factors, which is an indispensable quantity in the realistic NN interaction, in nuclear matter with relativistic Hartree-Fock (RHF) model. For a quantitative account of nuclear matter, we adopt a phenomenological one-boson-exchange interaction to study the effect of the form factor. We find that the NN interactions are suppressed largely at high momentum region by the form factor.

Next, we study neutron-rich matter in the RHF model with a realistic nucleon-nucleon interaction. It is well known that the tensor interaction contributes very little

to neutron-rich matter. Hence, we take into account only the short range correlation in terms of two powerful tools, the unitary correlation operator method (UCOM) and the Jastrow function method. We find that the equations of state (EOS) of neutron-rich matter in our calculations are consistent with those given by a microscopic model, relativistic Brueckner-Hartree-Fock (RBHF) model. However, the case in symmetric nuclear matter is largely different from the results given by the RBHF model particularly in the low density region. This is caused by the lack of the tensor interaction in the Hartree-Fock approximation, which plays an important role in the saturation mechanism of symmetric nuclear matter.

Finally, we compose of traditional Hartree-Fock states and 2-particle-2-hole (2p-2h) states as the nuclear wave function. The strong tensor force and short range correlation of central force can be properly treated by including the 2p-2h states. The content of the 2p-2h states and the wave function of the single particle states are determined by the variational principle for the total energy. We can then extract an effective NN interaction from the equation of motion for the single particle state. This effective interaction has a similar structure to that of the G-matrix interaction in the Brueckner-Hartree-Fock theory, and the above two important characters are properly taken into account. We call our new theoretical framework as an extended Brueckner-Hartree-Fock (EBHF) theory. Using this new framework, we first work out the EOS of the symmetric nuclear matter with the Bonn potential as a realistic NN interaction in a non-relativistic framework. In low density region, the binding energies of the nuclear matter are very similar to those given by the Brueckner-Hartree-Fock theory. As the density increases, more repulsion is obtained due to the 2p-2h correlation in the kinetic energy. It turns out that this additional repulsive energy can improve the saturation properties of nuclear matter significantly, which has never been achieved previously. Next we apply the EBHF theory in a relativistic framework, where we find that the saturation properties are nicely reproduced consistently with the empirical data. The neutron matter is also calculated with different Bonn potentials. We discuss the role of the tensor force in those nuclear matter properties.

論文審査の結果の要旨

この学位論文でHu君は、現実的な核力に基づいて核物質を記述する理論的な方法を構築した。核子多体問題では核力の短距離芯とテンソル力を適切に扱うことが重要となる。そのためにまずボゾン交換による現象論的な核力を用い、形状因子を適切に扱い相対論的ハートリーフォック (RHF) 計算を行った。その結果形状因子によって高運動量成分が適切に抑制されることを確認した。

次にRHF法によって中性子物質の性質を調べた。そこではテンソル力が抑制されるので短距離芯の効果を効率よく調べることが出来る。UCOMおよびJastrowの方法によってその効果を取り込み、中性子過剰物質の性質を調べた。その結果、運動項の効果を正しく扱うためにはJastrowの方法が優位であることを議論した。

最後にHFに2粒子2空孔 (2p2h) 状態を取り込む方法を構築し、その応用について議論した。2p2hの配位を考慮することで短距離芯とテンソル力の効果を取り込むことができることが示唆されているが、定量的かつ網羅的な応用はなされていない。そこでHu君はまず、変分原理を用いて2p2hの成分と1粒子波動関数を決める定式化を行った。その結果多体系の中での有効核力としてG

行列相互作用とよく似た構造をもった相互作用を得た。そこにはこの研究が目的とする効果が自然に取り込まれることを示した。そこでこの方法を「拡張されたブルックナーHF理論」と呼ぶことにした (EBHF)。この新しい方法の有効性を検証するため、核力としてBonnポテンシャルを用い核物質の性質を調べた。まず非相対論の枠組みでの検証を行った。その結果、2p2h成分の高運動量成分が斥力に働くことが明らかになり、従来の非相対論的な研究のCoester線を外れ、実験とのよりよい一致を得た。次に相対論的な枠組みでの適用を試みた。その結果、核物質の飽和性と圧縮率について非常に良い結果を得た。さらに中性子物質にも適用し、テンソル力の重要性を議論した。

以上のように、ハートリーフォックの手法に2p2hを取り込み変分原理を採用するという方法を多体問題に新たな手法として導入し、微視的な核力から核物質の性質を再現できた成果は非常に重要である。無限系のみならず有限系への応用が期待され、原子核構造の微視的な理解につながることを期待できる。

以上のことから、博士 (理学) の学位論文として十分価値のあるものと認める。