

球対称平均場模型と近似的な変形の扱いによる原子核質量公式

平成 21 年 2 月 10 日

山田 昌平

(福井大学大学院工学研究科物理工学専攻 平成 19 年度入学 学籍番号 07780133)

本論文では、球対称平均場模型に近似的な変形の扱い方を組み合わせた新しい原子核の質量公式を提唱し、その実用性を調査する。試行的なパラメータフィッティングを行った結果から、その可能性の高さを示す。

最近の質量公式は平均場模型に基づくものが主流であるが、変形核を扱う必要から計算規模が大きくなり過ぎてパラメータの最適化を十分に行うことが難しい傾向がある。一方、小浦らは、過去に隆盛を誇った Strutinsky 法に基づくタイプの質量公式の新規開発に際して、変形核を球形核の重ね合わせとして近似するという斬新なアイデアを提案した (Nuclear Physics A674,47 (2000))。

しかし、Strutinsky 法は平均場法より計算規模が小さいという利点はあるが、多くの欠点を持っている。例えば、エネルギーの巨視的部分と微視的部分との間に首尾一貫性がない。平均場法では微視的ハミルトニアンが巨視的挙動を完全に決定するのに対し、Strutinsky 法では巨視的部分を微視的部分とは独立に導入する。この巨視的部分が多数のパラメータを含むため、フィッティングパラメータの総数が三十個程度まで増える。パラメータの多さは外挿時の信頼性を低下させる。また、他の欠点として、正エネルギーの連続スペクトルに埋め込まれた一粒子準位を必要とすることが挙げられる。この困難を回避するためにアドホックで複雑な処方を導入することが必要になる。これもまた理論的枠組として魅力のあることではない。

そこで、我々は、新しいタイプの質量公式として、平均場模型に基づくが、球形の平均場解のみを使用し、変形の影響に限り小浦らの近似的方法を援用するというタイプのものを開発することにした。近似的な変形の扱い方に含まれるパラメータはせいぜい数個であり、パラメータ数の激増にはつながらない。一方、計算規模は、変形解でなく球形解を求めればよいことから何桁も小さくなる。それに反比例した十分な手間をパラメータの最適化にかけることができるようになる。

本研究では、研究の第一段階として既存の平均場模型をそのまま利用し、変形の近似的取扱い方の部分も、1 個のパラメータ (表面エネルギーの係数) の値を除いて小浦らの方法をほぼそのまま踏襲した。表面エネルギーの係数は質量の平均二乗誤差を最小化するように決定した。

実験データには G.Audi と A.H.Wapstra による実験値の表からとった 2147 個の核質量を使用した。これらの実験値と Skyrme SIII 相互作用を用いた非相対論的 Hartree-Fock+BCS 法の球対称解の計算値との平均二乗誤差は 5.06 MeV であった。原子核の形状が球対称となる魔法数近傍の核では誤差は小さいが、魔法数と魔法数の中間にある変形核領域で誤差は顕著に大きくなり、変形を考慮する必要が示された。実際、文献によるとこの相互作用で求めた変形解の平均二乗誤差は 2.2 MeV である。一方、本論文で開発した新しい質量公式の平均二乗誤差は 1.61MeV となり、表面エネルギーの係数という 1 個のパラメータの自由度を利用して、変形を正確に計算した場合よりも実験値に近い質量値を得られることが分かった。ちなみに、小浦らの KUTY 公式の場合、2921 個の核種の実験値からの平均二乗誤差は 0.715 MeV である。

本研究により、球形核の殻エネルギーの重ね合わせから変形核の質量を導き出すという、極めて現象論的な方法が、その提唱者らの模型だけで有効なだけでなく、平均場模型との組み合わせにおいても有効であることが示された。

今後の課題は、平均場模型のパラメータを所与のものとしてでなくフィッティングパラメータとして扱うことで、本格的な新質量公式を創り上げることである。また、平均場模型には、核図表上の実験的未知領域への外挿に際し信頼性がより高いと期待される相対論的平均場模型を使用することである。