

「量子カオスと原子核の状態密度」

東北薬科大学 佐藤憲一

原子核の複合核状態の研究を契機としてウィグナーにより R M (Random Matrix Ensemble) の概念が導入されて以来、R M は大きな成功を収めてきた。なぜ R M がうまくいくのかについては十分な説明がなされないままであったが、1982年にボヒガスらにより“古典的にカオスを示す不可積分なハミルトニアンをもつ系の量子的エネルギー固有値の分布は R M で予測されるゆらぎ特性をもつ”のではないかと指摘されて以来、多くの束縛系についてこの予測は確かめられた。これを、R M の成功のダイナミカルな起源と考えると共にこれが量子系でのカオスを特徴づけるものと見る人も多い。最近では古典的に不規則散乱を示す非束縛系は量子的に反応断面積のゆらぎを示し、それが原子核の“エリクソンゆらぎ”と非常に似ていることが指摘されている。

このように古典的にカオスを示す系には量子的に R M という統計的扱いが許されるという考えが定着しつつある反面、従来の R M の考え方をそのままの形で用いるのは物理的にも実用的にも不十分である。例えば、時間反転対称性をもつ原子核は G O E を仮定するとゆらぎ特性がよく記述出来るといわれるが G O E ではその行列要素間に強い相関があり、すべての核子間に働く多体力を認めるこのアンサンブルは現実の原子核がほぼ 2 体相関までであることと相容れない。原子核スペクトルのグローバル特性は平均場で記述され、R M はそれを抜いたゆらぎだけを対象とするから非物理的な G O E でよいのだという説明もよくなされるが、第 0 近似ではともかく、スペクトルのゆらぎを生み出す核子間の 2 体相関を常に分離して扱うことは不可能であろう。

図 1 は、ウィグナーの G O E を拡張して、ポアソン分布に従う固有値を与える可積分なハミルトニアン H_0 と G O E に従う残留相互作用 V の和からなるハミルトニアン H の 200 個の固有値について平均状態密度、最隣接準位間隔分布を調べたものである。図の上から下にいくにつれて V は強められ、一番下 (e) が“エリクソンゆらぎ”を示す原子核の現実的強さに近い。図より明らかに (e) では最隣接準位間隔分布はすでに G O E から予測されるウィグナー分布と一致しているが平均状態密度はまだ (a) の H_0 のスペクトルとグローバルには似ている。このようにして

G O E に従うある程度の強さの残留相互作用があると平均状態密度は H_0 のものに近くても、最隣接準位間隔分布は G O E の予測するウィグナー分布に従うことがわかる。しかし、 H のグローバルなスペクトルとしての平均状態密度は H_0 だけの (a) でなくやはり V の影響が取り込まれた (e) を用いないと現実的には不十分であることもわかる。従って原子核は例えていうなら図 2 に示すような、大ざっぱにみると可積分型 (実線) だが正しくは不可積分型 (破線) といえる (もちろん、低励起エネルギー領域に限れば可積分型である) のだろう。

実際の原子核で現実的な平均状態密度を求めた我々の計算の一例を図 3 に示す。(a) は平均場近似、(b) が残留相互作用も R M の考えに基づいて取入れた結果である。計算のベースとしたのはワイデンミュラーのグループによる新しい統計理論で、そこでは G O E の欠点である多体相関を減らし現実近づけるため何等かの系の量子数で全空間を分割する G D E (Gaussian Distributed Ensemble) を採用している (文献 2, 3 参照)。2 体の残留相互作用を取り込むことにより (a) の平均状態密度が滑らかになり、また、低エネルギー領域で増加する。これらの効果は実験データを説明するのに必要である。原子核の状態密度はこれまではほとんど平均場近似ですまされてきたがやはり残留相互作用を取り入れることが大切で、それは我々のように R M に基づいて行うのが 1 つの有力な方法といえると思う。そのようにして得られた精密な状態密度は今後原子核物理のいろいろな所で、また、原子力方面で役立つだろう。

ウィグナーに始まりある程度成功しているようにみえる R M の起源が量子カオスにあるとすれば、より現実の原子核、分子、... に対応する拡張した R M を調べようという試みは、これらの系の物理量を統計的に扱う実用的な方法を開発すると同時に、量子カオスについても新しい知見を与えるかもしれない。

参考文献

1. T. Guhr and H. A. Weidenmuller: Ann. Phys. 193 (1989) 472
2. H. Nishioka et al.: Ann. Phys. 172 (1986) 67
3. K. Sato and S. Yoshida: Zeit. Phys. A - Atomic Nuclei 333 (1989) 141
4. K. Sato, Y. Takahashi and S. Yoshida: to be published in Zeit. Phys. A
5. O. Bohigues et al.: Phys. Rev. Lett. 65 (1990) 5

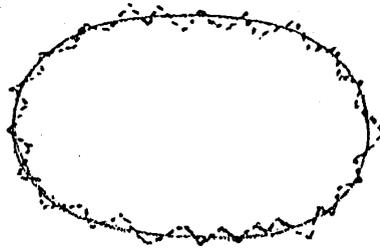


図 2

平均状態密度 最隣接準位間隔分布

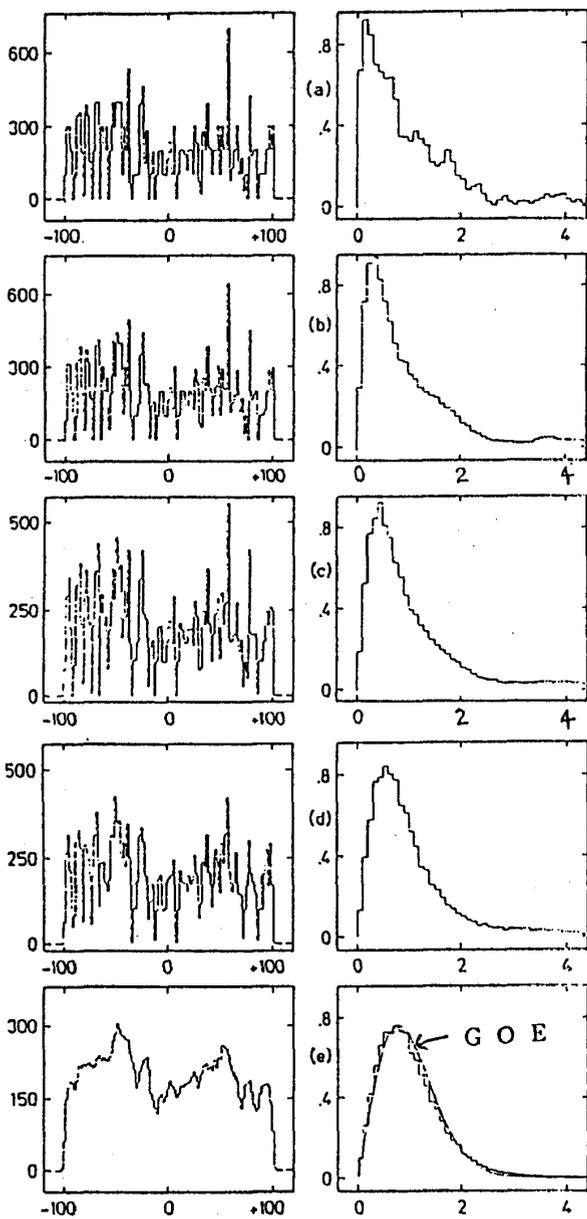


図 1

原子核の状態密度

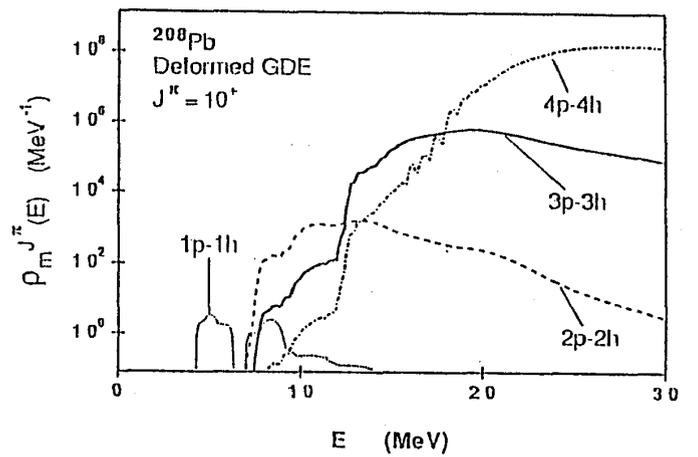
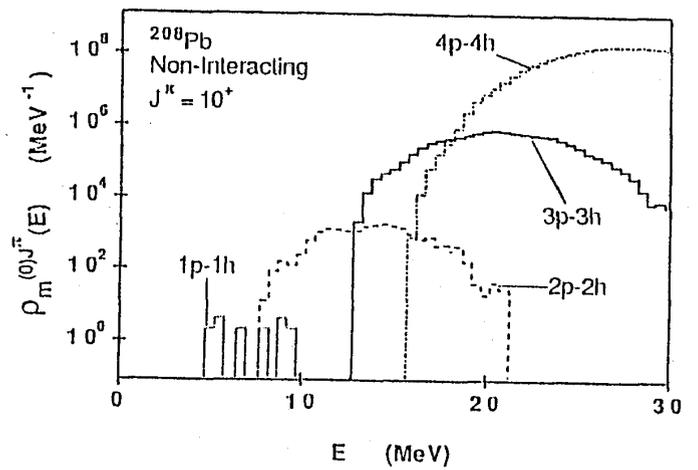


図 3