

ボース・アインシュタイン凝縮における非線形物理

鶴見 剛也 (東京大学大学院 理学系研究科 物理学専攻)

近年、原子・分子系の制御技術 (レーザー光による冷却、蒸発冷却、磁気トラップ等) の著しい進歩によって、アルカリ原子系によるボース・アインシュタイン (以下、BE と略記) 凝縮が実現している [1]–[4]。アルカリ原子を BE 凝縮させることの利点として、1) 原子間の相互作用は十分に弱い、2) 原子間の相互作用をスピン状態、原子・同位体の種類、外場の印加等によって調節できる、3) トラップの周波数等も容易に変えることができる、等があげられる。

BE 凝縮は純粹に BE 統計の帰結として導かれるものであるが、現実の凝縮体には原子間の相互作用が存在する。この相互作用は系に非線形性を与えるため、凝縮体の研究では非線形物理学の観点からのアプローチが不可欠であると考えられる。そこで、本講演では非線形物理学の手法を用いて、BE 凝縮体の安定性やダイナミクス等を議論する。

1. ボース・アインシュタイン凝縮体の崩壊

原子間の相互作用が引力的である (s 波散乱長が負である) BE 凝縮体が、系のエネルギーが正の場合でも、有限時間内で特異点を持つ、すなわち崩壊することを、調和ポテンシャル項 (磁気トラップに相当) を伴う Gross-Pitaevskii 方程式を用いて証明する [5]–[7]。また、凝縮体の崩壊が発生する原子数の臨界値の公式を導出し、 ^7Li 原子系での実験結果 [2, 3] と比較する。

2. 崩壊によって発生する特異点の性質

BE 凝縮体の崩壊に伴って発生する特異点の性質を考察する [8]。まず、特異点近傍において波動関数が満たすスケーリング則を導出する。次に、得られたスケーリング則にもとづいて、波動関数の自己相似的な振舞を解析する。

3. ボース・アインシュタイン凝縮体中を伝播する非線形波動

最近、マサチューセッツ工科大学において、 ^{23}Na 原子 (原子間には斥力相互作用がはたらく) からなる、1 方向に引き延ばされた BE 凝縮体中に、パルス状の音波が伝播するのが観測されている [9]。この系に対してトーマス・フェルミ近似と流体力学的記述を用い、非線形解析を行うことで、音波の伝播が Korteweg-de Vries 方程式に従うことを示す [10]。

参考文献

- [1] M. H. Anderson, J. R. Ensher, M. R. Matthews, C. E. Wieman and E. A. Cornell: Science **269** (1995) 198.

- [2] C. C. Bradley, C. A. Sackett, J. J. Tollett and R. G. Hulet: Phys. Rev. Lett. **75** (1995) 1687; *ibid.* Phys. Rev. Lett. **79** (1997) 1170.
- [3] C. C. Bradley, C. A. Sackett and R. G. Hulet: Phys. Rev. Lett. **78** (1997) 985.
- [4] K. B. Davis, M.-O. Mewes, M. R. Andrews, N. J. van Druten, D. S. Durfee, D. M. Kurn and W. Ketterle: Phys. Rev. Lett. **75** (1995) 3969.
- [5] T. Tsurumi and M. Wadati: J. Phys. Soc. Jpn. **66** (1997) 3031.
- [6] T. Tsurumi and M. Wadati: J. Phys. Soc. Jpn. **66** (1997) 3035.
- [7] M. Wadati and T. Tsurumi: Phys. Lett. A **247** (1998) 287.
- [8] T. Tsurumi and M. Wadati: J. Phys. Soc. Jpn. **67** (1998) 1197.
- [9] M. R. Andrews, D. M. Kurn, H.-J. Miesner, D. S. Durfee, C. G. Townsend, S. Inouye and W. Ketterle: Phys. Rev. Lett. **79** (1997) 553; *ibid.* Phys. Rev. Lett. **80** (1998) 2967.
- [10] T. Tsurumi and M. Wadati: J. Phys. Soc. Jpn. **67** (1998) 2294.