

Superfluidity -as an intro to cond-mat phys.

福井 毅勇

早稲田大学先進理工学部応用物理学科 3 年

2014 年 10 月 18 日

1 Introduction

憚らずに言えば、私は所謂”オタク”と呼ばれる集団に属している。同時に、人との円滑なコミュニケーション、とりわけ初対面の人との円滑なコミュニケーションが得意では無い部類の人間である。時折アニメーション作品や声優に関連するイベント、ライブに参加することがあるが、そのときは比較的単独での参加が多く、会場で周りを見ても単独参加者は多い。また、他の参加者も私と同じく初対面の人に気軽に話しかけられる人間ではなく、周りの人に話しかけられない(と感ずる)。此の様に大勢の参加者の間に相互作用が無いにも関わらず、ライブ等が始まると参加者は同じ興奮状態になり、サイリウムやペンライト等の動きも揃い秩序が生まれる。私の話す事は此の様な現象である。

Bose-Einstein 凝縮 (BEC) とは低温領域で巨視的な数の粒子がある 1 粒子状態を占める相転移である。少しだけ詳しく言うと、個々の Bose 粒子の波動関数が重なると全系の波動関数を対称化するために多くの粒子が 1 つの量子状態に凝縮し、通常の相転移と異なり引力ではなく粒子の統計的性質に起因する相転移が起こる。理想 Bose 気体では各 Bose 粒子間に相互作用が無いにも関わらず、低温で巨視的な数の粒子が最低エネルギー状態をとる。Einstein はこれを「引力無し凝縮」と言った。

物質を極低温まで冷やすと熱ゆらぎの効果が小さくなり量子力学的な秩序相が現れる。このような巨視的量子現象で最も代表的なものが超流動・超伝導である。至極大雑把に言うと荷電粒子系では超伝導、中性粒子系では超流動が起こる。どちらも”広い意味での” Bose-Einstein 凝縮が起きていると考えられている。表題の超流動は有り体に言えば摩擦を感じずに流体が流れる現象である。超伝導を取り上げる本は沢山あるが超流動のみを取り上げる本、とりわけ邦書が少なく感じたので超伝導ではなく超流動をテーマにしてみた次第である。

2 Abstract

講演では超流動現象の面白み・特異性の概観を試みる。初めに超流動現象についてイントロを行い、BEC について統計力学での復習した後により広い意味での BEC の条件・定義を述べる。次に超流動現象を量子力学、統計力学、流体力学的な立場から紹介する。超伝導との対応も少し述べたい。基本的にはヘリウム 4 の超流動を扱うが、時間的余裕と相談してヘリウム 3 の超流動や原子の冷却等について触れる。タイトルにも「intro」と明記してある通り、入門的な内容を扱う。

References

- [1] Abrikosov, A. A., Gorkov, L. P., and Dzyaloshinski, I. E., *METHODS OF QUANTUM FIELD THEORY IN STATISTICAL PHYSICS*, Dover Publications (1975)
- [2] Fetter, A. L. and Walecka, J. D., *QUANTUM THEORY OF MANY-PARTICLE SYSTEMS*, Dover Publications (2003)
- [3] Pethick, C. J. and Smith, H., *BOSE-EINSTEIN CONDENSATION IN DILUTE GASES* (Second Edition), Cambridge University Press (2008)
- [4] Lifshitz E. M. and Pitaevskii, L. P., *Statistical Physics Part2*, Course of Theoretical Physics, Oxford (1980)
- [5] 山田一雄, 大見哲巨, 超流動, 新物理学シリーズ, 培風館 (1995)
- [6] 恒藤敏彦, 超伝導・超流動, 岩波講座 現代の物理学, 岩波書店 (1993)
- [7] 上田正仁, 現代量子物理学 [基礎と応用], 培風館 (1994)
- [8] 日本物理学会, ボース-アインシュタイン凝縮から高温超伝導へ, 日本評論社 (2003)
- [9] 大貫惇睦, 物性物理学, 朝倉書店 (200)
- [10] Gorkov, L. P. and Melik-Barkhudarov, T. K., *Contribution to the theory of superfluidity in an imperfect Fermi gas*, Sov. Phys. JETP, **13**, 5 (1961)
- [11] Galitski, V. M., *The energy spectrum of a non-ideal Fermi gas*, Sov. Phys. JETP, **7**, 104 (1958)
- [12] Darrow, K. K., *Helium the Superfluid*, Rev. Mod. Phys. **12**, 257 (1940)
- [13] Schaefer, R. and Fliessbach, T., *A new sound mode in liquid ^4He ?*, Phys. Lett. A, **187**, 88 (1994)