

1. はじめに

目標 講義の目的をはっきり理解する。具体的には以下の事をわかる。

- この講義では、緩和とゆらぎを扱う。
- 非平衡から平衡状態へ時間変化することを緩和という。
- ゆらぎ (雑音) は、2 つの時間スケールの違う変動が重なっているときに見える。
- この講義で扱う理論や現象は、1900 年から 1970 年ぐらいに研究された。ただし、当時、微視的基礎付けという観点で研究されたものを、この講義ではブラウン運動の理論で説明する。
- 非平衡現象の研究は仮定が大事なので、仮定を強調して講義する。
- この講義では、多くの要素が複雑に絡み合っている系の時間変化について、今までわかっている方法、概念の理解を目指す。

- 目次 (1) 講義で扱う現象
(2) 歴史の中での位置づけ
(3) 注意する点
(4) この講義の目的

(1) 講義で扱う現象

非平衡現象の例

温度の違う 2 つの水を、熱を通す壁で接触させる。最初は違う温度のままだが、時間が経つと同じ温度になる。

他の例は?

いくつかの例で共通していること。

ある状態から別の状態に時間変化し、その後状態は変わらない。特に、最初の状態が非平衡状態で、後の状態が平衡状態のとき、この時間変化を緩和現象という。ここで、平衡状態とは、「等温環境に置かれているか、断熱壁で囲われている物質が、巨視的に時間変化しない状態」とする。

時間変化する現象には、①ゆらぎ (雑音) のあるもの②ゆらぎ (雑音) のないもの、の2つある。

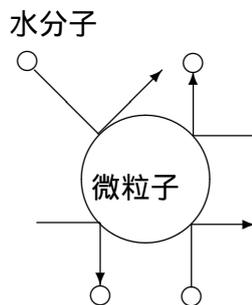
①の場合、

ゆっくりした時間変化 (注目している時間変化) + 速いゆらぎ (興味のない時間変化) (1) という2つ以上の異なる速さの時間変化がある。

どういう場合にゆらぎがあるのか?

いくつかの要因が複雑のからむ多くの場合、ゆらぎが起こる。

例 ブラウン運動: $1 \sim 100 \mu\text{m}$ の粒子を水に落とす。



水分子が複雑にぶつかるため、微粒子の速度はゆらぐ。

一般に液体などの凝縮系の時間変化はゆらぐ。さらに、複雑な要因が絡めば凝縮系でなくともゆらぐ。例えば、株価の変動など。

(2) 歴史の中での位置づけ

1960年代まで: 平衡状態へ緩和する系の研究中心ただし、大きく分けて2つの流れがあった。

| | 微視的 (力学系からの) 基礎付けについての研究 | ブラウン運動 |
|-------|-----------------------------|--------------|
| 1905年 | | アインシュタインの関係式 |
| 1908年 | | ランジュバン方程式 |
| 1931年 | オンサーガーの相反定理 | |
| 1940年 | | クラマースの研究 |
| 1951年 | Calle-Walton の揺動散逸定理 (線形応答) | |
| 1951年 | | 伊藤積分 |
| 1955年 | 中野の電気伝導度の公式 | |
| 1955年 | Lax の公式 | |
| 1957年 | 久保公式 | |
| 1961年 | Zwanzig の研究 | |
| 1965年 | 森の理論 | |

授業では、左の項目をブラウン運動の理論で説明する。

緩和以外の非平衡現象

水を熱し続ける場合は、等温環境でも断熱壁で囲っているわけでもないのに、非平衡状態と考える。しかも、時間が経っても平衡にならない。最近、このような平衡にならない系の研究が盛ん (例: 粉体)。ただし、授業では緩和現象だけを扱う。

(3) 注意する点

| | 平衡系の物理 | 非平衡系の物理 |
|------------------------|-------------------------|------------------------------|
| 微視的な法則 (力学的階層) | ニュートン方程式 (シュレーディンガー方程式) | |
| 情報をおとす (粗視化:運動論的階層) | ↓ カノニカル分布 (平衡分布) | ↓ ? |
| | ↓ 統一原理 | ↓ 統一的な原理は見付かっていない ただし、 |
| 巨視的なスケール (流体力学的階層) | ↓ 熱力学 | ↓ 流体力学、熱力学 |

要するに統一的な原理が見つかっていない。平衡系の統計力学は、少数の原理からすべての法則や概念が導けるので、原理が重要。一方、非平衡系の研究は、ある法則はある仮定から導けても、別の法則を導くには別の仮定が必要なので、仮定が重要。

(4) この講義の目的

問題意識は、「多くの要素が複雑に絡み合っている系の時間変化をどう記述するか?」

ここで、「多くの要素」はゆらぎ (雑音) と関係する。また、「時間変化」は授業では緩和現象を中心に扱う。

今まで分かっている手法、概念をブラウン運動の理論を軸に理解をめざす。

宿題:

- 1 (5点) この授業では、時間変化する非平衡現象のうち、ゆらぎ (雑音) の大きい状況で平衡状態に緩和する現象を扱う。そこで、この授業では扱わない ① ゆらぎ (雑音) は小さいが平衡状態に緩和する、② ゆらぎ (雑音) は大きい平衡状態に緩和しない、③ ゆらぎ (雑音) も小さい平衡状態にも緩和しない、非平衡現象について、① ~ ③ すべての例を挙げよ。どの物理量が時間変化するか、具体的に説明せよ。ただし、ここでいっているゆらぎ (雑音) は、興味のある時間変化にのってくる速い時間変化で、振り子の運動などは含まれない。