
2022年度 物理学実験II

ブラウン運動

実験の背景, 実験の概要, 注意事項

担当教員: 安東 正樹, 小森健太郎,

TA: 大島 由佳, 藤本 拓希, 小野 将矢

ブラウン運動研究の歴史

- 1827年 Robert Brown

花粉から出た微粒子の顕微鏡観察

微粒子の不規則な運動 → ブラウン運動.



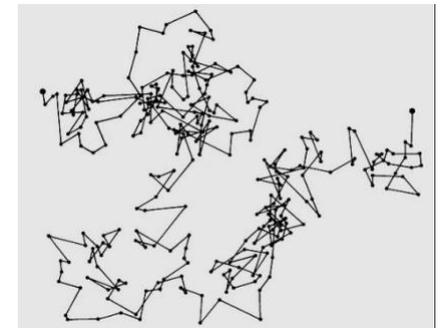
- 19世紀後半 水分子の不規則な衝突?

原子・分子論はまだ仮説段階だった.

- 1905年 Albert Einstein

分子運動論

→ 液体中の微粒子の運動を定量的に計算.



- 1908年 Jean Perrin

コロイド溶液を用いた精密測定で実験的に検証.



原子の存在の証明：分子運動論、統計力学、
確率過程の数学の発展の重要な契機.

広い意味でのブラウン運動

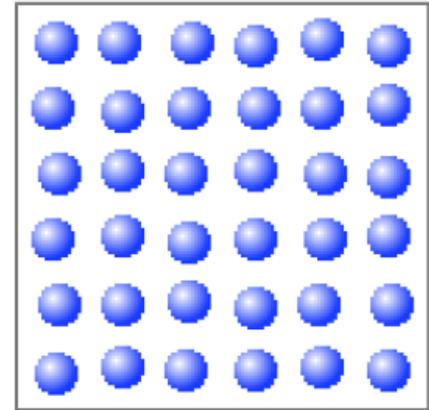
・1957年- 久保亮五ら

揺動散逸定理

→ 散逸と熱運動の関係を定式化.

ブラウン運動

→ 熱運動に起因する, 巨視的な
物理量の不規則な変動.



代表例

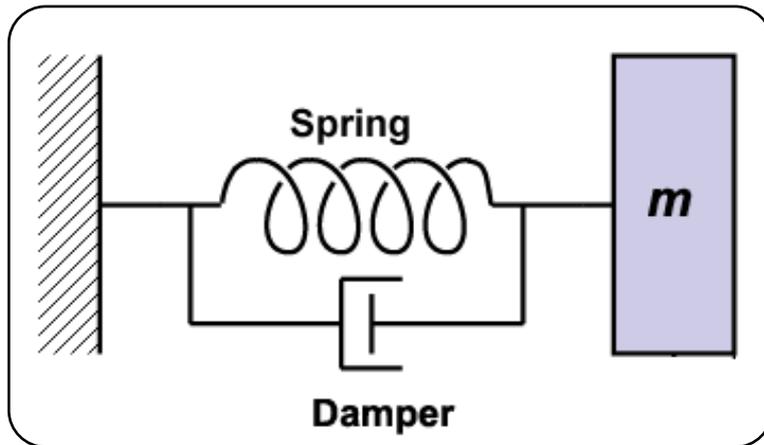
- 調和振動子の熱運動 – 弾性体の熱振動
- 抵抗の熱雑音 (ジョンソン雑音) :
抵抗中の電子の熱運動による雑音

揺動散逸定理

揺動散逸定理 (Fluctuation-Dissipation Theorem)

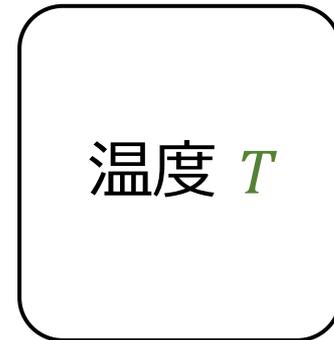
弾性体の振動：

減衰のある調和振動子



外界：熱浴

エネルギー
のやり取り



エネルギーの散逸 → 外界とやりとりするエネルギーに揺らぎ.



振動子に加わる熱揺動力

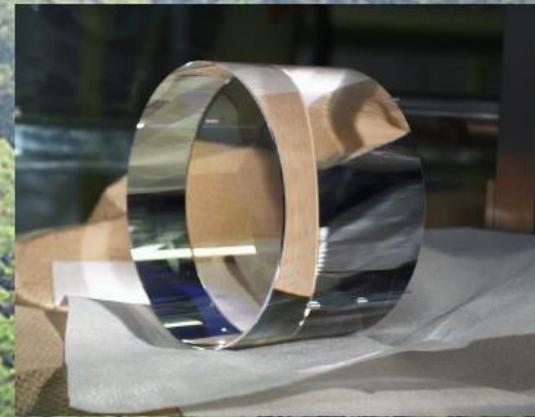
熱雑音

熱雑音が問題となる実験例 レーザー干渉計重力波検出器

ミラーの各固有振動モードが

$$\frac{1}{2} m \omega_0^2 \overline{x^2(t)} = \frac{1}{2} k_B T$$

のエネルギーをもち熱運動をしている
(エネルギー等分配則) → 熱雑音



重力波検出器用ミラー

本実験の目的

- 本実験の目的:

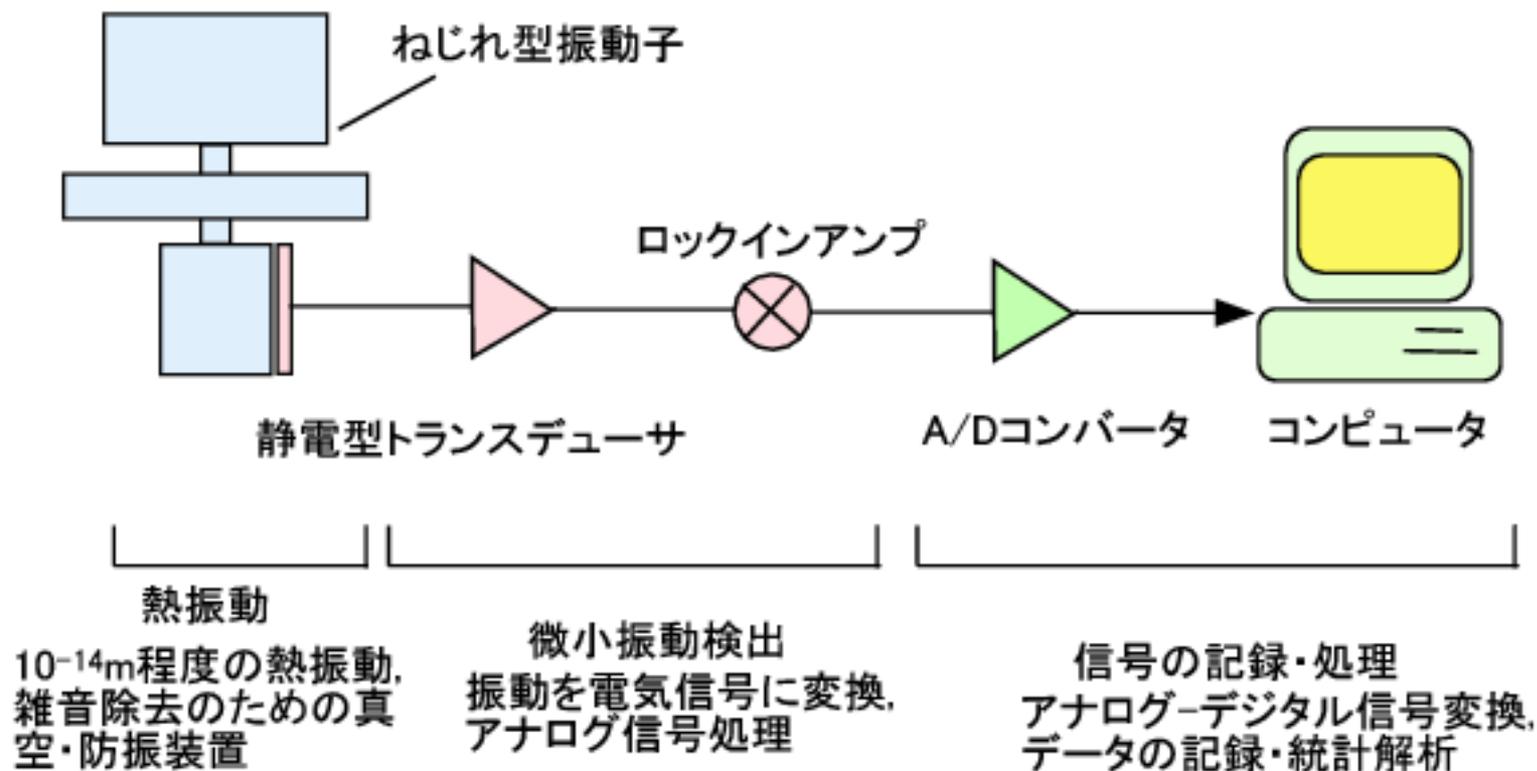
ブラウン運動(熱雑音)の測定を通じて,
低雑音計測, データの統計処理の基礎を習得する.

- 具体的にやること

弾性体の, 10^{-14} m 程度の微小なねじれ振動
を測定し, 取得したデータを解析する.

ブラウン運動の測定

- ねじれ型振動子の熱振動 (10^{-14} m程度) を測定、解析する。



ねじれ型振動子

•ねじれ型振動子

上下のダンベル状試験マスの
ねじれ運動を用いる。

- 共振周波数 : 340 Hz
- Q値 (共振の鋭さ) : 3×10^5

- 外乱の除去

地面振動:

2重振り子により懸架し防振。

大気・音の影響:

真空槽内に収めて避ける。

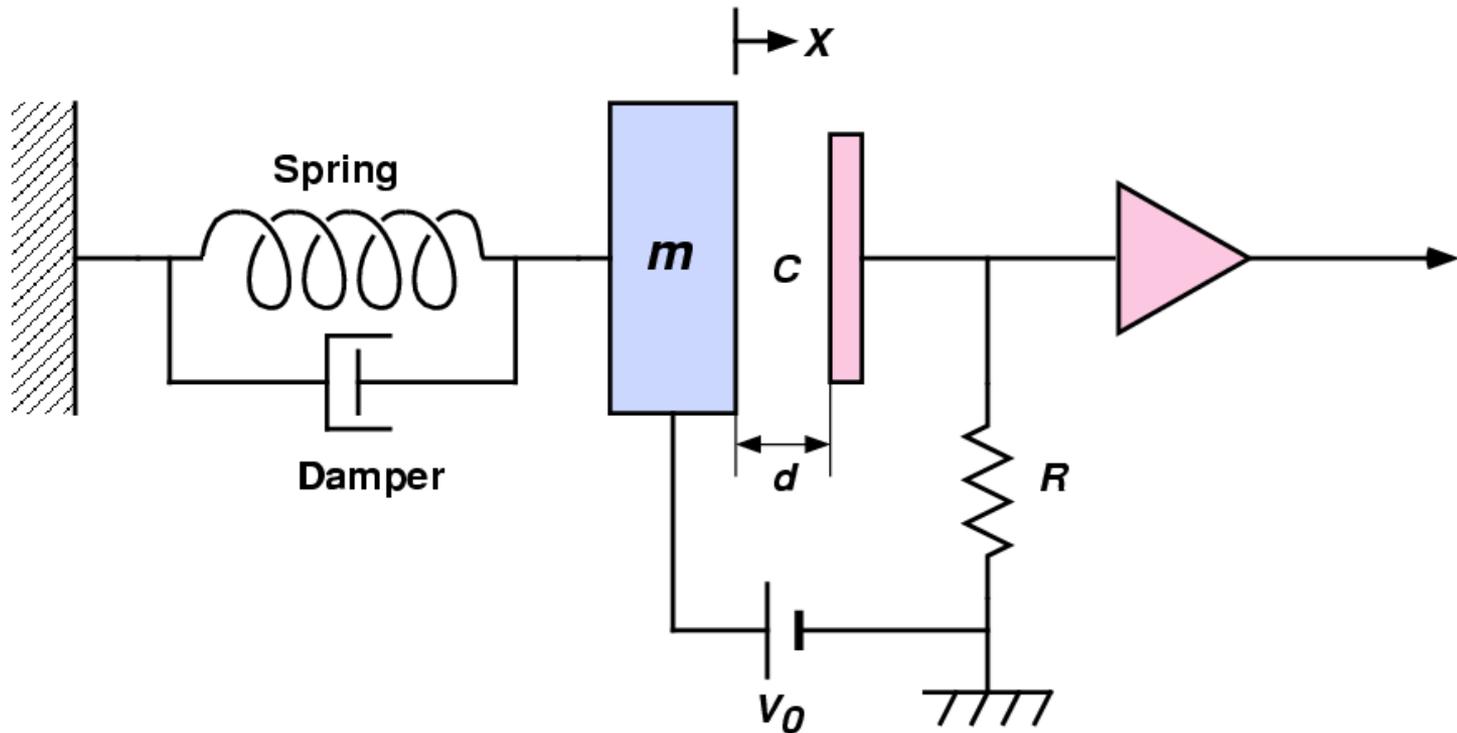


トランスデューサ

- 静電型トランスデューサ

微小振動を電気信号に変換

振動 → コンデンサの容量変化として検出.

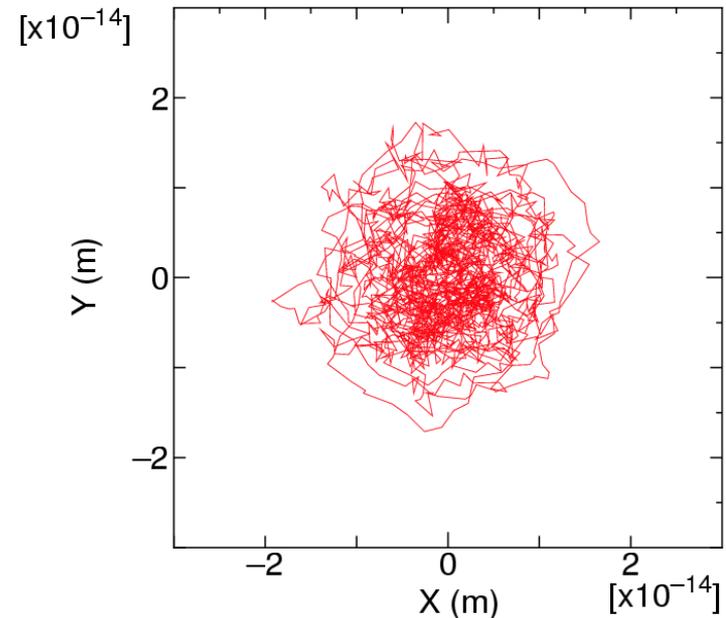


信号処理

- アナログ増幅器 : 信号の増幅・雑音の除去.
- ロックインアンプ : 必要な信号 (340Hz付近) のみを取り出す.
- A/Dコンバータ : アナログ信号を, デジタル信号に変換・記録.
- コンピュータ : 得られた信号を統計処理, 結果を得る.



ランダムな運動から
物理量 (温度) を導く



実験の流れ

- 1日目： 抵抗の熱雑音の測定.
 - 熱雑音の簡単な例.
 - アナログ-デジタル変換, コンピュータによる信号処理.
- 2日目： 電気-力学結合系の諸特性の測定.
 - 振動子の共振周波数・Q値の測定.
 - トランスデューサの結合による影響 (反作用) を知る.
 - 振動子や真空槽の取り扱いを習得.
- 3日目以降： ブラウン運動の測定.
 - ねじれ型振動子のブラウン運動の測定.
 - 測定結果を統計処理し、結果(温度)を求める.

注意事項：準備

・実験までに

- テキストに目を通す.
 - * 実験の趣旨と流れの理解.
 - * 実験装置の概要の把握.
 - * 安全で効率的な実験.
- 物理学実験 I 「真空技術」の復習.
- 物理学実験 I 「エレクトロニクス II」の復習.

・実験当日

- 関数電卓 (or パソコン)の準備.
- 遅刻しない.
- 積極的に実験を進める.

注意事項：レポート

・レポートの提出

- 実験終了(5日目)から 2週間以内.
- 遅れた場合は適宜減点, 提出が無い場合は 単位が付かない.
- メール添付で提出.

brown_andolab@phys.s.u-tokyo.ac.jp

- その後, 試問(オンライン)を実施.

<https://granite.phys.s.u-tokyo.ac.jp/wiki/Lab/?Brown>



・レポートの内容

- 必須課題：課題1,3、実験課題1, 5, 6
- 1つ以上の自由課題

自由なテーマでの計算、実験、考察.

必須課題以外の課題、または、自分なりの課題.

- 実験の感想：内容、難易度、改善点などの意見.

注意事項：レポート

・レポート作成時の注意点

長さ：長ければ良いというわけではない。要点を簡潔に。

グラフ：

計算機出力のグラフは 10個程度を目安に。

取ったデータのグラフを羅列するだけでは意味が無い。

読む人に何を伝えたいのか熟慮して構成すること。

実験の結果：

実験の結果を並べるだけでは意味が無い。

どう解釈するのか(考察)、

そこから何が導かれるのか(結論)が重要。

論理的な議論の展開を心がけること。

誤差を付ける。

終わり