

物理学実験II ブラウン運動

— 説明会の内容 —

実験の背景

実験の概要

注意事項

安東正樹, 道村唯太, 牛場崇文, 桑原祐也, 小森健太郎

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は観測可能.
- 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**.



原子の実在の証明：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が定式化される。

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。**

代表的なもの

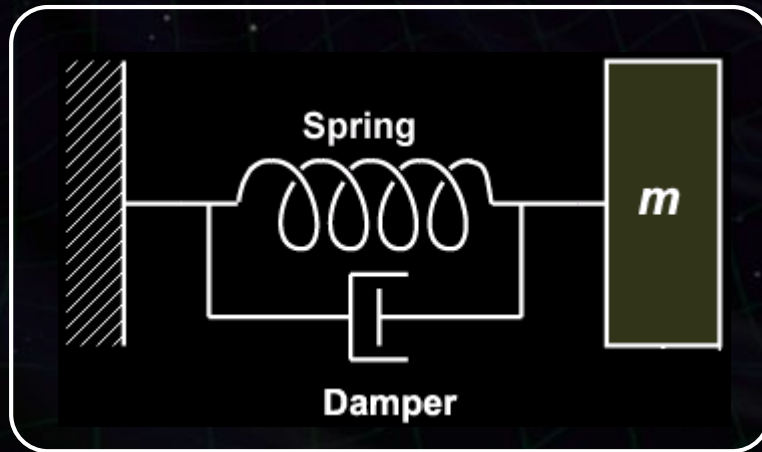
- 調和振動子の熱運動 — 弾性体の熱振動
- 抵抗の熱雑音 (ジョンソン雑音):
抵抗中の電子の熱運動による雑音

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

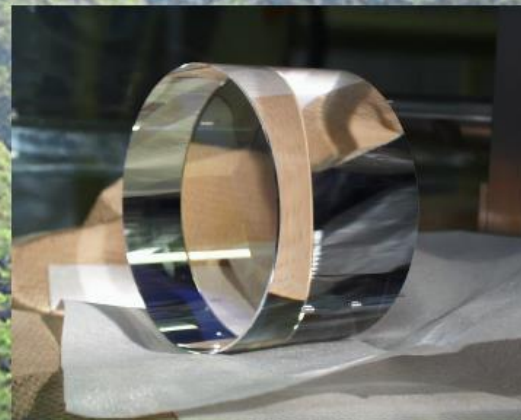
熱雑音

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

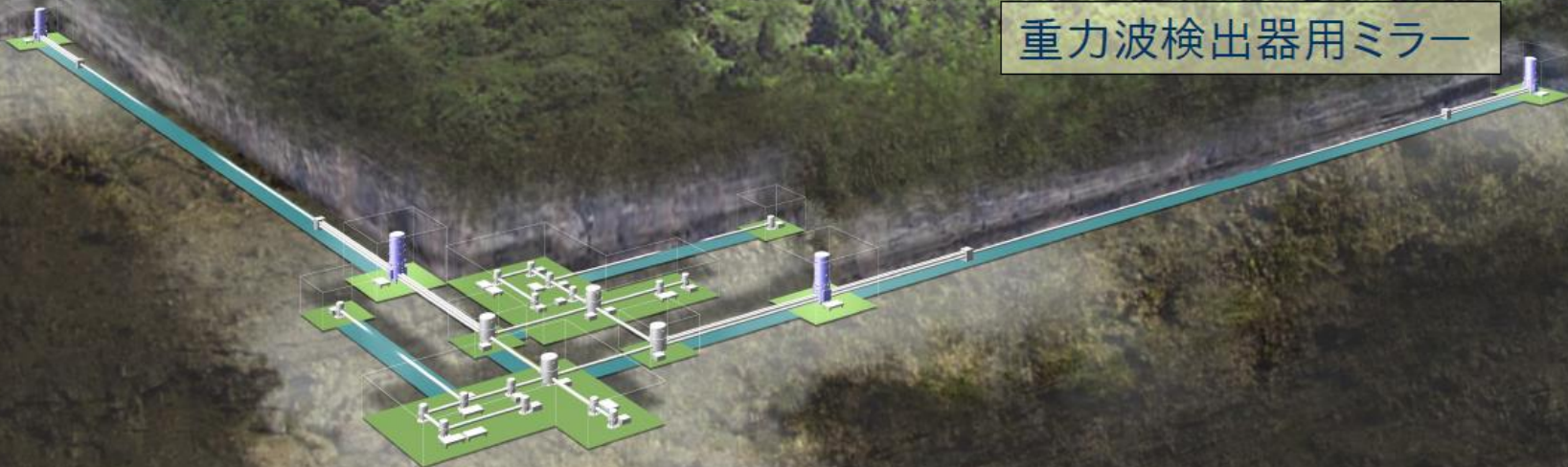
ミラーの各固有振動モードが

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

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:

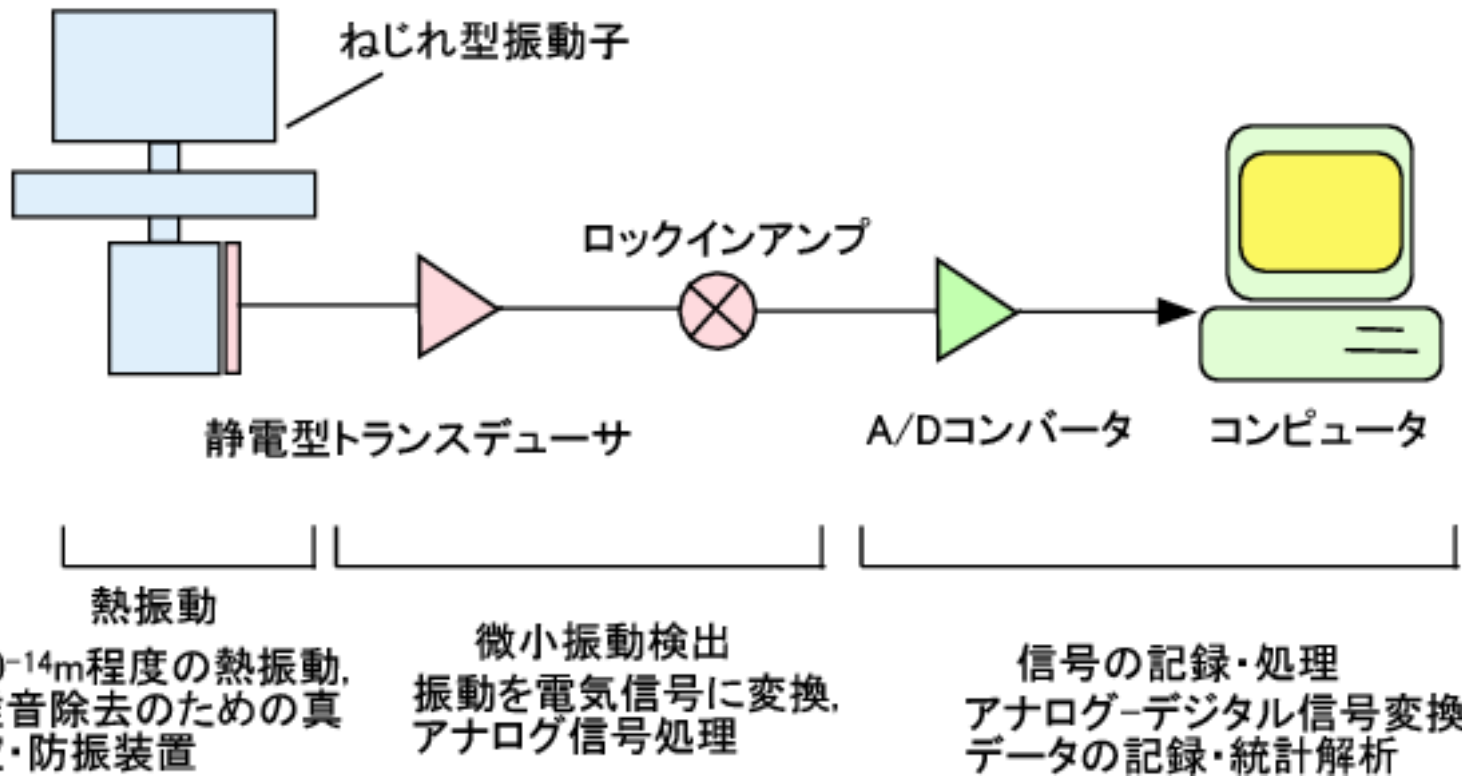
ブラウン運動(熱雑音)の測定を通じて、低雑音計測、データの統計処理の基礎を習得すること。

- 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 : 340Hz
- 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。

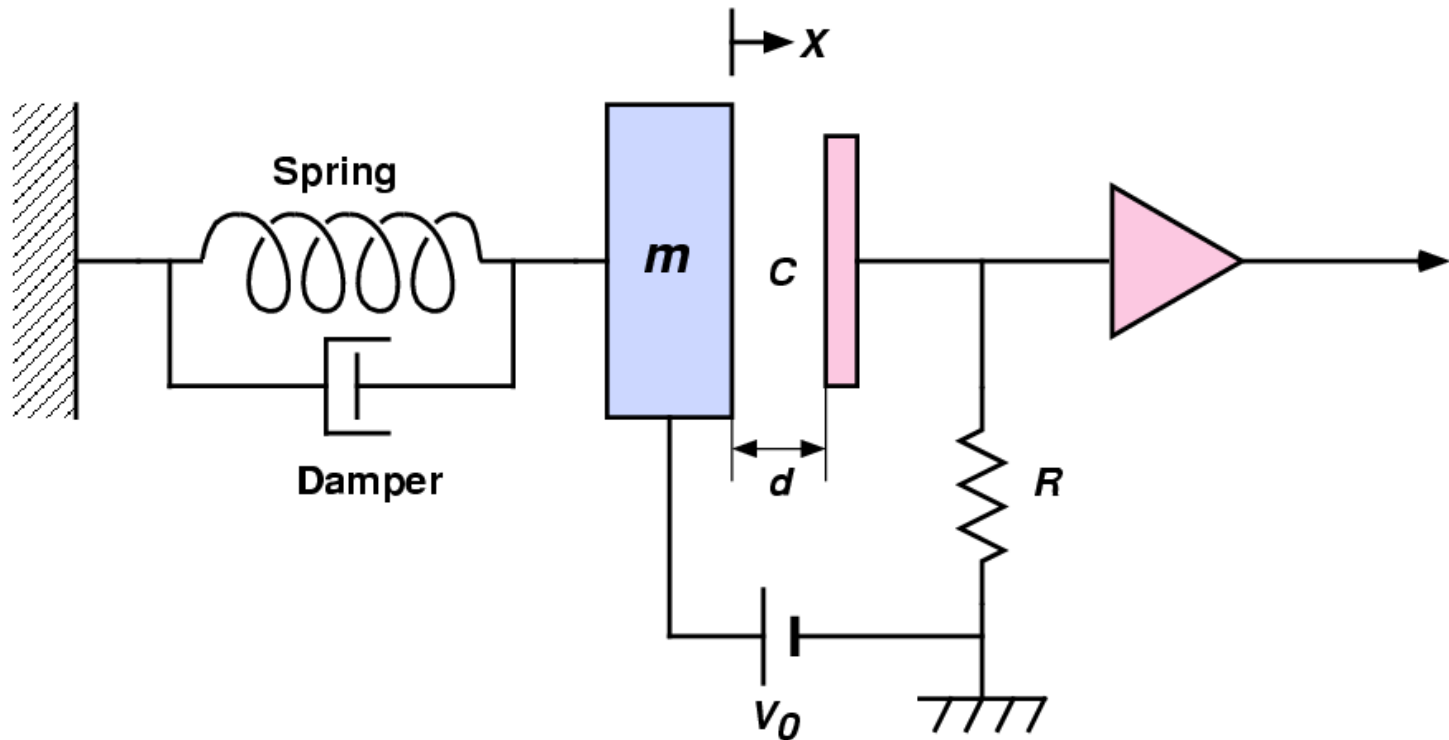


トランスデューサ

・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.

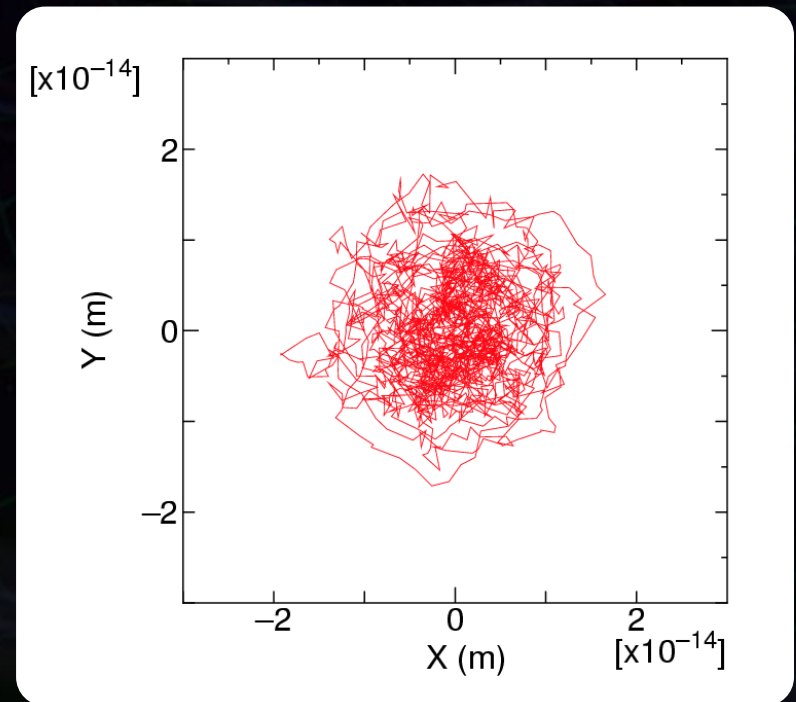


信号処理

- **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 – 抵抗の熱雑音.
 - 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.

* 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

- 実験終了から二週間以内（遅れた場合は適宜減点）
- レポートの提出が無い場合は0点となる。
- 理学部1号館 603号室・安東まで持参。

・レポートの内容

- 必須課題：課題1,3、実験課題2, 6, 7
- 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。