
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

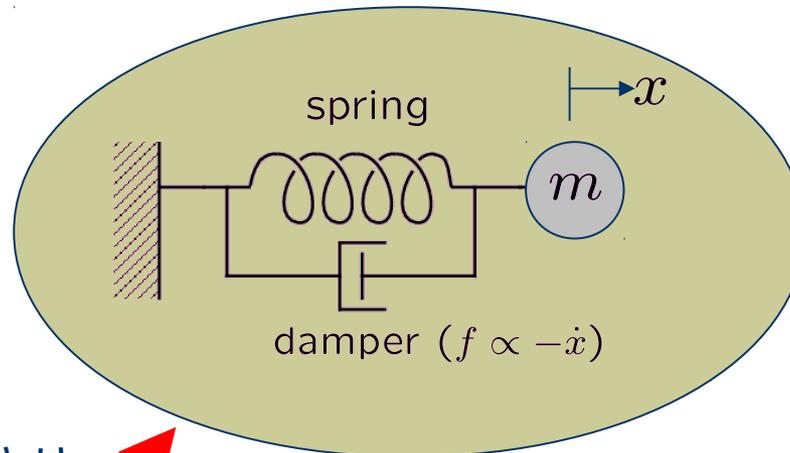
坪野 公夫, 麻生 洋一, 柴田 和憲

ブラウン運動研究の歴史

- 1827年 Robert Brown
水に浮かべた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によるものではないか？
- 1905年 Albert Einstein
分子熱運動論によって説明される
- 1957年～久保亮五等
揺動散逸定理によって、一般的に散逸と熱運動の関係が定式化される

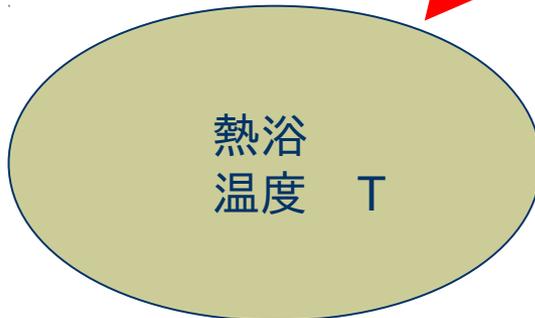
揺動散逸定理 (Fluctuation-Dissipation Theorem)とは

減衰のある調和振動子



エネルギーのやりとり

外界



エネルギー散逸がある

- 外界とやりとりするエネルギーが揺らぐ
- この揺らぎが熱雑音となる

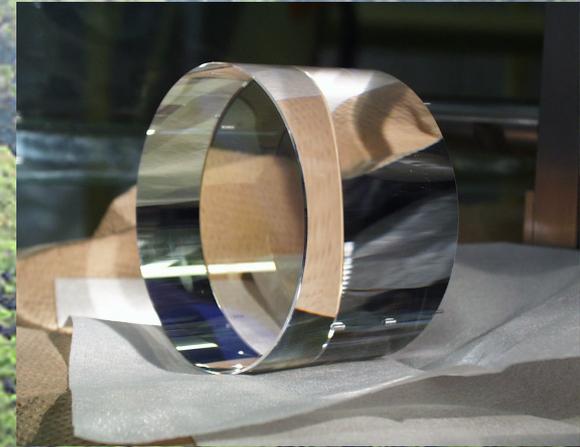
一般的に散逸と揺動(雑音)を結びつける → 揺動散逸定理

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

LCGT (神岡鉱山跡, 基線長3km)

実験の背景 (2)

ー 広い意味でのブラウン運動 ー

- ブラウン運動

→ 熱運動によって起こる巨視的な物理量の不規則な変動

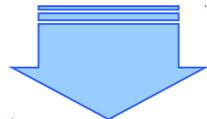
代表的なもの

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

- この実験

弾性体のねじれ振動を用いる

10^{-14}m 程度の微小振動を測定、解析する

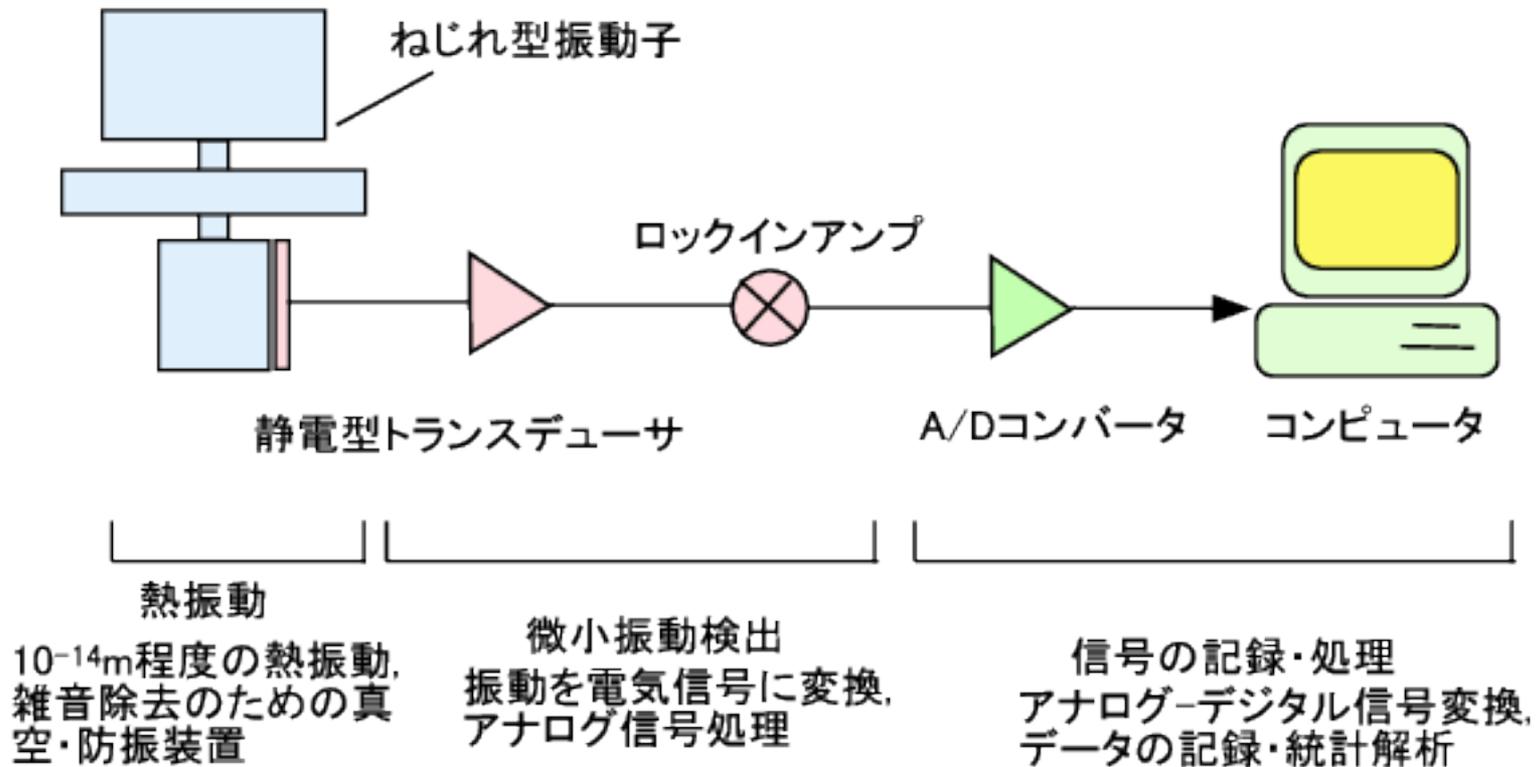


低雑音計測、データの統計処理の基礎を習得

実験の概要 (1)

— 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



実験の概要 (2)

— ねじれ型振動子 —

● ねじれ型振動子

ダンベル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

2重振り子により懸架

← 地面振動より防振

真空槽内に収められる

← 大気・音の影響を除去



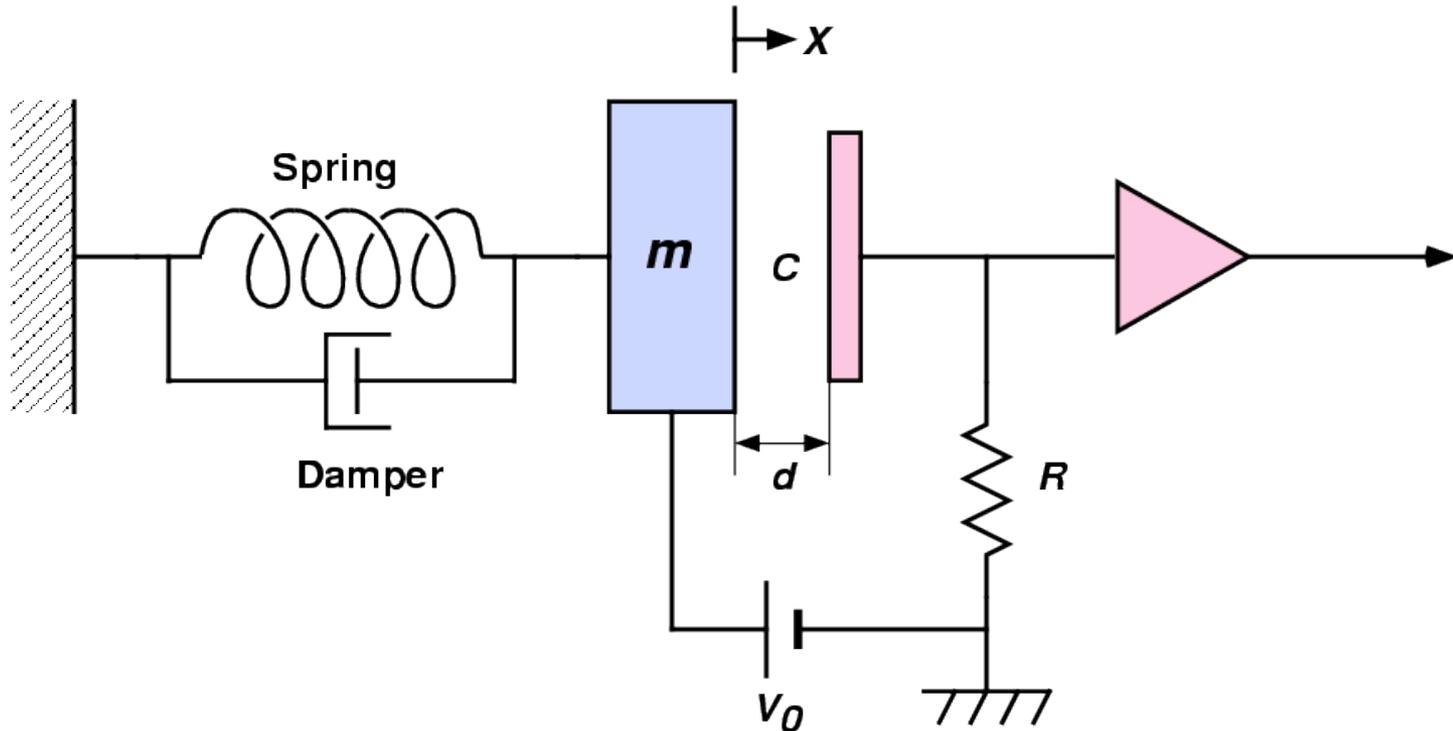
実験の概要 (3)

— 静電型トランスデューサ —

● 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



実験の概要 (4)

— 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

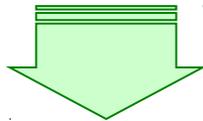
アナログ信号を

デジタル信号に変換・記録

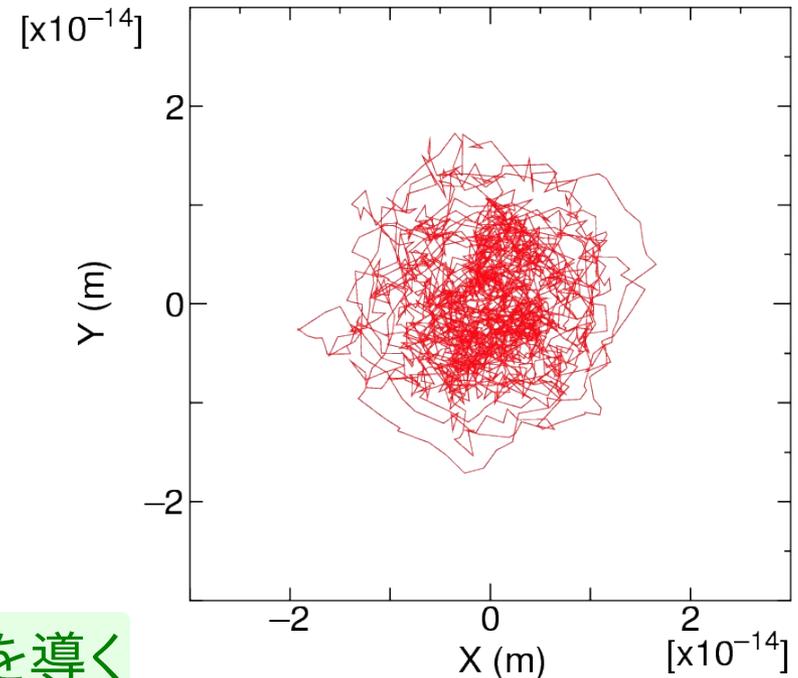
- コンピュータ

得られた信号を統計処理し、

結果を得る



ランダムな運動から物理量 (温度) を導く



実験の概要 (5)

— 実験の流れ —

- 一日目：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

- 二日目：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 (精密測定時の反作用) を知る

振動子や真空槽の取り扱いを習得

- 三日目以降：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 (1)

— 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

関数電卓の準備

遅刻しない

積極的に実験を進める

ブラウン運動Wiki: 坪野研webページ → 坪野研Wiki → ブラウン運動

<https://granite.phys.s.u-tokyo.ac.jp/wiki/Lab/index.php?Tsubono%20Lab%20Wiki#t09c1c13>

注意事項 (2)

ー レポート ー

- 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
理学部新1号館603号室 坪野まで持参

- レポート内容

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 :

実験の感想

内容、難易度、改善点などの意見

注意事項 (3)

— レポート (続き) —

- 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