

# 物理学実験II ブラウン運動

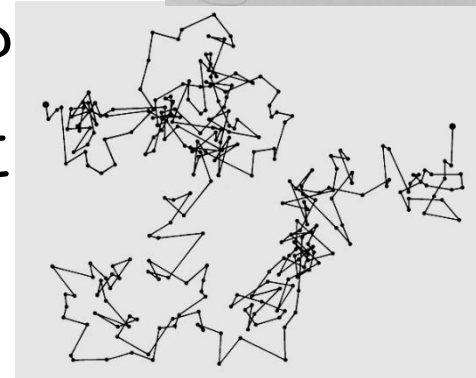
実験の背景、概要、注意事項

安東正樹、道村唯太

TA: 武田紘樹、Ooi Ching Pin、高野哲

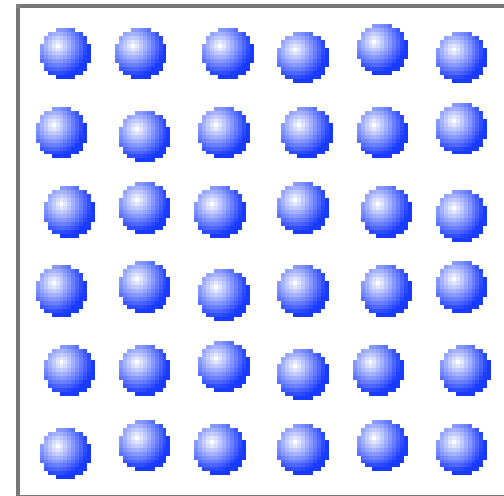
# ブラウン運動研究の歴史

- 1827年 Robert Brown  
花粉から出た微粒子の顕微鏡観察  
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
- 原子の实在の証明: 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、  
巨視的物理量の不規則な運動
- 代表例  
調和振動子の熱運動  
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

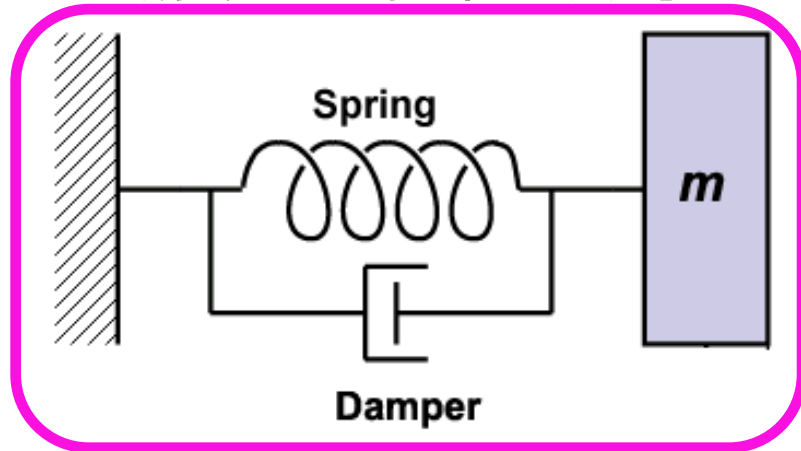


# 揺動散逸定理

- エネルギー散逸が大きいほど、熱揺動力も大きい  
外界とやりとりするエネルギーに揺らぎ

弾性体の運動:

減衰のある調和振動子

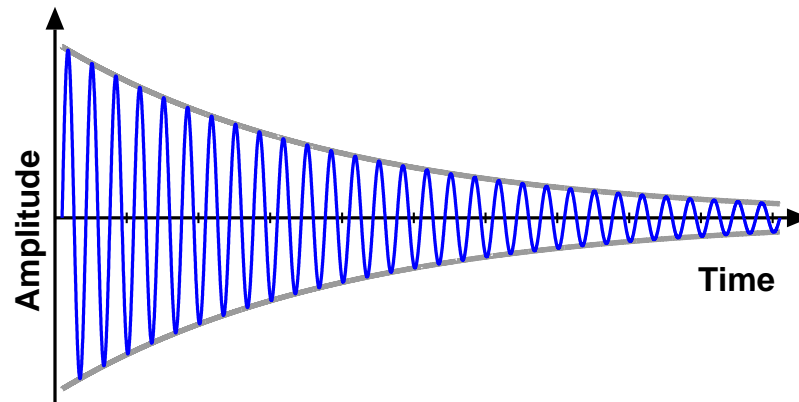


エネルギーの  
やり取り



外界:  
熱浴

温度:  $T$



# 熱雑音が問題となる実験例

- レーザー干渉計型重力波検出器



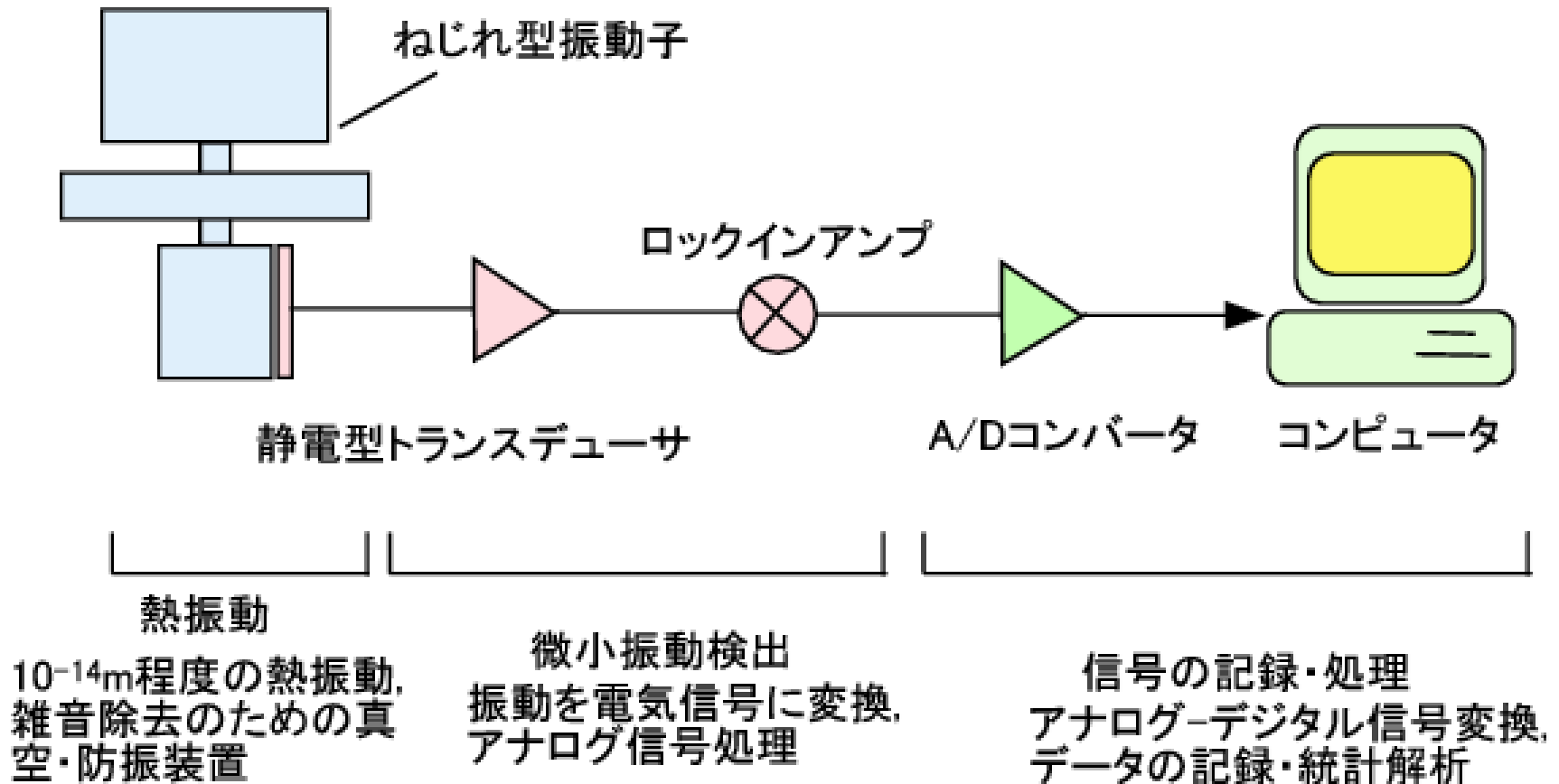
重力波検出器用  
低散逸サファイア鏡

# 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、習得したデータの解析をする

# 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)を測定し、解析する



# ねじれ型振動子

- ねじれ型振動子  
共振周波数: 340 Hz  
Q値:  $3 \times 10^5$   
(共振の鋭さ、  
散逸の少なさ)

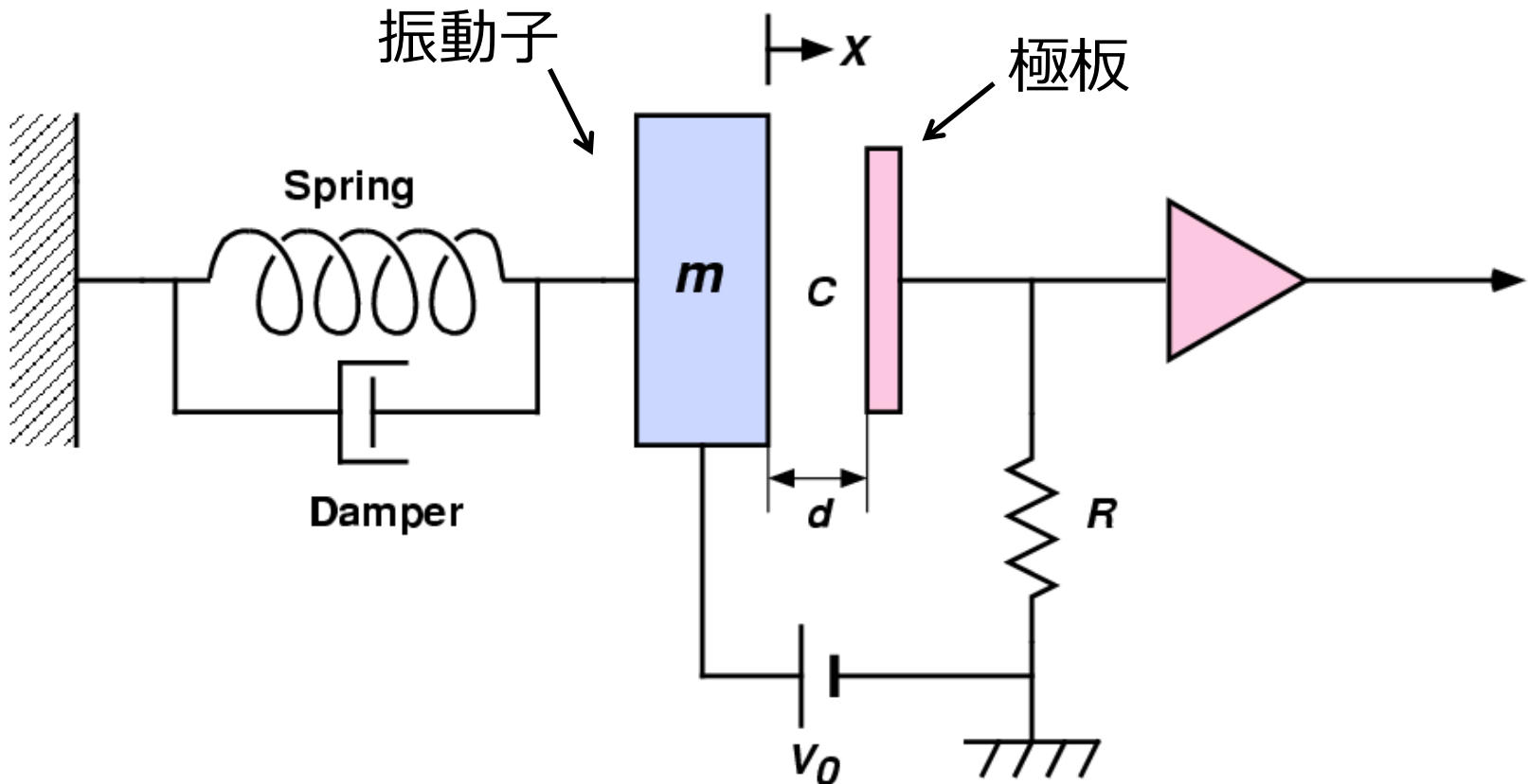
- 外乱の除去  
地面振動:  
2段振り子で  
懸架し、防振  
空気・音の影響:  
真空槽内に  
収めて防音





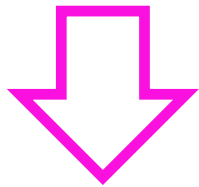
# トランスデューサ

- 静電型トランスデューサ  
微小振動を電気信号に変換  
振動をコンデンサの容量変化として検出

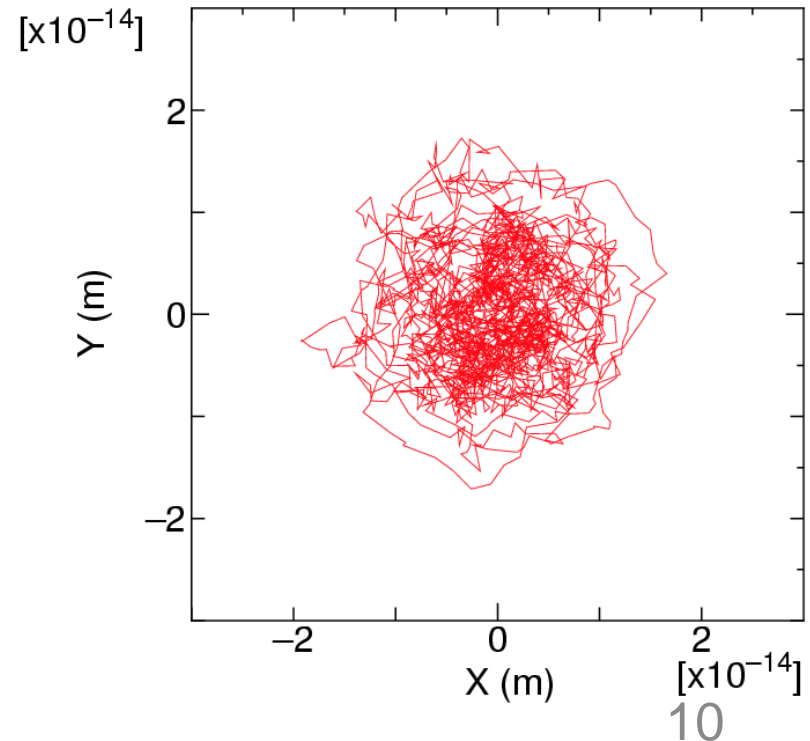


# 信号処理

- 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
- コンピュータ: 得られたデータを統計処理



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反作用を知る
  - 振動子や真空槽の取り扱いを習得
- 3日目: ブラウン運動の測定
  - ねじれ型振動子のブラウン運動
  - 測定結果を統計処理し、結果(温度)を求める

# 注意事項1/3: 準備

- 実験日までに
  - 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I」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2/3: 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、未提出は単位なし
  - 理学部1号館 603号室・安東まで持参
- 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でもよい
  - 実験の感想: 内容、難易度、改善点など

# 注意事項3/3: レポート

- 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  
グラフを羅列するだけでは意味がない  
読む人に何を伝えたいのか熟慮して構成する
- 実験の結果:  
実験の結果を並べるだけでは意味がない  
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  
誤差をつける