

物理学実験I ブラウン運動

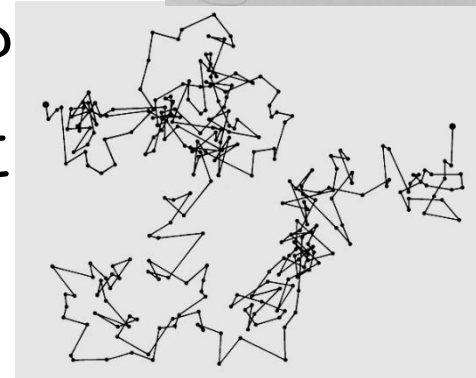
実験の背景、概要、注意事項

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

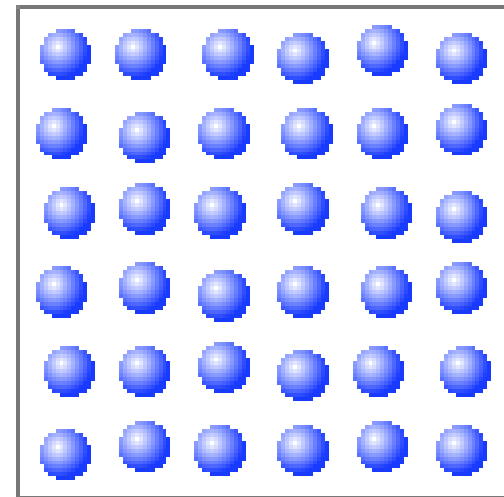
熱運動に起因する、
巨視的物理量の不規則な運動

- 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

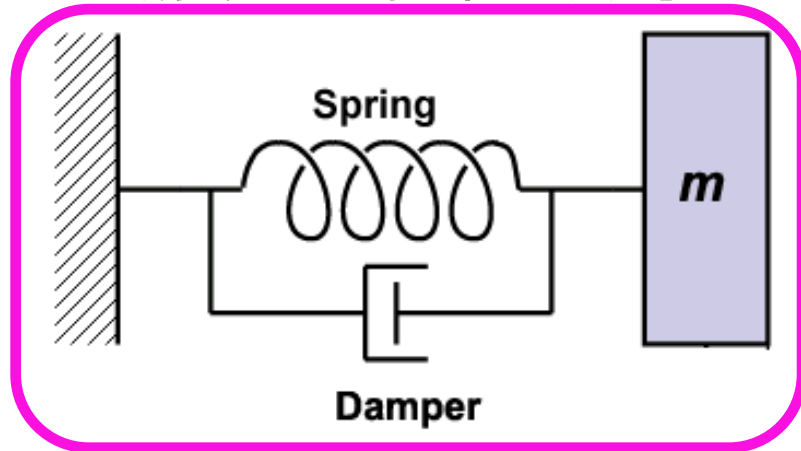


揺動散逸定理

- 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

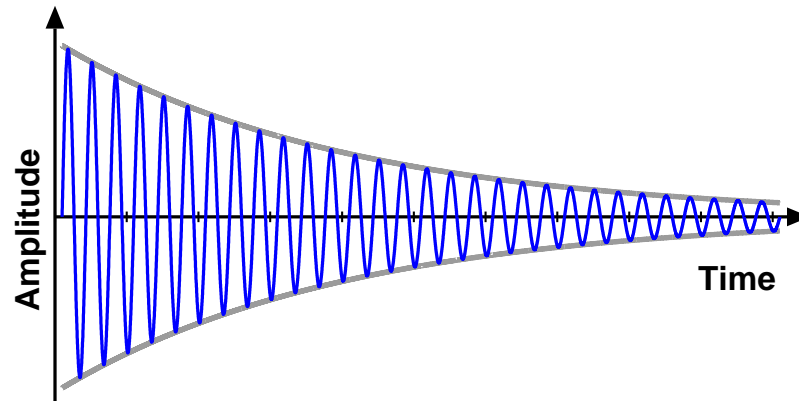


エネルギーの
やり取り



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

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

より詳しく知りたい人は.....

講談社ブルーバックス

重力波とはなにか

「時空のさざなみ」が拓く新たな宇宙論

安東正樹 著

2016年9月16日発売



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

より詳しく知りたい人は.....

講談社ブルーバックス

重力波で見える 宇宙のはじまり

「時空のゆがみ」から宇宙進化を探る

ピエール・ビネトリユイ 著

安東正樹 監訳

岡田好恵 訳

2017年8月17日発売

BLUE BACKS

重力波で見える 宇宙のはじまり

「時空のゆがみ」から
宇宙進化を探る

Pierre Binétruy
ピエール・ビネトリユイ 著
Ando Masaki
安東正樹 監訳
Okada Yoshie
岡田好恵 訳

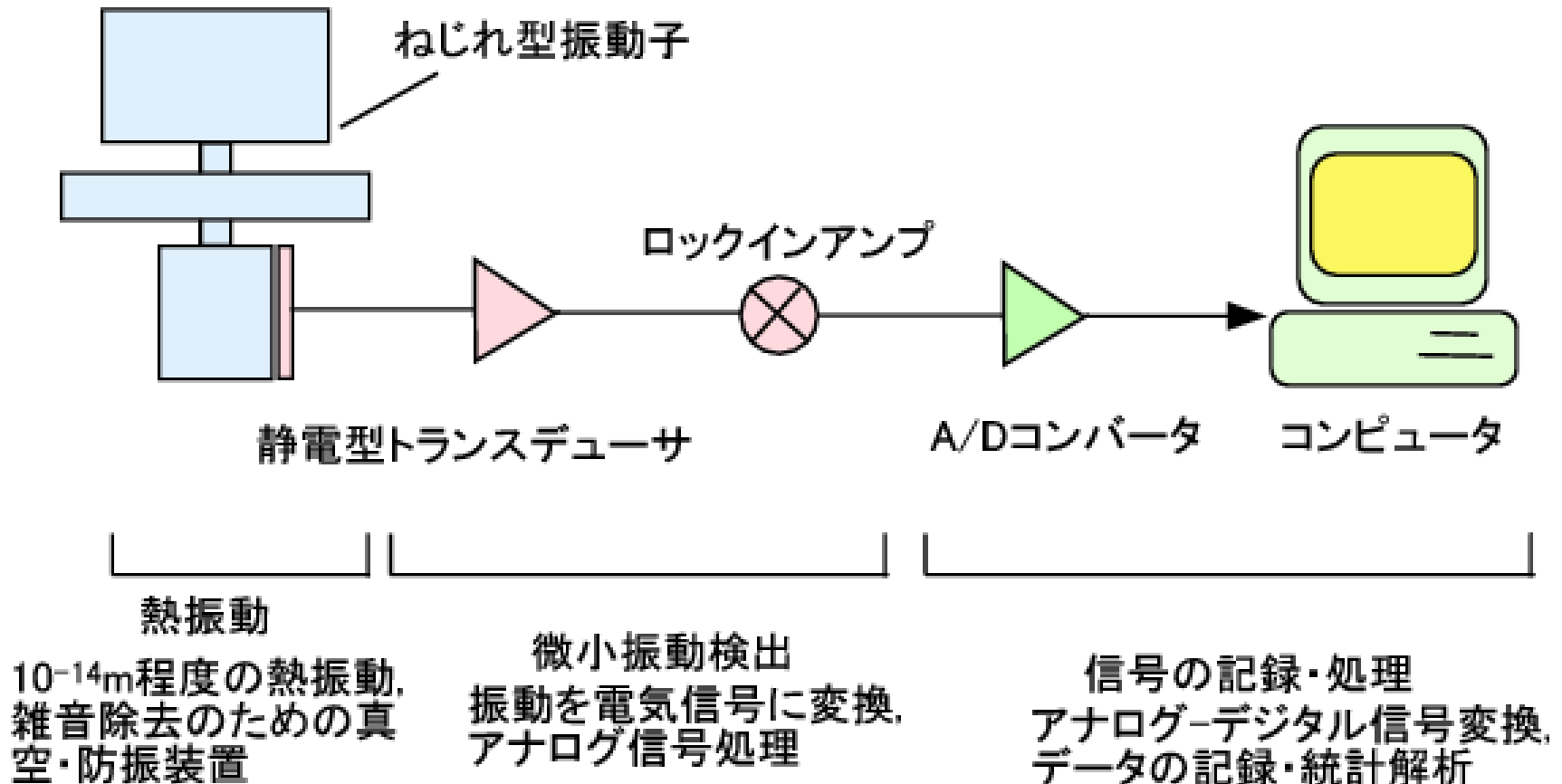


本実験の目的

- 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

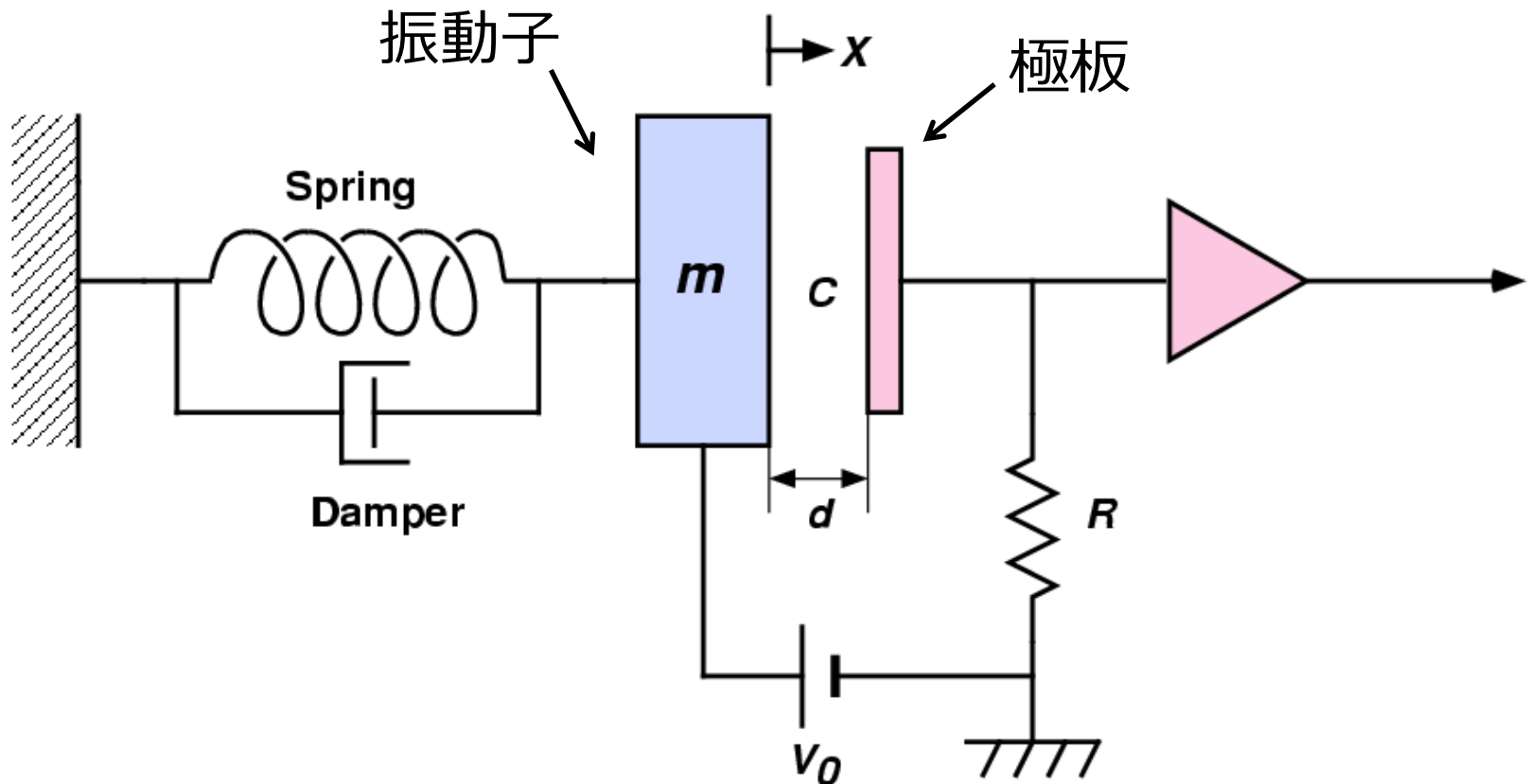
- ねじれ型振動子
共振周波数: 340 Hz
Q値: 3×10^5
(共振の鋭さ、
散逸の少なさ)

- 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



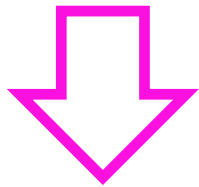
トランスデューサ

- 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

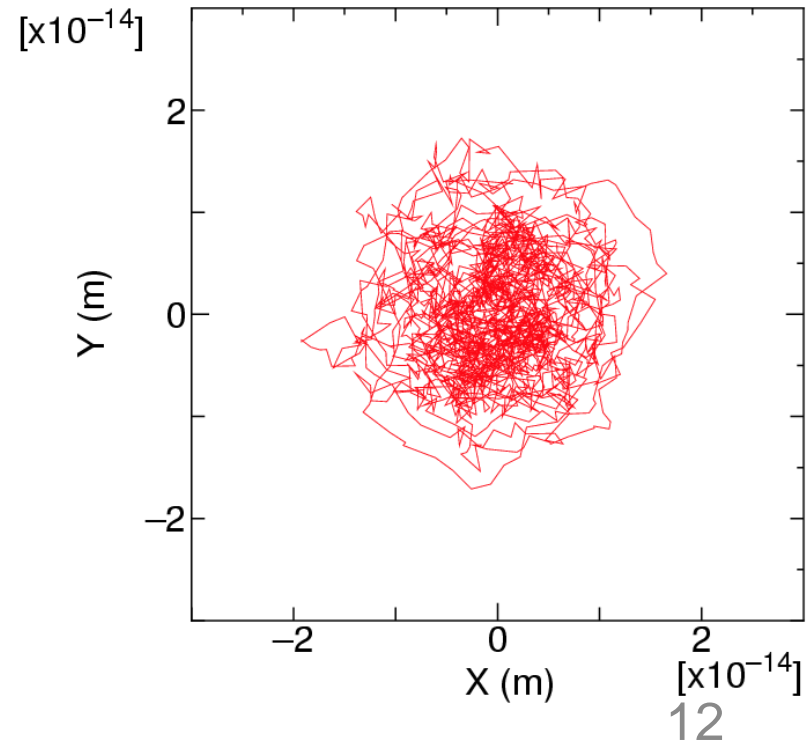


信号処理

- 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