

物理学実験II ブラウン運動

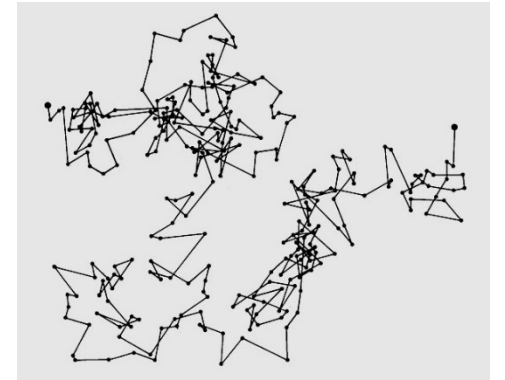
実験の背景、概要、注意事項

安東正樹、小森健太郎

TA: 大島由佳、藤本拓希、瀧寺陽太

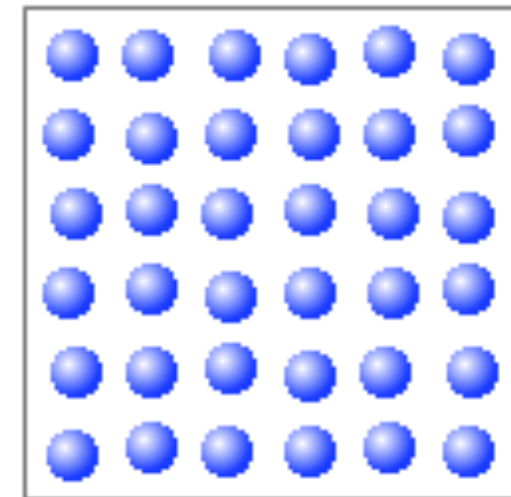
ブラウン運動研究の歴史

- 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
→ 原子の存在: 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

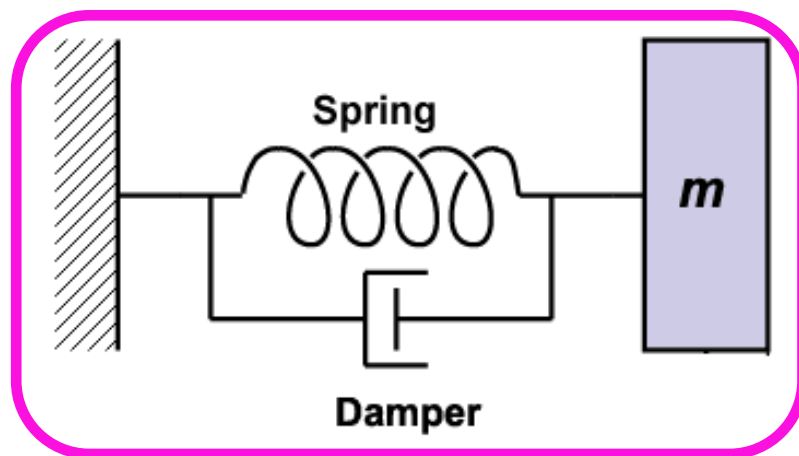


揺動散逸定理

- 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

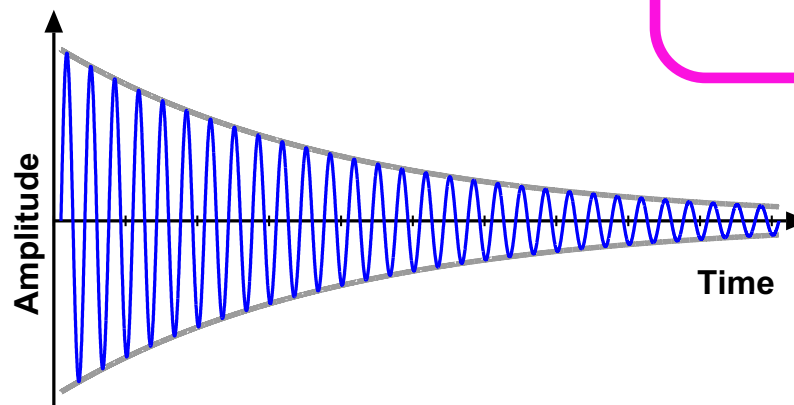


エネルギーの
やり取り



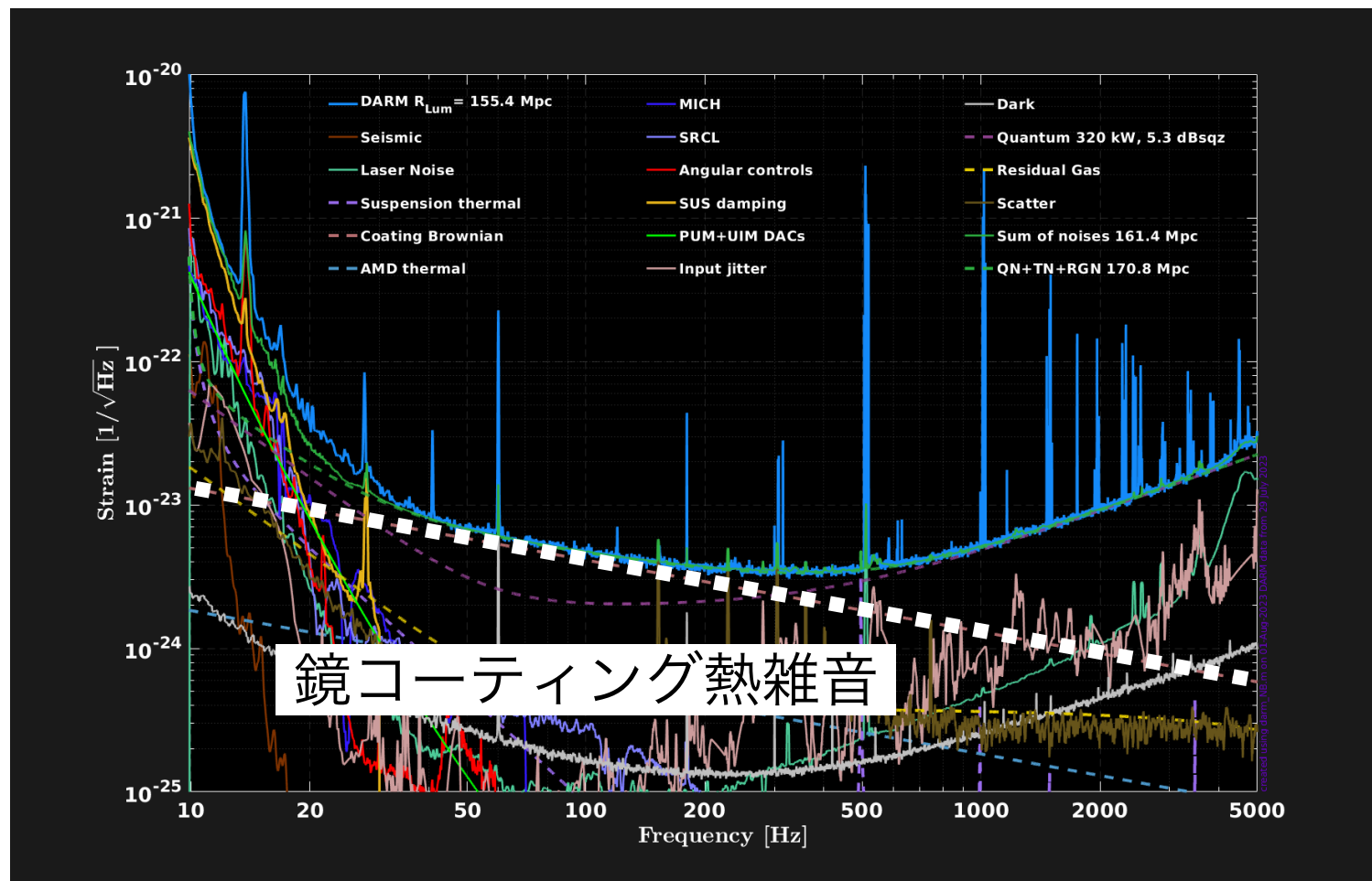
外界:熱浴

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望遠鏡



- ✓ 重力波を初観測した米国の重力波望遠鏡 LIGO
- ✓ 最新の感度は主に熱雑音で制限

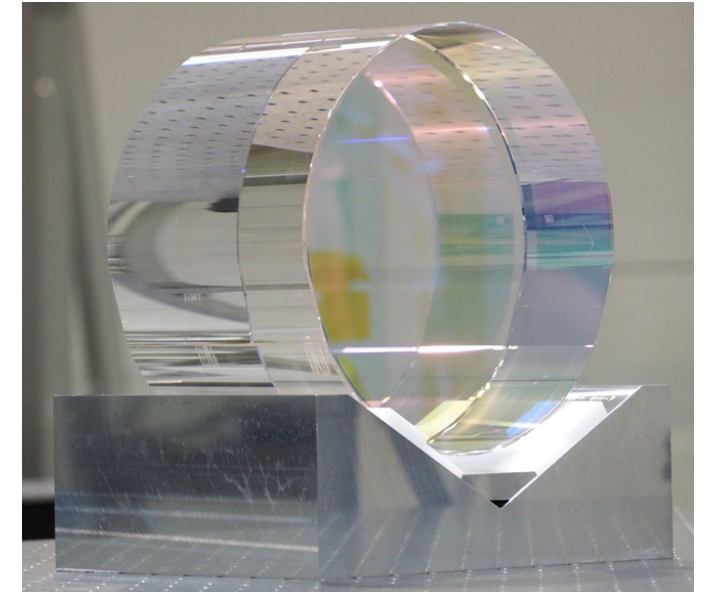
熱雑音が問題となる実験例

▶ レーザー干渉計型重力波望遠鏡



Credit: KAGRA
Collaboration/Rey Hori

- ✓ 日本の重力波望遠鏡KAGRA
- ✓ 低温にして熱雑音を低減

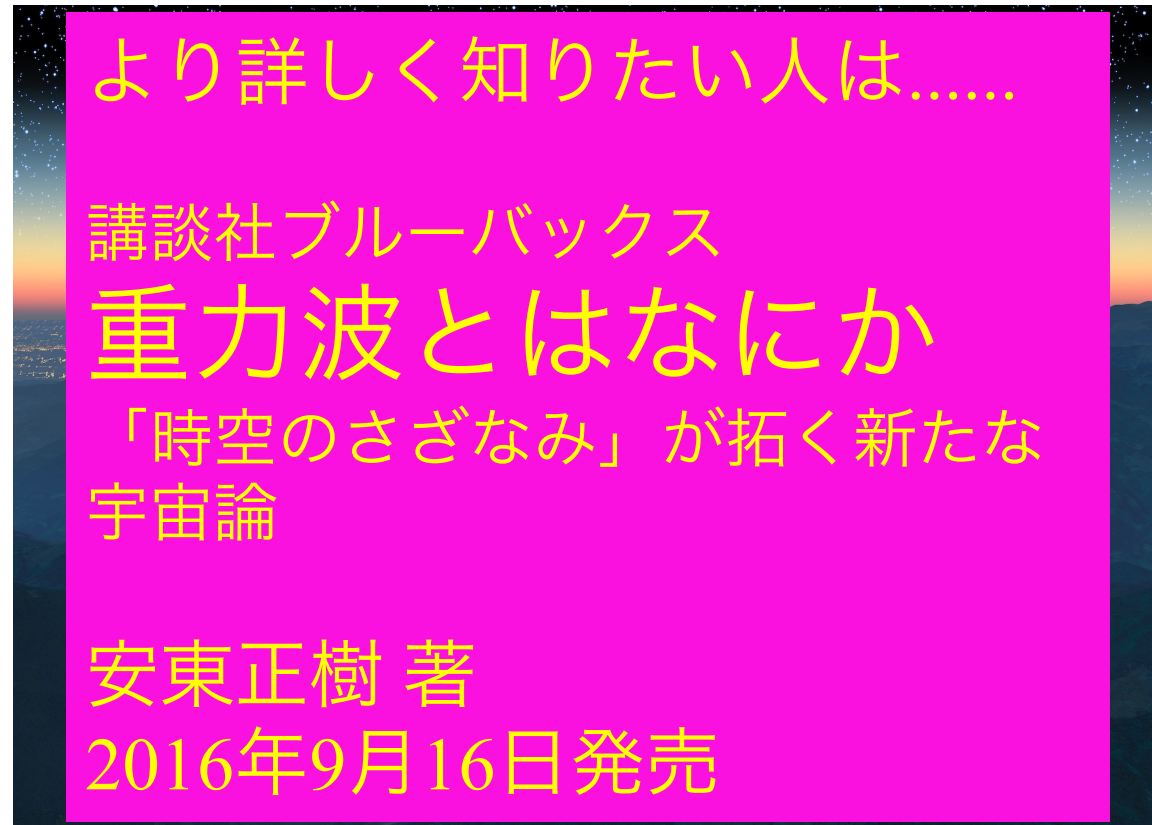


低散逸サファイア鏡



熱雑音が問題となる実験例

➤ レーザー干渉計型重力波望遠鏡



Credit: KAGRA
Collaboration/Rey Hori

- ✓ 日本の重力波望遠鏡KAGRA
- ✓ 低温にして熱雑音を低減



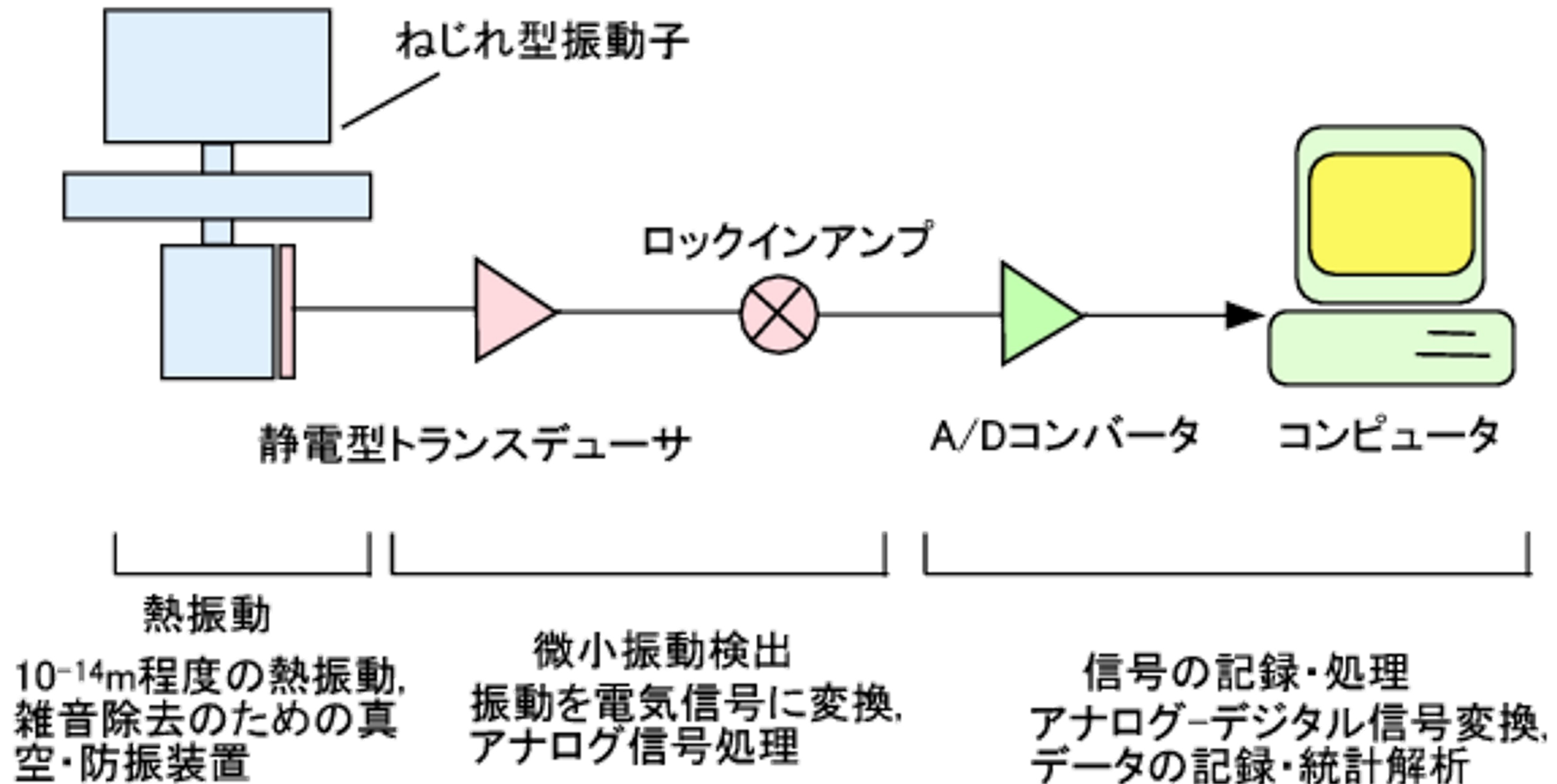
本実験の目的

- 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

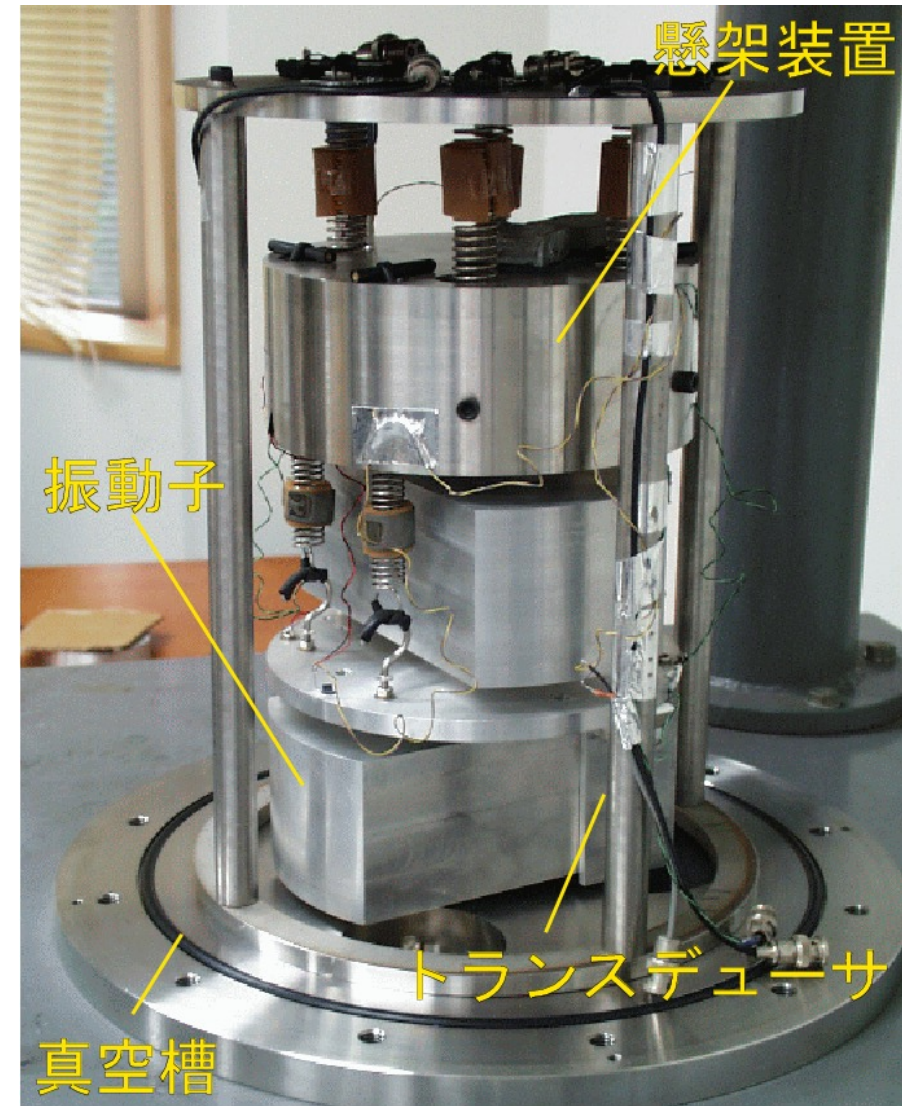
ブラウン運動の測定

- ▶ねじれ型振動子の熱振動(10^{-14} m程度)を測定し、解析する



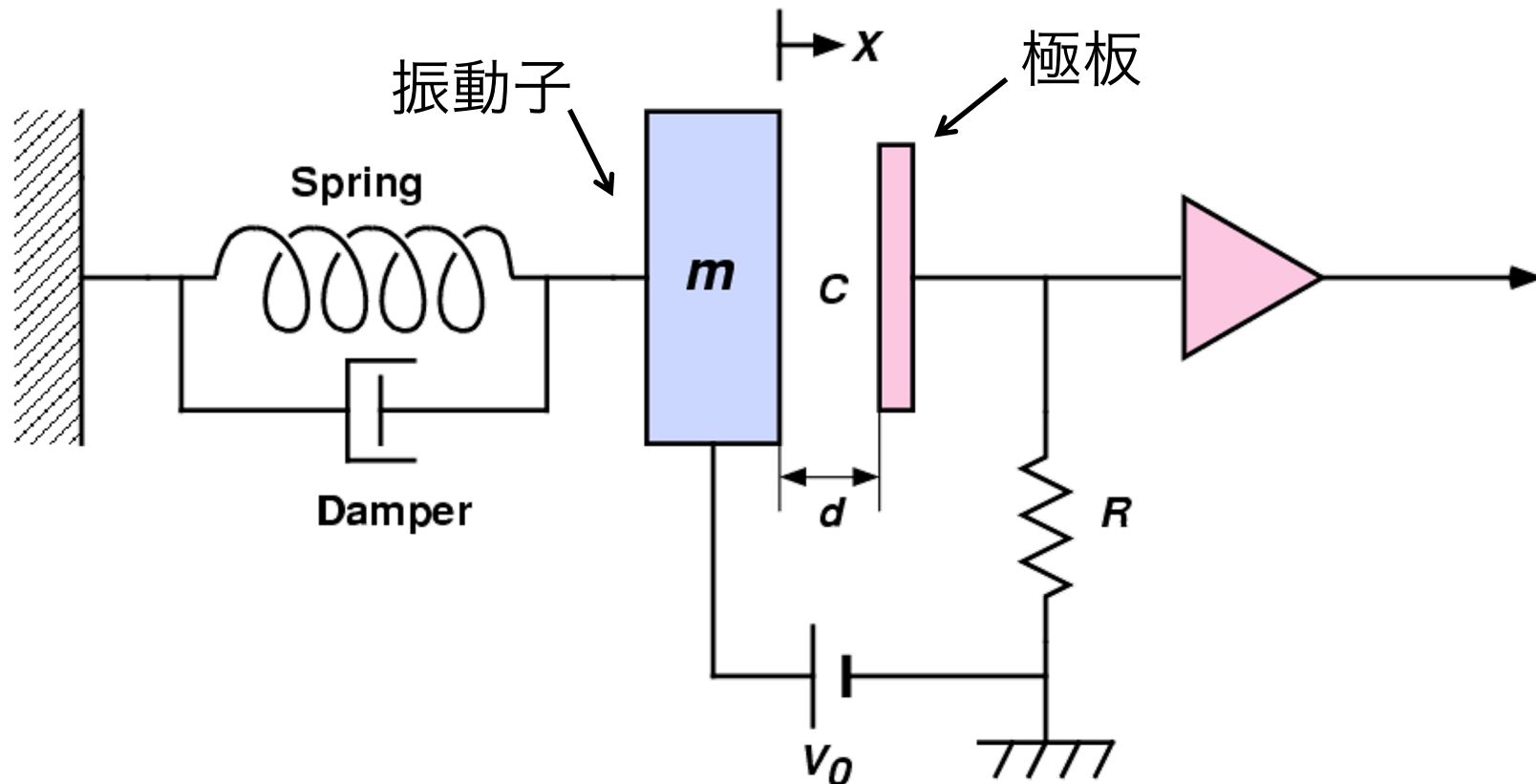
ねじれ型振動子

- ▶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



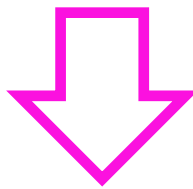
トランスデューサ

- ▶ 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

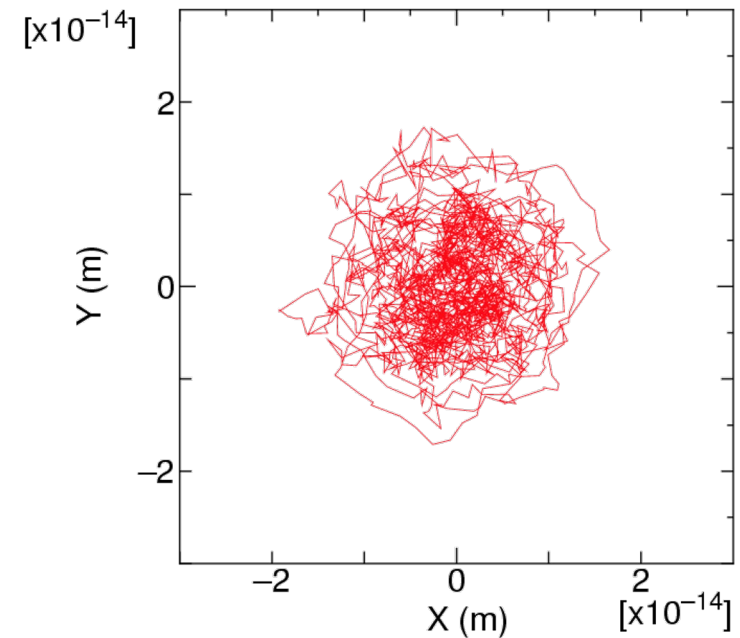


信号処理

- 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」の復習

- ▶ 実験当日
 - 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
- 下記アドレスにメール提出
- 別途、安東准教授と諮問日程の相談をすること

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

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

▶ レポート内容

- 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
どう解釈するか(考察)、そこから何が導かれるか(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