

# 1 Hidden Charge

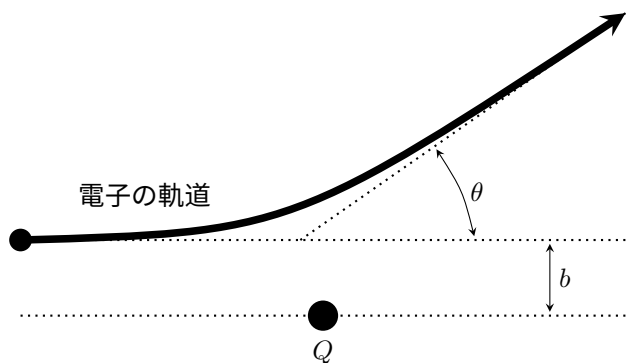
## 1.1 イントロダクション

電荷量が分からない点電荷  $Q$  が、空間に固定されている。点電荷から無限に離れた地点から、電子が、 $z$  軸に平行な向きに発射された後、点電荷による静電気力(クーロン力)によって散乱され、スクリーンに衝突する。初期状態における電子ビームの座標  $x_i, y_i$  と、初期状態における運動エネルギーを変化させながら、スクリーンに衝突する位置の座標  $x_f, y_f$  を測定することで、電荷量が分からない電荷について情報を得ることができる。ただし、スクリーンは  $z = 0$  に位置し、 $z$  軸に垂直な、有限の大きさの平面である。

以下の、ラザフォード (Rutherford) の散乱公式を用いてよい。

$$b = \frac{kqQ}{2E} \frac{1}{\tan(\theta/2)}$$

ただし、 $b$  は衝突径数、 $E$  は電子のエネルギー、 $q = -1.602 \times 10^{-19} \text{C}$  は電子の電荷、 $k = 8.99 \times 10^9 \text{Nm}^2/\text{C}^2$ 、 $\theta$  は散乱角である。衝突径数は、電子が散乱体(電荷)から力を受けず直線運動をすると仮定したときの最近接距離である。散乱角は、はじめ、散乱体(電荷)から遠く離れた位置にいるときの速度の向きと、散乱が終わった後、最後に散乱体(電荷)から遠く離れた位置にいるときの速度の向きがなす角度である。



## 1.2 課題

固定された電荷  $Q$  の位置  $(x_Q, y_Q, z_Q)$ 、電荷量、符号を、可能な限り高精度で決定せよ。また、結果の誤差について、おおよそのオーダー評価を行え。初期状態のビームの位置については、0.5 mm 程度の、正規分布に従う誤差 (Gaussian error) がある。

すべての実験で、ラベル付きのデータの表、ラベル付きのグラフ、何を測定したか分かるような式の導出、どのように結果を導いたか、を明記せよ。

## 1.3 Program Interface

まずプログラムに以下の文章が表示され、加速電圧の入力が求められる。

Beam accelerating voltage in V:

1 から 10000 の間の数字を入力し **return** キーを押さない。続いてプログラムに射出する電子の初期座標を入力する。以下の文章が表示され、まず  $x_i$  の入力が求められる。

x-coordinate of the electron beam in cm:

-20 から 20 の間の数字を入力し **return** キーを押さない。以下の文章が表示され、続いて  $y_i$  の入力が求められる。

y-coordinate of the electron beam in cm:

-20 から 20 の間の数字を入力し **return** キーを押さない。これら3つの入力に無効な数が含まれていると、以下の文章が表示される。

Invalid entry. 入力の制限を考慮して値を再度入力しなさい。

3 つの数字を入力し終わると、プログラムは以下を出力する。

Electron beam fired with parameters (x, y, V) =

このように入力した値が再度表示され、続いて以下を出力する。

Electron detected at (x, y) =

このようにスクリーン上で電子を検出した位置が表示される。しかし、電子が有限の大きさであるスクリーンの外に出た場合、以下の文章が出力される。

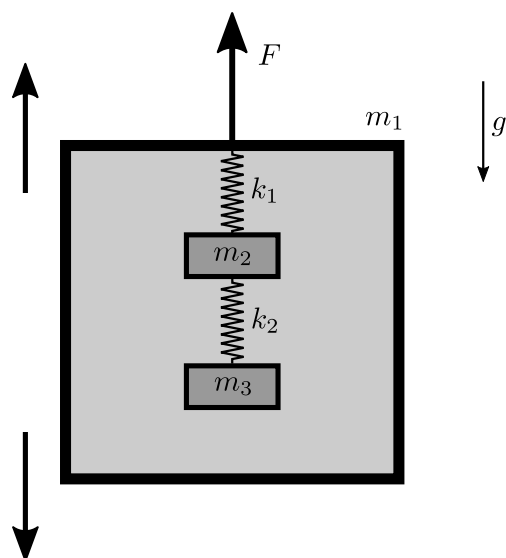
Electron not detected...

なお、初期座標を新たに入力することでプログラムを繰り返し実行出来る。

# 2 Black box

## 2.1 初めに

質量が  $m_1$  の剛体のブラックボックスを考えよう。その中には、質量  $m_2$  の物体が、ばね定数  $k_1$  の重さのないばねで箱の上面から吊り下げられている。他の質量  $m_3$  の物体が、物体  $m_2$  の下に、質量のないばね定数  $k_2$  のばねによって吊り下げられている。それらの物体は速度に依存する小さな抵抗を受ける。地球の重力は、 $g = 9.81 \text{m/s}^2$  で、箱の側面に平行に作用する。



箱は、小ステップの一定の加速度をもって、上下に移動することができる。加速度のパターンは、時間  $s$  と加速度  $\text{m/s}^2$  をそれぞれのステップごとに、入力することで、プログラムすることができる。シミュレーションは、ステップごとに、与えられた加速度を維持するために箱に働かせる力  $F$  を、時刻とともに表示することができる。シミュレーションは、プログラムと同じフォルダーの text ファイルにそれらの読み値を出力する。すべてのシミュレーションは、おまりの同じ初期配置で、開始できる。

(注): 力のどの測定も、小さいランダムな誤差を含んでいる。ばねは、十分小さな変形に対して線形だが、大きな変形には、それは成り立たない。 $k_1$  と  $k_2$  の値は、箱が静止している際の、平衡点付近での小さい変形に対するそれぞれのばね定数として定義されている。力  $F$  と加速度は、それが上側に作用した際に正方向と考える。箱の側面の大きさは 0.6m で、箱は 3m の高さの部屋の真ん中に最初は位置している。箱が天井や床に当たった時、物体が箱や他の物体に衝突した時は、実験は自動的に終了する。図は、厳密な大きさでは描かれていない。

## 2.2 課題

すべてのパラメータ  $m_1, m_2, m_3, k_1, k_2$  を決定せよ。これらの結果の誤差解析は必要ない。

すべての実験で、ラベル付きのデータの表、ラベル付きのグラフ、何を測定したか分かるような式の導出、どのように結果を導いたか、を明記せよ。

## 2.3 プログラムインターフェース

まずプログラムは一連の入力を要求する。ここでは以下の入力が可能である。

- 動作の加速パターンについて。2つの数字を入力し **return** を押す。例えば: 1.5 -0.4  
1つ目の数字は加速パターンの**継続時間**を表す。この単位は秒であり、入力は 0.01 秒の倍数でなければならない。2つ目の数字は加速度を表す。この単位は  $\text{m/s}^2$  であり、入力は -30 から 30 の間でなければならない。
- 動作の繰り返しについて。repeat という文字列と整数を入力し **return** を押す。例えば: repeat 10  
この整数は**動作の繰り返し回数**を表す。endrepeat が入力されるまでの全ての動作が繰り返し行われる。(下記参照)。
- 動作の繰り返しの終了について。endrepeat と入力せよ。実験を開始すると、repeat and endrepeat の間の全ての動作が指定された動作の繰り返し回数だけ行われる。なお、繰り返しの中で新たに別の繰り返しを行うことは出来ない。
- 計測時間の変更について。sample という文字列と数字を入力して **return** を押す。例えば: sample 0.4  
この数字は新しい**計測時間**を表す。ここで指定した時間間隔でテキストファイルに新しい表示が出力される。計測時間は 0.01 秒の倍数でなければならない、なお計測時間はデフォルトで 0.01 秒に設定されている。
- begin と入力すると一連の入力を終了し、実験を開始する。

同時にいくつかの動作を書き、**return** を押すことができる。例えば、

```
sample 0.4 repeat 10 1.5 0.4 1.5 -0.4
endrepeat begin
```

計測時間を 0.4s にして、 $a = 0.4\text{m/s}^2$  と  $a = -0.4\text{m/s}^2$  をそれぞれ 10 回行うことができる。

もし、入力が正しくないと、次のような error messages が出るので、やり直す。

- もし、加速度が範囲外ならば:  
Acceleration is out of range.
- もし、加速の継続時間が範囲外ならば:  
Duration is out of range.
- もし、計測時間が範囲外ならば:  
Sampling time is out of range.

- もし、試行の回数が範囲外ならば:  
Number of repeat times is out of range.
- もし、一つの繰り返しの途中で別の繰り返しをしようとするとき:  
Cannot repeat actions inside another repeat.
- 終わるべき繰り返しがないのに繰り返しを終わろうとしたとき:  
Cannot end repeat outside repeat.
- その他のすべての場合:  
Invalid entry.

begin を入力すると、プログラムは Enter name for output file (e.g. "results"). You should use Latin letters and numbers because some special characters are not allowed. と、出力ファイルの名前を聞いてくる。

名前を入力して **return** を押す。名前にはローマ字と数字だけが望ましい。ファイル名が適当でないと、保存されない可能性がある。読まれた数値は .txt の名でプログラムと同じフォルダーに保存される。

この後で、プログラムは

Begin experiment.

と表示して実験を開始し、実験開始からの時間 (Time (s)), 測定された  $F$  の値 (Force (N)), 箱の加速度 (Accel ( $\text{m/s}^2$ )) を表示する。

プログラムは次のうちの一つのメッセージを表示する。

- もし、実験が成功したら:  
Experiment ended successfully.
  - もし、箱が天井に当たったら:  
The box hit the ceiling. Experiment ended.
  - もし、箱が床に当たったら:  
The box hit the floor. Experiment ended.
  - もし、箱の中のおもりどうしが衝突したり、一つが箱に当たったら:  
Masses and/or the box collided. Experiment ended.
- その実験が終わったら、別の実験をすることができる。