

1 숨겨진 전하

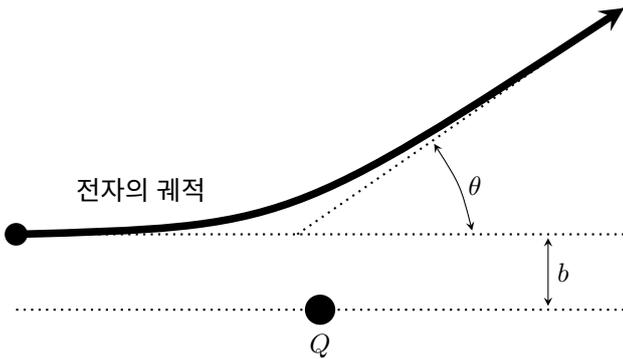
1.1 서론

알려지지 않은 (미지의) 점전하 Q 가 공간의 어떤 영역에 고정되어 있다. 그 전하로부터 아주 멀리 떨어진 곳으로부터 z 축과 평행하게 방출된 전자들이 정전기적으로 고정된 전하에 의해 산란되어 검출 스크린과 충돌한다. 이제 전자 빔의 초기 운동에너지와 초기 좌표 x_i 와 y_i 를 변화시키고, $z = 0$ 에 위치하고 z 축에 직각이며 유한한 크기의 평면 스크린에 충돌하는 전자의 나중 좌표 x_f 와 y_f 를 측정하여, 숨겨진 전하에 대해 상세하게 알아보는 것이 가능하다.

아래와 같은 러더포드 산란공식을 아는 것은 유용하다.

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

여기서 b 는 충돌 매개변수 (파라미터), E 는 전자의 에너지, 전자의 전하는 $q = -1.602 \times 10^{-19}C$, 상수 $k = 8.99 \times 10^9 Nm^2/C^2$, 그리고 θ 는 산란각이다. 충돌 매개변수는 전자가 표적에 의해 산란되지 않고 일직선으로 움직인다고 가정할 때, 표적에 가장 근접한 거리로써 정의된다. 따라서 표적으로부터 아주 멀리 떨어진 곳에서 전자의 원래 속도벡터와, 산란 후에 표적으로부터 아주 멀리 떨어진 곳에서 전자의 속도 벡터, 두 벡터 사이의 각도가 산란각이다.



1.2 할 일

이 실험에서 할 일은 고정 전하 Q 의 위치 (x_Q, y_Q, z_Q) 와, 크기 및 부호를 가능한한 정밀하게 결정하는 것이다. 이 결과들의 오차에 대해 대략적인 크기 (order of magnitude) 를 추정하여 제시해야 한다. 전자빔의 초기 위치와 관련되어 0.5 mm 정도의 가우시안 오차가 있다.

모든 다른 실험에서와 같이, 수험자는 측정자료를 표로 만들고 레이블을 붙이고, 그래프에도 레이블을 명확하게 붙여야 하며, 무엇을 측정하였는지, 어떻게 자신의 결과를 유도하였는가를 분명히 하도록 충분한 공식도 제공해야 한다.

1.3 프로그램 인터페이스

이 프로그램은 전자 빔의 가속전압을 볼트 단위로 입력하도록 아래 프롬프트에 의해 요구한다.

Beam accelerating voltage in V:

1에서 10000 사이의 숫자를 입력하고 Enter 키 **return** 를 누르시오. 그러면 이 프로그램은 초기 진입 (launch) 좌표를 묻는데, 아래 프롬프트와 함께 전자빔의 x-좌표 x_i 로부터 시작하여 cm 단위로 입력한다.

x-coordinate of the electron beam in cm:

-20에서 20 사이의 숫자를 입력하고 Enter 키 **return** 를 누르시오. 최종적으로 프로그램은 y-좌표 y_i 를 cm 로 입력할 것을 다음과 같이 프롬프트에 의해 요구할 것이다.

y-coordinate of the electron beam in cm:

-20에서 20 사이의 숫자를 입력하고 Enter 키 **return** 를 누르시오. 만약 이 세가지 입력에 대해 잘못된 숫자를 넣는다면, 프로그램은 다음과 같이 부당한 입력이라는 표시를 프롬프트로 보여줄 것이다.

Invalid entry.

그런 다음, 허용된 범위를 상기시키면서 새로운 값을 입력하도록 프롬프트에 의해 요구할 것이다.

세가지 숫자가 제대로 입력된다면 전자빔이 매개변수 (파라미터) (x, y, V) 로 진입 (launch) 되었다고 아래와 같은 출력을 프로그램이 보여줄 것이다.

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

그리고 프로그램은 당신이 입력할 숫자들을 다시 보여주고, 다음에 전자가 (x, y) 에서 검출되었다고 아래와 같은 출력을 보여줄 것이다.

Electron detected at $(x, y) =$

또한, 검출된 전자의 스크린상 위치를 제공할 것이다. 그러나 전자가 스크린의 유한한 크기를 벗어난다면, 전자가 검출되지 않았다는 것을 다음과 같은 출력을 통해 알게 된다.

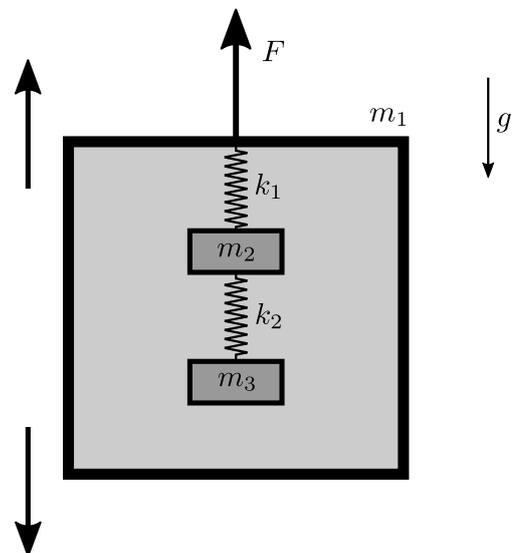
Electron not detected...

그런 다음, 당신이 초기 값의 새로운 세트를 입력하도록 허용하면서 이 프로그램은 다시 반복된다.

2 검은상자 (black-box)

2.1 개요

그림과 같이 질량이 m_1 인 견고한 상자 내부에 질량이 m_2 인 물체와 m_3 인 물체가 용수철 상수가 각각 k_1, k_2 인 용수철에 연결되어 매달려 있다. 각 물체는 속도에 의존하는 약간의 점성 저항을 받으며 움직인다. 지구 중력은 상자의 옆 면과 나란한 방향이며 중력 가속도의 크기는 $g = 9.81 m/s^2$ 이다. 용수철의 질량은 무시한다.



상자는 위 또는 아래로 가속 운동을 할 수 있는데 이때 가속도는 구간별로 일정한 값을 갖는다. 각 단계의 지속 시간 (초 단위) 과 가속도 값 (m/s^2 단위) 을 입력하여 이러한 가속 패턴을 프로그래밍 할 수 있다. 시뮬레이션은 현재 시간 값과 그 순간 주어진 가속

도를 유지하기 위해 상자에 가해주어야 하는 힘 F 를 "실시간" 으로 보여준다. 이 값들은 시뮬레이션 프로그램이 설치된 폴더에 있는 텍스트 파일로 출력된다. 모든 시뮬레이션은 물체에 대해 항상 같은 초기 구성으로 시작한다.

참고: 힘 F 의 모든 측정에는 작은 임의의 오차가 있다. 용수철은 작은 변형에 대해서는 선형이지만 큰 변형에 대해서는 비선형이다. k_1 및 k_2 값은 상자가 정지 상태 일 때 평형 근처에서 작은 변형에 대한 각 용수철의 강성으로 정의된다. 힘 F 와 가속도는 위 방향일 때 양 (+) 이다. 상자의 측면 길이는 0.6 m 이고 상자는 처음에 방 가운데 높이 3 m 인 위치에 있다. 상자가 천장이나 바닥에 닿거나 상자 안의 물체가 상자 나 다른 물체와 충돌하면 실험이 자동으로 종료된다. 그림은 실제 크기대로 그려지지 않았다.

2.2 할 일

이 실험에서 할 일은 모든 매개 변수 m_1, m_2, m_3, k_1, k_2 를 결정하는 것이다. 결과에 대해 오차 분석을 할 필요가 없다.

모든 실험과 마찬가지로 무엇을 측정하였는지 그리고 어떻게 결과를 이끌어 내었는지를 명확하게 알 수 있도록 레이블이 지정된 데이터 표, 레이블이 지정된 그래프, 충분한 수식 유도 등을 제공하여야 한다.

2.3 프로그램 인터페이스

처음에 프로그램은 일련의 입력 작업을 요청한다. 다음과 같은 가능성이 있습니다.

- 두 개의 숫자를 입력하고 **return** 을 눌러 가속 패턴에 단계를 추가한다 (예: 1.5 -0.4).
첫 번째 숫자는 초 단위의 **지속시간** (0.01 s 의 배수여야 함) 이고 두 번째 숫자는 m/s^2 단위의 **가속도** 이어야 한다 (-30 과 30 사이여야 함).
- 반복 실행을 위해 **repeat** 와 정수를 적고 **return** 을 눌러 입력한다. 예를 들면 다음과 같다. **repeat 10**
정수는 실행을 반복하는 **횟수**이다. 모든 반복 실행은 **endrepeat** 명령으로 끝나야 한다 (아래 참조).
- 반복 실행을 끝내려면 **endrepeat** 를 입력하십시오. 실험을 시작하면 **repeat** 와 **endrepeat** 사이의 모든 작업이 주어진 횟수 만큼 반복 실행된다. 반복 작업 내에서는 또 다른 반복 작업을 실행할 수 없다.
- **sample** 과 숫자를 입력하고 **return** 을 눌러 샘플링 시간을 변경하십시오. 예를 들면 다음과 같다. **sample 0.4**
숫자는 새로운 **샘플링 시간**이어야 하며, 이 때마다 새로운 모든 판독 값이 텍스트 파일에 출력된다. 샘플링 시간은 기본 샘플링 시간이기도 한 0.01 s 의 배수여야 한다.
- **begin** 을 입력하여 시퀀스를 마치고 실험을 시작하십시오.

같은 줄에 여러 작업을 작성한 다음 **return** 을 누를 수도 있다. 예를 들어,

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

와 같이 입력하면 샘플링 시간을 0.4 s 로 변경하고 상자의 가속도 값을 $a = 0.4 m/s^2$ 와 $a = -0.4 m/s^2$ 로 각각 10 번 수행한다.

잘못된 입력을 넣으면 다음 오류 메시지 중 하나가 표시되고 작업을 다시 입력 할 수 있다.

- 가속도가 범위를 벗어난 경우:
Acceleration is out of range.
- 가속 지속 시간이 범위를 벗어난 경우:
Duration is out of range.
- 샘플링 시간이 범위를 벗어난 경우:
Sampling time is out of range.

- 반복 횟수가 범위를 벗어난 경우:

Number of repeat times is out of range.

- 한 반복 실행 내에서 다른 실행을 반복하려는 경우:

Cannot repeat actions inside another repeat.

- 끝낼 반복 실행이 없을 때 반복 실행을 끝내려는 경우:

Cannot end repeat outside repeat.

- 다른 모든 경우:

Invalid entry.

begin 을 입력하면 프로그램에서 아래의 프롬프트와 함께 출력 파일 이름을 묻는다:

Enter name for output file (e.g. "results"). You should use Latin letters and numbers because some special characters are not allowed.

이름을 입력하고 **return** 을 누르시오. 이름에는 라틴 문자와 숫자 만 사용하는 것이 좋다. 파일 이름에 다른 문자가 허용될 수도, 허용되지 않을 수 있으며 파일 이름이 유효하지 않은 경우 판독 값이 저장되지 않는다. 판독 값은 프로그램이 있는 폴더에 지정된 이름을 가진.txt 파일에 저장된다.

그 다음에, 프로그램이

Begin experiment.

를 표시하고 실험을 시작한다. 프로그램은 실험 시작부터의 현재 시간 (Time (s)), 힘 F 의 측정 값 (Force (N)) 및 상자의 가속도 (Accel (m/s^2)) 를 표시한다. 판독 값이 텍스트 파일에 유사하게 표시된다.

그리고 나서 프로그램은 다음 메시지 중 하나를 표시한다.

- 실험이 성공적으로 끝나면:

Experiment ended successfully.

- 상자가 천장에 닿으면:

The box hit the ceiling. Experiment ended.

- 상자가 바닥에 닿으면:

The box hit the floor. Experiment ended.

- 상자 안의 물체들끼리 또는 상자 안의 물체와 상자가 충돌한 경우:

Masses and/or the box collided. Experiment ended.

실험이 끝난 후, 또 다른 실험을 시작할 수 있다.