

플래닛 (12점)

외계 행성에 어떻게 전혀 알지 못하는 자신을 발견했습니다. 가장 먼저 해야 할 일은 자신이 있는 행성에 대해 자세히 알아보는 것입니다. 갈릴레오가 떨어지는 공을 실험하고 이에 영감을 받아 완벽한 수직 타워를 만들었던 것을 기억하시죠.

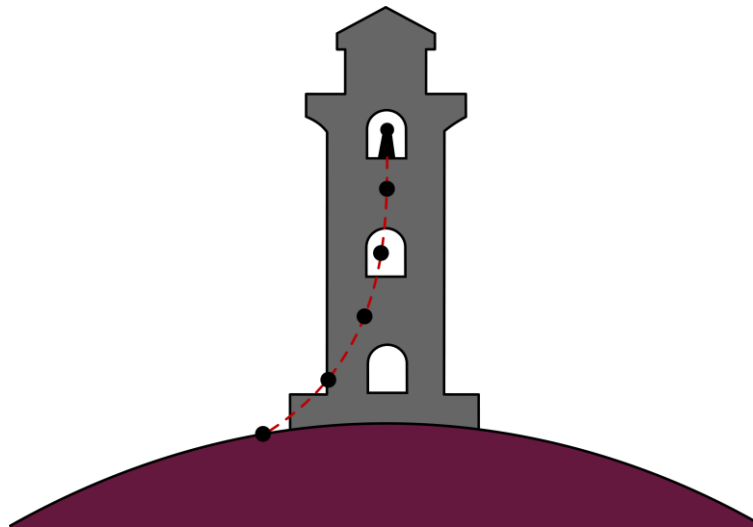
높이에서 공을 떨어뜨릴 수 있습니다(공이 떨어지기 직전의 지면과 바닥 사이에서 측정). 가능한 재료의 제한으로 인해 다음과 같은 제한이 있습니다.

반경 $5\text{cm} \leq r \leq 50\text{cm}$, 밀도 $0.1\text{g/cm}^3 \leq \rho \leq 10\text{g/cm}^3$ 의 공만 떨어뜨릴 수 있습니다.

공을 떨어뜨릴 때마다 공을 놓아두고 공이 떨어지는 시간과 공이 떨어진 지점과 공이 떨어진 지점 아래 사₁의 수평 거리를 측정할 수 있습니다.

실험을 시작하기 전에 대해 다음과 같은 관찰을 합니다:

- 태양의 움직임에 따라 현재 위치가 지구의 적도 어딘가에 있다는 것을 알 수 있습니다.
- 지구에는 대기가 있으며, 대기로 인한 부력을 무시할 수 있을 만큼 공기 밀도가 작습니다.
- 지상 온도는 $T_0 = 20^\circ\text{C}$ 입니다.
- 적도를 따라 불고 있는 바람이 타워의 높이 전체에 걸쳐 균일하게 불고 있는 것처럼 보이므로 타워가 풍속에 미치는 영향은 무시합니다.



아티스트가 문제를 과장되게 표현한 것입니다.

시뮬레이션 소프트웨어에 대한 설명

명령줄 프로그램은 공이 낙하하는 높이, 반경 및 밀도를 제공한 후 타워 바닥에서 낙하 시간과 처짐을 측정하는 시뮬레이션을 수행합니다. 입력 매개변수의 모든 값은 해당 표시된 후 키보드를 통해 입력하고 Enter 키를 눌러 유효성을 검사합니다.

시작하려면 메시지가 표시되면 다음 인증 키를 입력하세요:

Enter Valid Authorization Key: 12345678.888

잘못된 값을 입력하면 프로그램이 테스트 모드로 전환되므로 프로그램을 다시 시작해야 합니다. 프로그램의 단일 시뮬레이션 사이클의 일반적인 출력은 다음과 같습니다:

```

0 < h (m) < 2000 | h (m): 90
5 < r (cm) < 50 | r (cm): 13
0.1 < rho (g/cm^3) < 10.0 | rho (g/cm^3): 2
...
t (s) = 3.5, s (m) = 0.1
=====
0 < h (m) < 2000 | h (m):_
    
```

먼저 높이 h 를 $m(0\sim 2000)$ 사이의 숫자로 입력한 다음 공의 반지름 r ($5\sim 50$ 사이의 숫자), 마지막으로 공의 밀도 ρ $0.1\sim 10$ 사이의 숫자)를 g/cm^3 단위로 입력합니다. 각 입력은 **Enter** 키로 확인합니다. 그러면 프로그램은 t (s), s (m)을 출력합니다.

그런 다음 프로그램은 타워 쿼리의 높이로 다시 반복합니다.

실험 범위를 벗어난 값을 입력하면 오류 메시지가 표시됩니다,

Value Out Of Bounds!

을 클릭한 다음 오답 프롬프트로 돌아갑니다.

입력한 높이는 $1m, 1km, 0.01g/cm^3$ 로 반올림됩니다(더 정확한 숫자를 입력하려고 할 필요는 없습니다).

실험 결과에는 실생활에서 발생하는 제한된 정밀도를 시뮬레이션하기 위해 무작위 오차가 발생합니다. 오차의 크기는 출력의 변동을 관찰하면 알 수 있습니다.

프로그램을 종료해야 할 때는 언제든지 **Ctrl+C**를 누릅니다.

상수 및 유용한 관계 목록

중력 상수 $G = 6.67 \times 10^{-11} m^3 kg^{-1} s^{-2}$. 이상 기체 상수 $R = 8.314 J$

$mol^{(-1)} K^{(-1)}$,

$0^\circ C = 273.15 K$.

밀도 ρ_a 의 공기 중에서 단면적 A 와 속도 v 의 공기 저항은 다음과 같이 주어집니다.

$$F_d = 0.24 A \rho_a v^2.$$

단열 대기는 다음과 같은 밀도 프로파일을 갖습니다.

$$\rho_a(h) = \rho_{a0} \left(1 - \frac{\gamma - 1}{\gamma} \frac{\mu g h}{R T_0} \right)^{\frac{1}{\gamma - 1}} = \rho_{a0} \left(1 - \frac{h}{H_0} \right)^{\frac{1}{\gamma - 1}},$$

대기권 상단까지 유효합니다.
낙하 가속도 및 지상에서의 높이입니다.

$T = 0$ K. 여기서 κ 는 단열 계수, 공기의 몰 질량(즉, 행성 대기의 기체), 자유
 g h

파트 A. 행성 속성(3.0점)

A.1 적절한 집합을 만들어 지구의 자유 낙하 가속도 g 구합니다. 2.0pt
를 측정하고 제공된 공간에 적절한 그래프를 스케치합니다. 결과의 불확실성에 대한 분석을
제공하세요.

A.2 적도를 따라 타워에서 멀리 떨어져 있으면 0.5pt
 $L=230\text{km}$ 떨어진 거리까지 타워 (
당신과 탑 꼭대기). 지구의 반경 R 은 얼마인가요? 당신은
자신의 키가 타워의 높이보다 훨씬 작다고 가정합니다.

A.3 행성의 질량 M 을 추정합니다. 의 불확실성에 대한 분석을 제공하세요. 0.5pt
결과를
견적의 정확도에 가장 큰 영향을 미치는 물리적 효과는 무엇인가요?
 M ? 답안지에 해당하는 효과에 체크 표시합니다.

파트 B. 대기 속성(6.5점)

B.1 지구 표면의 풍속 u 을 적절하게 만들어서 결정합니다. 2.0pt
측정 집합을 제공하고 제공된 공간에 적절한 그래프를 스케치합니다. 결과의 불확실성에
대한 분석을 제공하세요.

B.2 다음 중 하나를 수집하여 지구 표면의 공기 밀도 $\rho(a_0)$ 를 구하십시오. 1.0pt
추가 데이터를 입력하거나 이전 데이터를 재사용하여 제공된 공간에 적절한 그래프를
스케치합니다. 결과의 불확실성에 대한 분석을 제공하세요.

B.3 대기가 단열 계수를 가진 단열성이 있다고 가정 $\gamma=1.4$, 3.0pt
대기의 두께 H_0 을 결정합니다.
를 확인하고 제공된 공간에 적절한 그래프를 스케치합니다. 결과의 불확실성에 대한 분석을
제공하세요.

B.4 공기의 몰 질량 μ 과 기압 p_0 을 구하십시오. 0.5pt
타워. 결과의 불확실성에 대한 분석을 제공하세요.

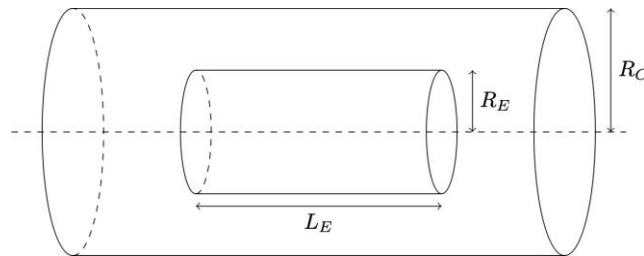
파트 C. 하루 기간(2.5점)

C.1 적절한 세트를 만들어 지구에서 하루의 지속 시간 T_p 을 결정합니다. 2.5pt
를 측정하고 제공된 공간에 적절한 그래프를 스케치합니다. 결과의 불확실성에 대한 분석을
제공하세요.

원통형 다이오드(8.0포인트)

실험 설정 및 작업

원통형 진공 다이오드는 두 개의 동축 실린더로 구성됩니다. 반경 R_E 및 길이 L_E 의 이미터가 있습니다. L_E 에서 전자를 방출하고, 이 전자는 진공을 통해 반경 R_C 이고 유효 길이가 무한한 컬렉터로 이동합니다. 컬렉터는 양전위 V 있는 반면 이미터는 접지되어 있으므로 전자는 이미터에서 컬렉터로 끌어당겨집니다.



이미터는 가열되어 전위차를 통해 컬렉터를 향해 가속할 수 있는 여분의 전자가 항상 존재하도록 합니다. 전자는 플라스마로 진공을 채웁니다. 플라스마의 특성으로 인해 다이오드를 통해 흐를 수 있는 최대 전류는 컬렉터의 전위와 시스템의 기하학적 구조에 따라 달라집니다.

이 실험에서는 측정값을 $R_C \geq 5R_E$ 로 제한해야 합니다.

$L_E R_C$ 에 비해 충분히 큰 경우 다이오드를 통과하는 최대 전류는 다음과 같다고 가정합니다.

$$I_{\infty} = G R_C^{\alpha} L_E^{\beta} V^{\gamma} \quad (1)$$

여기서 $G = G(R/R_{CE})$ 는 상수가 아니라 차원이 없는 비율 R/R_{CE} 의 함수입니다.

$L_E R_C$ 과 비슷할 때 위의 식을 수정해야 하며 다이오드를 통한 최대 전류는 다음과 같이 주어집니다.

$$I_L = I_{\infty} \Gamma(R, R_C, L_E, V) \quad (2)$$

여기서 Γ 는 R_C, R_E, L_E, V 의 일부 또는 전부의 무차원 함수입니다. 방정식 (1)은 $\Gamma = 1$ 일 때 방정식 (2)의 특수한 경우입니다.

이 실험에서는 반지름 0.1cm에서 최대 20.0cm의 원통에 0.단위로 접근하는 시뮬레이션을 수행하며, 원통의 길이는 1.0cm에서 99.0cm 사이가 될 수 있으며 역시 0.단위로 접근합니다. 수집기에 0~2000볼트의 양의 전압을 공급할 수 있는 시뮬레이션 전원 공급 장치와 다이오드를 통해 전류를 측정할 수 있는 전류계가 있습니다.

데이터 수집을 보다 효율적으로 계획하기 위해 시작하기 전에 모든 작업을 빠르게 읽어보는 것이 좋습니다.

시뮬레이션 소프트웨어에 대한 설명

Exp2라는 이름의 시뮬레이션 프로그램을 사용하면 수집기 반경 R_C , 이미터 반경 등 다양한 입력 파라미터 세트에 대해 최대 전류 I 를 무제한으로 측정할 수 있습니다.

와 길이 R_E 및 L_E , 이미터와 콜렉터 사이의 전위차 V 를 입력합니다. 입력 파라미터의 모든 값은 해당 프롬프트가 표시된 후 키보드를 통해 **입력하고 Enter** 키를 눌러 확인합니다.

시작하려면 메시지가 표시되면 다음 인증 키를 입력하세요:

Enter Valid Authorization Key: 12345678.888

잘못된 값을 입력하면 프로그램이 테스트 모드로 전환되므로 프로그램을 다시 시작해야 합니다. 프로그램의 단일 시뮬레이션 사이클의 일반적인 인터페이스는 다음과 같습니다:

```
0.1 < R_C (cm) < 20.0 | R_C (cm): 18.5
0.1 < R_E (cm) < 20.0 | R_E (cm): 13.2
0.1 < L_E (cm) < 99.0 | L_E (cm): 35.3
1.0 < V_C (V) < 2000.0 | V_C (V): 207

I (A) = 1.04
=====
0.1 < R_C (cm) < 20.0 | R_C (cm):
```

먼저 수집기 반경을 입력한 다음 이미터 반경, 이미터 길이를 각각 센티미터 단위로 입력하고 마지막으로 전위차를 볼트 단위로 입력합니다. 각 입력은 **Enter** 키로 확인합니다.

그런 다음 프로그램은 수집기 반경 쿼리로 다시 반복합니다.

실험 범위를 벗어난 값을 입력하면 오류 메시지가 표시됩니다,

Value Out Of Bounds

을 클릭한 다음 오답 프롬프트로 돌아갑니다.

모든 길이는 가장 가까운 밀리미터 단위로만 기록되고 모든 전압은 가장 가까운 볼트 단위로만 기록되므로 더 정확한 숫자를 입력해도 측정값이 향상되지는 않습니다. 그러나 모든 길이에서 **0.5mm**, 모든 전압에서 **0.5V**의 불확실성이 존재합니다. 따라서 측정을 반복하면 전류에 대해 다른 결과가 나올 수 있습니다.

전류계는 자동 범위 조정 기능이 있어 세 개의 유의미한 수치만 표시되며, 필요에 따라 암페어 또는 밀리암페어 눈금 사이를 전환합니다. 불확도는 마지막으로 표시된 숫자의 ± 1 입니다. 주의 사항
mA로 보고하든 A로 보고하든 상관없습니다.

전류계의 정격 전류가 40암페어를 초과하면 전류계가 . 프로그램이 이를 알려주고 다음 측정을 위해 전류계를 자동으로 수정합니다.

다시 시작하기 위해 프로그램을 종료해야 할 때마다 **Ctrl+C**를 누릅니다.

파트 A: 지수 찾기(4.5점)

식 (1)의 지수를 구하여 각 결과에 대한 오차 범위에 대한 분석을 제공합니다:

- A.1** 변수 V 에서 지수 γ 를 구하는 데 사용할 수 있는 데이터 집합을 수집합니다.
 V . 제공된 공간에 적절한 그래프를 스케치하세요. 편의를 위해 선형 및 로그 로그 그래프 용지가 모두 제공되지만 한 가지 그래프만 그리면 됩니다. γ 의 값을 명시하고 결과의 불확실성에 대한 분석을 제공하세요.

- A.2** 변수 L_E 에서 지수 β 를 구하는 데 사용할 수 있는 데이터 집합을 수집합니다. 1.5pt
 제공된 공간에 적절한 그래프를 스케치합니다(그래프 하나면 충분합니다).
 β 의 값을 명시하고 결과의 불확실성에 대한 분석을 제공하세요.

- A.3** 변수 R_C 에서 지수 α 를 구하는 데 사용할 수 있는 데이터 집합을 수집합니다. 1.5pt
 제공된 공간에 적절한 그래프를 스케치합니다(그래프 하나면 충분합니다).
 α 의 값을 명시하고 결과의 불확실성에 대한 분석을 제공하세요.

파트 B: 계수 G 구하기(1.0점)

$R_C=10R_E$ 일 때 G 함수의 값을 구합니다:

- B.1** 추가 데이터를 수집하거나 이전 데이터를 재사용하여 다음을 결정합니다. $R_C=1$
 $0R_E$ 의 경우 G 의 1.0pt 값을 결정하고 불확실성에 대한 분석을 제공하세요.

파트 C: 무차원 함수 F 찾기(2.5점)

방정식 (2)에서 L_E 이 크기 R_C 와 비슷할 때, R_C, R_E, L_E, V , 중 어느 것이 Γ 에 영향을 미치는지 실험적으로 결정합니다.

- C.1** 답지의 변수 목록에서 효과의 방향을 서술하세요; 예를 들어 R_C 0.5pt 증가하면 Γ 이 증가합니까, 감소합니까, 아니면 동일하게 유지됩니까?

- C.2** $L_E \approx R_C$ 에서 함수 Γ 선형으로 근사화할 수 있습니다. 단일
 변수 x 에서 x 은 R_C, R_E, L_E 의 두 개로만 구성된 함수입니다.
 V . 답안지에는 x 에 대해 몇 가지 가능한 기능 양식이 있습니다.
 가장 중요한 행동을 포착합니다.

- C.3** $L_E \approx R_C$ 값에 대해 $\Gamma(x) = A + Bx$ 형식의 선형 함수가 있다고 가정합니다. 1.5pt
 실험적으로 파라미터 B 를 결정합니다. $R_C/2 \leq L_E$ 범위로 제한합니다. $\leq 2R_C$. Γ 에 대해 적절한 그래프를 스케치합니다.
 수량 x 을 선형 함수로 대략 Γ 으로 계산합니다. 오류 분석이 필요하지 않습니다.