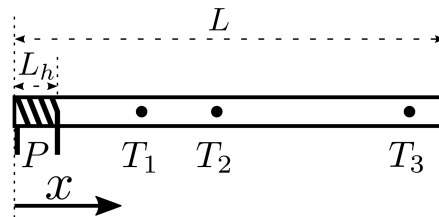


뜨거운 원통

길이 $L = 30\text{ cm}$, 반지름 $r = 1\text{ cm}$ 인 균일한 금속 막대가 어떤 미지의 금속으로 만들어져 있으며, 실온 $T_0 = 26.9^\circ\text{C} = 300\text{ K}$ 로 유지되어 있다. 이 금속 막대의 질량은 $m = 460\text{ g}$ 으로 측정되었다. 당신의 과제는 이 미지 금속의 열적 성질을 결정하는 것이다. 금속 막대는 한쪽 끝에서 가열할 수 있으며, 막대 위의 사용자가 지정한 위치들에서 온도 측정을 수행할 수 있다. 가열기는 $x = 0$ 과 $x = L_h = 3\text{ cm}$ 사이에 위치한다 (그림 참조). 가열기는 (와트 단위의) 고정된 출력과 가열을 켜 두는 시간 (초 단위) 을 지정하여 프로그램할 수 있다. 온도 측정은 막대를 따라 최대 다섯 개의 센서 위치를 지정하고, 측정 주기, 측정 시작 시각, 측정 종료 시각을 함께 지정함으로써 이루어진다. 시뮬레이션은 온도 측정값을 가속된 "실시간" 으로 보여 준다 (현실 세계보다 약 10 배 빠르게 진행됨).



가열 출력은 모두 막대로 들어간다고 가정할 수 있으며, 막대는 공기와의 열전달 및 흑체복사에 의해 주변으로 열을 잃는다고 가정할 수 있다. 공기와의 열전달은 막대의 온도에 대해 선형이며, 단위 면적당 단위 시간당 열전달량이 $\alpha(T - T_0)$ 가 되도록 하는 계수 α 로 기술될 수 있다. 공기는 충분히 환기되어 있어 α 는 막대의 표면 전체에 걸쳐 일정하고, 표면 온도와는 무관하다고 가정할 수 있다. 흑체복사에 의한 열손실은 슈테판-볼츠만 법칙을 방출률 β 로 수정하여 기술할 수 있으며, 단위 면적당 단위 시간당 복사에 의한 열손실이 $\beta\sigma(T^4 - T_0^4)$ 가 된다. 여기서 $\sigma = 5.67 \times 10^{-8}\text{ W}/(\text{m}^2\text{ K}^4)$ 이다. α 와 마찬가지로 방출률도 막대 전체에 걸쳐 일정하고, 온도와 무관하다고 가정할 수 있다. 또한 막대는 열전도율 k (즉, x 방향 열유속 밀도가 $-k dT/dx$ 가 되도록 하는 상수) 와 비열 c 로 특징지어진다.

프로그램 인터페이스

rod 라는 이름의 시뮬레이션 프로그램을 실행하면, 막대에 대해 여러 실험을 수행할 수 있다. 프로그램은 실험 설정에 관한 일련의 프롬프트를 제시한다. 각 프롬프트에 대해 해당 값을 입력한 뒤 **return** 을 눌러 다음 프롬프트로 넘어간다. 프롬프트는 다음과 같다:

- 가열기의 가열 출력:
Enter P (W), between 0 and 300:
- 실험 시작 후 가열기가 켜져 있는 지속 시간 (이 시간이 지나면 가열기는 꺼진다):
Enter heating duration (s), between 0 and 3600s:
- 막대에서 온도 측정을 수행할 (실험 시작 이후의) 시작 및 종료 시각:
Enter the starting and finishing time for the measurements (s), separated by a space.
Must be between 0 and 3600s:
- 온도 센서로 이루어지는 연속 두 측정 사이의 시간 간격:
Enter dt (s), between 5 and 3600s and a multiple of 5s:
- 막대를 따라 온도 센서의 위치. 좌표는 가열기가 있는 끝을 기준으로 하여 지정한다. 아무 숫자도 입력하지 않으면, 단순히 온도 측정을 하지 않는다는 뜻이다:
Enter up to 5 locations for the sensors (in cm), between L=0 and L=30cm, separated by spaces:
- 온도 측정값의 출력 파일 이름. 저장된 모든 측정값은 화면에도 표시된다. 이름에는 라틴 문자와 숫자만 사용하는 것이 권장된다. 다른 문자는 파일명에 허용될 수도 있고 허용되지 않을 수도 있으며, 파일명이 유효하지 않으면 측정값은 저장되지 않는다. 측정값은 프로그램과 같은 폴더에, 주어진 이름을 가진 .txt 파일로 저장된다:
Enter the output file name:

유효하지 않은 입력을 하면, 설명이 포함된 오류 메시지가 출력되고 입력을 다시 할 기회가 주어진다.

그 다음 프로그램은 **return** 을 눌러 실험을 시작하라고 안내하며, 또는 **restart** 를 입력하고 **return** 을 눌러 모든 실험 매개변수를 다시 입력할 수도 있다. 시뮬레이션을 계속 진행하면, 프로그램은 실험 설정의 요약을 표시한 뒤, 가열기가 켜진 이후 경과한 시간 $t(s)$ 을 출력하고, 프롬프트에서 입력한 순서대로 모든 센서의 측정값을 $T_i(C)$ 의 형태로 출력한다 (여기서 i 는 i 번째 센서에 대응한다).

시뮬레이션이 끝난 뒤에는, **restart** 를 입력하고 **return** 을 눌러 새로운 실험을 시작할 수 있다.

- 2.a** 미지 금속의 비열 c (단위 $J/(K\ kg)$), 열전도율 k (단위 $W/(m\ K)$), 그리고 열손실 계수 α (단위 $W/(m^2\ K)$) 및 β (무차원) 를 결정하여라. 참값의 10% 이내의 값들을 목표로 하라. 이는 센서 위치를 정의할 때의 가우시안 변동, 온도 측정 과정에서의 변동 등 여러 오차 요인이 존재하기 때문이다. 오차의 크기는 출력에서의 변동을 관찰함으로써 알 수 있다. 10 pt

다른 모든 실험과 마찬가지로, 명확히 레이블링된 데이터 표, 명확히 레이블링된 그래프, 그리고 당신이 무엇을 측정했으며 어떻게 결과를 도출했는지를 분명히 보여 주는 충분한 공식 및 유도 과정을 제시해야 한다.