실험 문제

이 실험 문제는 서로 이어진 두 부분으로 이루어진다.

파트 1
45°C–65°C 온도 범위에서 알루미늄의 비열 재기 (10점)

이 부분에서는 다음 장비**만** 쓸 수 있다.



1. 온도계를 꽂는 구멍이 뚫린 뚜껑이 있는 플라스틱 컵;
2. 정확도 0.1°C인 디지털 온도계. 위 표시창에는 **센서 (10)**의 온도가, 아래 표시창에는 방의 온도가 나타난다. max/min 단추를 누르지 마시오. max/min 단추를 누르면 읽음이 현재값, 최댓값, 최솟값 사이에서 바뀐다. 물의 온도가 70°C를 넘으면 온도계는 범위를 벗어났다는 뜻으로 “H”를 보여 준다. **경고: 액체 질소의 온도를 재는 데 온도계를 쓰지 마시오! 온도계는 파트 1에서만 쓸 수 있다.**
3. 구멍이 뚫린 알루미늄 원기둥;
4. 정확도 1 g인 전자저울. 저울이 평평한 면에 놓였는지 확인하시오. Tare/Zero 단추는 켜기/끄기 단추이자 저울의 영점을 맞추는 단추이다. 다른 단추는 누르지 마시오. 주: 저울은 얼마쯤 지나면 저절로 꺼지므로, 다시 켜고 영점을 다시 맞추어야 한다. 저울이 저절로 꺼지지 않도록 약 50초마다 저울 윗면을

누르시오.

5. 디지털 타이머. 왼쪽 단추를 누르면 시계 모드에서 스톱워치 모드로 바뀐다. 스톱워치 모드에서 가운데 단추는 정지/시작, 오른쪽 단추는 초기화 단추이다.
6. 뜨거운 물이 든 보온병;
7. 쓴 물을 담는 병;
8. 모눈종이(2장);
9. 실 몇 가닥.

알루미늄 비열의 측정 결과는 실험 문제의 파트 2에서 쓴다.

알루미늄의 비열은 다음 두 실험 곡선을 비교해 구해야 한다.
1) 알루미늄 원기둥 없이 플라스틱 컵 속 뜨거운 물이 식는 곡선(첫째 실험);
2) 알루미늄 원기둥을 담근 플라스틱 컵 속 뜨거운 물이 식는 곡선(둘째 실험);

물의 비열은 $c_w = 4.20\ kJ/(kg\ K)$로 주어진다.

물의 밀도 $\rho_w = 1.00 \cdot 10^3\ \mathrm{kg/m^3}$.

알루미늄의 밀도 $\rho_{Al} = 2.70 \cdot 10^3\ \mathrm{kg/m^3}$.

<u>경고</u>: 뜨거운 물을 매우 조심하시오. 온도 T>50°C인 물에 데일 수 있음을 기억하시오. 이 파트에서는 액체 질소를 쓰지 마시오!

과제

1a) **[1점]** 실험으로 잰 양들, 곧 첫째 실험의 뜨거운 물의 질량 m_1, 둘째 실험의 뜨거운 물의 질량 m_2, 알루미늄 원기둥의 질량 m, 그리고 열용량의 비 $K = C_1/C_2$로 알루미늄의 비열 c_{Al}을 나타내는 식을 이론적으로 유도하시오. 여기서 C_1은 첫째 실험에서 물의 열용량이고, C_2는 둘째 실험에서 물과 알루미늄 원기둥을 합친 열용량이다.

1b)와 1c)에서는 K를 구하는 측정을 한다. 1b)와 1c)는 뚜껑을 닫고 해야 한다. 이때 컵 내용물과 주위의 열교환은 둘의 온도 차에 선형으로 의존한다고 가정하시오. 선형 계수는 컵 속 물의 높이에만 의존한다.

1c)에서 알루미늄 원기둥이 물에 완전히 잠기도록 하시오. 컵의 열용량은 무시해도 된다.

1b) **[1.5점]** 첫째 실험을 하시오. 곧 45°C에서 65°C의 온도 범위에서 물의 온도 T_1과 시간 t의 관계를 조사하시오. 측정값의 표를 제출하시오. m_1의 값을 답안지에 적으시오.

1c) **[1.5점]** 둘째 실험을 하시오. 곧 45°C에서 65°C의 온도 범위에서 알루미늄 원기둥이 든 물의 온도 T_2와 시간 t의 관계를 조사하시오. 측정값의 표를 제출하시오. m_2와 m의 값을 답안지에 적으시오.

1d) **[4점]** 그래프를 써서 열용량의 비 $K = C_1/C_2$와 그 불확도 ΔK를 구하시오. K와 ΔK의 값을 답안지에 적으시오.

1e) **[2점]** c_{Al}의 수치를 구하고 측정의 불확도 Δc_{Al}을 어림하시오. c_{Al}과 Δc_{Al}의 값을 답안지에 적으시오.

파트 2

액체 질소의 기화 숨은열 재기
(10점)

이 부분에서는 다음 장비를 쓸 수 있다.



1. 뚜껑이 있는 스티로폼 컵;
2. 액체 질소가 든 보온병;
3. 구멍이 뚫린 알루미늄 원기둥(파트 1의 품목 3);
4. 정확도 1 g인 전자저울(파트 1의 품목 4);
5. 디지털 타이머(파트 1의 품목 5);
6. 모눈종이(2장);
7. 실 몇 가닥.

물의 기화 숨은열은 잘 알려져 있지만, 주요 대기 기체 가운데 하나인 질소를 액체 상태로 다룰 일은 드물다. 정상 대기압에서 액체 질소의 끓는점은 매우 낮아 $T_N = 77\ \mathrm{K} = -196^\circ\mathrm{C}$이다.

이 실험에서는 질소의 기화 숨은열을 재야 한다. 주위와의 열교환 때문에 스티로폼 컵 속 질소는 증발하며 그 질량은 어떤 빠르기로 줄어든다. 처음에 실온인 알루미늄 원기둥을 질소에 담그면, 알루미늄 시료의 온도가 액체 질소의 온도에 이를 때까지 질소가 격렬하게 끓는다. 마지막에 기화된 질소가 컵에서 짧게 뿜어 나오는 것은 알루미늄이 다 식었다는 표시이다. 이 뿜어 나옴은 알루미늄과 질소 사이의 증기층이 사라지기 때문에 생긴다. 알루미늄이 질소의 온도에 이른 뒤에도 질소의 증발은 계속된다.

넓은 온도 범위를 생각하면 알루미늄의 비열 c_{Al}이 절대 온도에 의존함을 볼 수 있다. 임의 단위로 나타낸

알루미늄의 비열을 온도에 대해 그린 그래프가 그림 1에 있다. 파트 1에서 45°C–65°C 온도 범위에서 잰 비열 결과를 써서 이 곡선을 절대 단위로 규격화하시오.

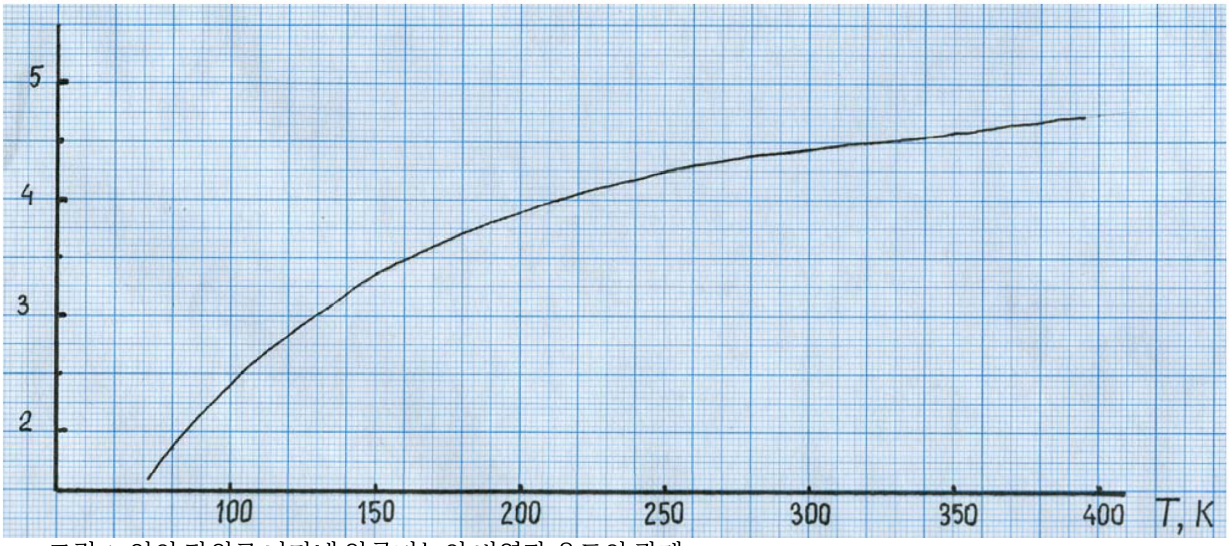


그림 1. 임의 단위로 나타낸 알루미늄의 비열과 온도의 관계.

경고:

1) **액체 질소의 온도는 $T_N = -196°C$이다. 동상을 입지 않도록 질소나 질소에 닿았던 물건을 만지지 마시오. 장신구, 손목시계 같은 금속 소지품은 멀리 두시오.**
2) **질소에 관계없는 물건을 넣지 마시오;**
3) **뿜어 나오거나 쏟아지지 않도록 알루미늄 원기둥을 액체 질소에 넣을 때 조심하시오.**

과제

2a) **[3점]** 뚜껑을 닫은 스티로폼 컵 속 질소의 증발률을 재고, 알루미늄 원기둥이 식는 동안 증발한 질소의 질량을 재시오(알루미늄 원기둥은 컵의 구멍으로 넣는다).

다음과 같이 하시오. 스티로폼 컵을 저울 위에 놓고 액체 질소를 약 250 g 부은 다음, 약 5분 기다렸다가 측정을 시작하시오. 질소가 얼마쯤 증발한 뒤 알루미늄 원기둥을 컵에 담그면 격렬하게 끓는다. 알루미늄 원기둥이 질소의 온도까지 식으면 증발이 잦아든다. 이 상태에서 질소가 더 증발할 때까지 약 5분 동안 측정을 계속해야 한다. 전 과정 동안 저울의 읽음 $M(t)$를 시간의 함수로 기록하시오.

액체 질소에 담근 뒤에는 어떤 경우에도
알루미늄 원기둥을 만지지 마시오.

보고서에 $M(t)$와 $m_N(t)$의 표를 제출하시오. 여기서 $m_N(t)$는 증발한 질소의 질량이다.

2b) **[1점]** 2a)에서 잰 $M(t)$의 결과를 써서, 증발한 질소의 질량 m_N을 시간 t에 대해 그리시오. 그래프는 과정의 세 단계, 곧 알루미늄을 담그기 전과 후의 잔잔한 기간, 그리고 질소의 격렬한 끓음을 모두 보여 주어야 한다.

2c) **[3.0점]** 알루미늄 원기둥이 실온에서 액체 질소의 온도까지 식는 동안 알루미늄 원기둥과의 열교환만으로 증발한 질소의 질량 m_N^{Al}을 그래프에서 구하시오. 그러려면 알루미늄이 식기 전, 식는 동안, 식은 뒤에 컵을 통한 주위와의 열교환을 고려해야 한다. m_N^{Al}의 값과 그 불확도 Δm_N^{Al}을 답안지에 적으시오.

2d) **[0.5점]** 45°C–65°C 온도 범위에서 잰 알루미늄 비열의 결과(파트 1)를 써서, 알루미늄의 비열과 온도의 관계 그래프를 임의 단위에서 절대 단위로 규격화하시오. 임의 단위를 절대 단위로 바꾸는 계수 β의 값을 답안지에 적으시오:

$$c_{Al}(J/(kg \cdot K)) = \beta \cdot c_{Al}(arb.\ units)$$

2e) **[2.5점]** 알루미늄 원기둥이 식어서 증발한 질소의 질량 측정 결과와, 규격화한 비열-온도 관계 그래프를 써서 질소의 기화 숨은열 λ를 구하시오. λ의 값과 그 불확도 $\Delta\lambda$를 답안지에 적으시오.

행운을 빈다!