COVER

제2회 걸프 물리 올림피아드 — 실험 경연

사우디아라비아 리야드 — 2017년 4월 3일 월요일

- 시험 시간은 5시간이다. 문제는 1개이며 모두 합쳐 20점이다.
- 처음에 책상 위의 실험 장비는 덮여 있다. **시작 신호가 울리기 전에는 덮개를 벗기거나 문제가 든 봉투를 열어서는 안 된다.**
- **허락 없이 자리를 떠나서는 안 된다.** 도움이 필요하면(**장비 고장**, 계산기 고장, 화장실 이용 등) 진행 요원이 올 때까지 손을 들고 있으시오.
- 종이는 앞면만 쓰시오.
- 문제마다 **전용 풀이지**가 있다(번호와 그림 기호는 머리말을 볼 것). 풀이는 해당 풀이지에 쓰시오. 문제별 풀이지에는 번호가 매겨져 있으니 번호 순서대로 쓰시오. **어느 문제의 어느 부분과 질문을 풀고 있는지 항상 표시하시오.** 최종 답은 **답안지**의 해당 칸에 옮겨 적으시오. **연습지**도 있으니 채점받고 싶지 않은 내용은 연습지에 쓰시오. 풀이지에 채점받고 싶지 않은 내용(처음 시도나 틀린 풀이 등)을 썼다면 줄을 그어 지우시오.
- 어떤 문제에 종이가 더 필요하면 손을 들고 진행 요원에게 문제 번호를 말하시오. 풀이지 두 장을 받는다(여러 번 요청해도 된다).
- **불확도는 문제에서 특별히 요구한 경우에만 추정하면 된다.**
- **글은 가능한 한 적게 쓰시오:** 풀이는 주로 식, 수, 기호, 그림으로 설명하시오. 어떤 곳에서는 글로 설명할 수밖에 없을 수도 있다.
- **시험 종료 신호가 울리면 즉시 쓰기를 멈추어야 한다.** 모든 종이를 책상 위의 봉투에 넣으시오. **어떤 종이도 시험장 밖으로 가지고 나가서는 안 된다.** 종료 신호 전에 다 풀었으면 손을 드시오.

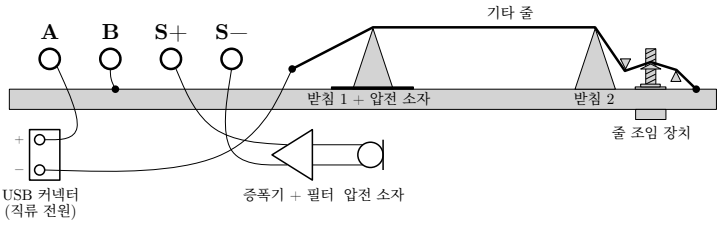
문제 E1. 일렉트릭 기타 *(20점)*

이 실험에서는 강철 기타 줄 재료의 여러 물리적 성질을 측정한다. 강철의 성질은 정확한 합금 조성과 처리에 따라 크게 달라진다. 이 기타 줄은 높은 인장 강도를 얻기 위해 특별히 템퍼링한 고탄소강("피아노선"이라고도 한다)으로 만들었다.

먼저 줄 재료의 비저항과 영률을 측정한다. 그다음 그 성질들을 이용해 강철의 열팽창 계수를 측정한다. 측정해 보면 알 수 있듯이, 온도는 악기의 음높이에 큰 영향을 줄 수 있다.

장비

스탠드(기타 줄, 압전 접촉 마이크, 증폭기 포함), 5 V 직류 전원, 테스트 도선(여러 종류로 모두 9개), 멀티미터 2개, 저항 한 벌(값: 0.1 Ω, 1 Ω, 3 Ω, 10 Ω, 30 Ω, 100 Ω, 1000 Ω; 값은 정확하지 않다), 줄자.



스탠드에는 두 개의 주 받침(기타 용어로 "새들") 위에 기타 줄이 걸려 있고, 그 뒤에 줄을 더 당기는 간단한 줄 조임 장치가 있다. 당긴 정도는 조임 나사를 돌린 횟수로 알 수 있다. 첫 번째 받침은 압전 접촉 마이크에 붙어 있어서 역학적 진동을 전기 신호로 바꾸며, 이 신호는 증폭되고 (잡음을 줄이기 위해) 걸러져 **S**+와 **S**− 사이로 출력된다. 단자 **A**와 **B**를 직접 또는 저항을 거쳐 연결하면 줄에 조절할 수 있는 전류를 흘릴 수 있다. 줄의 한쪽 끝은 스탠드 몸체(및 단자 **B**)와 전기적으로 연결되어 있고, 다른 쪽 끝은 0 V에 연결되어 있다. **테스트 도선을 스탠드 몸체나 줄에 직접 연결해도 된다.**

작은 멀티미터로 **S**+와 **S**−에서 줄 진동의 진동수를 잴 수 있다. 이때 USB 전원이 연결되어 있는지 확인하시오. 줄을 충분히 세게 튕겨 소리가 뚜렷이 들리게 하고, 값이 안정된 뒤에 읽으시오(줄을 튕긴 직후에는 멀티미터가 고조파의 진동수를 보여 줄 수 있다). 진동의 진폭이 너무 작아져 멀티미터가 감지하지 못하면 마지막 값도 정확하지 않을 수 있음을 명심하시오.

잘못된 값을 걸러 내도록 여러 번 시도하시오. 올바른 값은 150 Hz에서 400 Hz 사이이다. 측정은 300 Hz...400 Hz 범위에서 가장 쉬우므로, 먼저 줄을 당긴 뒤 측정하면서 장력을 줄여 가는 것이 좋다.

경고:

- **줄의 기본 진동수가 400 Hz를 넘을 만큼 세게 당기지 마시오. 줄이 손상되어 측정을 망칠 수 있다!**
- **200 mA보다 큰 전류를 잴 때는 멀티미터의 10 A 단자를 쓰시오.**

상수

- 조임 나사의 나사산 간격은 $h_1 = 0.70\,\mathrm{mm}$이다(손잡이를 360° 돌리면 줄 조임 장치가 h_1만큼 올라간다). 줄의 단면은 원이라고 가정하시오.
- 가열할 때 줄의 비저항의 상대 변화는 $\beta = 0.0020\,\mathrm{K}^{-1}$이다.
- 실온에서 줄의 선밀도는 $\Lambda = 0.247\,\mathrm{g/m}$이다.

이 절에 주어진 상수는 모두 정확하다고 가정해도 된다.

정확도

줄자의 정확도는 $\pm 0.5\,\mathrm{mm}$이다. 직류 전압계 모드에서 멀티미터의 내부 저항은 AX-100이 1 MΩ, AX-MS811이 11 MΩ이다. 디지털 멀티미터의 정확도(최대 허용 오차)는 보통 "a%+b" 꼴로 주어지는데, 이는 측정값의 a퍼센트에 마지막 자릿수의 b단위를 더한 것이다. 이 실험에 필요한 값은 다음과 같다.

범위	**AX-100의 정확도**
200 mV...200 V DC	0.5% + 4
600 V DC	1.0% + 5
20 μA...200 mA	1.5% + 3
10 A	2.0% + 5
200 Ω	0.8% + 5
2 kΩ...200 kΩ	0.8% + 3
20 MΩ	1.0% + 15
범위	**AX-MS811의 정확도**
직류 전압	0.7% + 3
저항	2.0% + 5
진동수	2.0% + 5

과제

A 부분. 줄의 치수 *(2점)* 줄에서 장력을 받는 부분의 길이 l_1을 측정하시오. 그 불확도를 추정하시오. 가장 덜 당긴 상태에서 줄은 조임 장치 위에서 휘지 않는다고 가정하고, 줄 받침은 충분히 작아서 그 곡률에 의한 오차는 무시해도 된다고 가정해도 된다.

아래는 100배 확대한 줄의 사진이다. 사진에서 줄의 지름 d를 측정하시오. 그 불확도를 추정하시오.

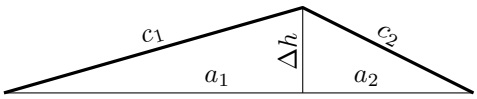


B 부분. 비저항 *(3점)* 원통형 물체 양 끝 사이의 전기 저항은 비저항 $\rho = RA/l$로 나타낸다. 여기서 R는 저항, A는 단면적, l은 길이이다.

실온에서 줄의 비저항 ρ를 가능한 한 정확하게 측정하시오. 불확도를 추정하시오. 사용한 회로도를 그리고, 사용한 모든 도선의 정확한 위치, 사용한 멀티미터와 그 설정을 표시하시오.

C 부분. 줄의 진동 *(3점)* 기타 줄은 기본 진동수, 즉 자유 진동의 가장 낮은 진동수로 특징지어진다. 줄의 기본 진동수 f가 길이 l에 따라 어떻게 달라지는지 측정하고 그래프로 그리시오.

길이를 구할 때는 다음 근사를 써도 된다:



$$\Delta l = c_1 + c_2 - a_1 - a_2 \approx \frac{(a_1 + a_2)(\Delta h)^2}{2a_1 a_2},$$

여기서 길이들은 그림에 정의되어 있다.

D 부분. 줄의 영률 *(4.5점)* 원통형 물체의 탄성은 영률 $E = Fl_0/(A(l - l_0))$로 나타낼 수 있다. 여기서 F는 가한 장력(또는 압축력), A는 단면적, l_0은 원래(늘어나지 않은) 길이, l은 나중(늘어난) 길이이다. 줄을 따라 파동이 속력 $v = \sqrt{F/\Lambda}$로 진행한다는 것은 잘 알려져 있다. 여기서 F는 장력, Λ는 줄의 선밀도(단위 길이당 질량)이다. (줄의 진동은 정상파임에 유의하라.)

앞 과제의 결과를 이용해 줄의 영률을 구하기에 알맞은 그래프를 그리시오. 영률을 구하고 불확도를 추정하시오.

E 부분. 가열한 줄 *(3점)* 줄에 전류를 흘려(A와 B를 직접 또는 저항을 거쳐 연결) 줄을 가열할 수 있다. 어떤 고정된 길이에서, 기본 진동수 f가 온도 T에 따라 어떻게 달라지는지 측정하고 그래프로 그리시오. 힌트: 온도는 줄의 저항을 재고 $\beta = 0.0020\,\mathrm{K}^{-1}$을 이용하면 구할 수 있다. 실온은 $T_0 = 293\,\mathrm{K}$로 쓰시오.

F 부분. 줄의 열팽창 *(4.5점)* 물체를 가열하면 길이(그리고 마찬가지로 폭)는 $l = l_0[1 + \alpha(T - T_0)]$를 따른다. 여기서 상수 α는 선팽창 계수, l_0은 원래 길이, T_0은 원래 온도, l은 나중 길이, T는 나중 온도이다. 늘어남도 함께 일어나면 이 식은 늘어나지 않은 길이만 기술한다는 점에 유의하라!

앞 과제의 결과를 알맞은 축에 그려 기타 줄의 선팽창 계수 α를 구하시오. 그 값을 구하고 불확도를 추정하시오.