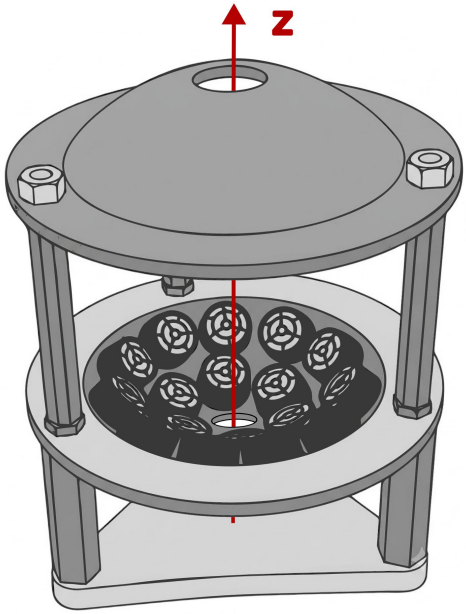
음향 부양 (20점)

음향 부양기는 전기 신호를 강한 음파로 바꾸는 변환기들로 이루어져 있다. 그 결과 생기는 간섭 무늬의 음압으로 작은 물체를 무늬의 마디 근처에 띄울 수 있다.

경고: 부양기 위쪽과 아래쪽의 연결부를 단락시키지 마시오.

이 시험의 과제 E1-E7은 서로의 결과와 무관하도록 만들어졌다. 어려운 과제는 건너뛰어도 된다.

다음 과제들에서는 z축 위의 마디만 고려하시오. 과제 E3부터는 가장 가운데에 있는 마디만 쓰시오. 전기 상자(F)의 Mode X 스위치(그림 1 참고)는 O 위치에 있어야 한다.



과제 E1: 음장 탐색 (1.0점)

음장에 익숙해지도록, 초록색 LED(A)와 변환기(B)로 국소 음향 세기에 따라 빛을 내는 도구를 만드시오. 변환기는 가해진 기계적 압력에 따라 전하가 달라지는 축전기이다.

a) 도구의 회로도를 그리시오. (0.5점)

b) 도구를 써서 부양기 중심의 z축 위에서 이웃한 두 배(antinode) 사이의 거리를 대략 구하시오. (0.5점)

과제 E2: 음향 부양기의 특성 (4.0점)

다음에서 작은 고체 물체를 띄우려면, 연결된 전원 공급 장치의 전압을 처음에 높게, 예를 들어 17 V로 놓을 수 있다. 물체는 핀셋으로 마디에 놓을 수 있다. 공기의 난류 때문에 부양된 물체가 수평으로 진동할 수 있으니, 자리를 잡을 때까지 잠시 기다리시오. 작은 진동은 측정 결과에 해롭지 않다.

a) 변환기의 진동수를 가능한 한 정밀하게 구하는 장치를 설계하고, 그리고, 사용하시오. 공기 중 소리의 속력은 $v \approx 340\,\mathrm{m/s}$이다. (2.0점)

b) 전기 상자(F)의 *Mode X*를 **I** 위치로 바꾸어, 부양기 위쪽 절반의 변환기에 아래쪽보다 약간 다른 진동수 $(f + \Delta f)$가 공급되는 다른 작동 모드로 바꾸시오. 이 모드에서 부양된 물체의 달라진 거동을 기술하고, 진동수 차 Δf와 그 부호를 구하시오. (2.0점)

시험의 나머지 동안에는 *Mode X* 스위치를 O 위치로 돌려놓는 것을 잊지 마시오.

과제 E3: 고체 구슬의 밀도 (3.0점)

부양된 물체는 중력 때문에 마디보다 약간 아래에 자리한다. 부양된 물체에 작용하는 음향 복원력 $\vec{F}$는 P^2에 비례한다. 여기서 $P \propto U$는 배에서의 음압 진폭이고, U는 전원 공급 장치의 전압이다.

미지의 구슬(O)의 밀도를 실험으로 가능한 한 정밀하게 구하시오. 유리 구슬(P)의 밀도는 $\rho_{\mathrm{glass}} = 2500\,\mathrm{kg/m^3}$이다. 이 구형 구슬들(O, P)은 크기가 같다. (3.0점)

힌트: 방법에 따라, 구형 물체와 마디로부터의 작은 변위 $\Delta\vec{z}$에 대해 다음 근사를 쓸 수 있다:

$$\vec{F} = -f(R)P^2\Delta\vec{z} \tag{1}$$

여기서 $f(R)$은 부양된 물체의 반지름 R의 미지 함수이다.

과제 E4: 증발 (3.0점)

나머지 과제들에서는 액체를 띄우며, 액체는 마디에서 작은 방울이 된다. 바늘*(S)*을 끼운 주사기*(R)*로 부양기에 방울을 놓으시오. 서로 섞이지 않도록 액체마다 다른 주사기를 쓰시오. 대부분의 방울 크기에 좋은 시작 전압은 *8–12 V*이다. 전압이 더 높으면 방울이 터질 수 있다.

경고: 전자 부품과 변환기에 액체를 흘리지 마시오. 부양기 바닥의 금속망(L)은 그대로 두고, 젖으면 꺼내어 말리시오. 변환기가 오작동하는 것 같으면 HELP 표지를 드시오.

부양된 방울의 정확한 모양은 복잡할 수 있다. 적당히 변형된 방울은 반축이 a, b, c인 타원체로 근사할 수 있으며, 그 부피는 다음과 같다:

$$V = \frac{4\pi}{3}abc \tag{2}$$

이 과제에서는 부양기 안 액체 방울의 증발을 연구한다. 등가 지름 $D \gtrsim 1.5\,\mathrm{mm}$인 방울의 증발은 다음과 같이 간단히 기술된다:

$$\frac{d(D^2)}{dt} = -\gamma \tag{3}$$

여기서 D는 방울의 등가 지름, 즉 실제 방울과 부피 V가 같은 구의 지름이고, γ는 증발 상수이다.

이 과제에서는 액체 I만 고려하고 전압을 일정하게 유지하시오.

a) 등가 지름이 $D \gtrsim 1.5\,\mathrm{mm}$인 방울에 대해 증발 상수 γ를 $\mathrm{m^2/s}$ 단위로 구하시오. (2.5점)

b) a)의 결과를 쓰면, 방울이 완전히 증발하는 데 걸리는 시간을 과대평가하게 되는가, 과소평가하게 되는가? (0.5점)

과제 E5: 표면 장력 (2.5점)

방울의 모양은 부피 V와 비 P^2/σ에만 의존한다. 여기서 σ는 액체의 표면 장력이다.

a) 액체 I과 II 가운데 어느 것의 표면 장력이 더 작은지 알아보는 측정을 하시오. (0.5점)

b) 액체 II의 표면 장력이 $0.073\,\mathrm{N/m}$일 때, 액체 I의 표면 장력을 실험으로 구하시오. (2.0점)

과제 E6: 폭발 (4.0점)

음압이 너무 높으면 부양된 방울이 터진다. 방울이 터지기 전에 가할 수 있는 최대 전압의 이론식은 다음과 같다:

$$U_{\max} = \sqrt{\frac{\alpha}{D} + \beta} \tag{4}$$

여기서 α와 β는 상수이다.

이 과제에서는 액체 II만 고려하시오.

a) 상수 α와 β를 각각 $\mathrm{V^2{\cdot}mm}$와 $\mathrm{V^2}$ 단위로 구하시오. (2.0점)

b) 부양할 수 있는 방울의 최대 지름을 추정하시오. (2.0점)

과제 E7: 신비한 선 (2.5점)

부양된 방울이 꽤 납작해지면, 방울을 지나는 빨간 LED의 빛이 뒤쪽 스크린에 뚜렷한 가로선을 만드는 부양기 전압을 찾을 수 있다.

이 과제에서는 액체 III만 고려하시오.

선이 나타날 때 방울 안에서 광선이 어떻게 진행하는지 그리시오. 위에서 설명한 선 현상을 이용해 액체 III의 굴절률 n을 추정하시오. (2.5점)

힌트: 선이 보이려면 LED가 방울과 잘 정렬되어야 한다. 그림 2를 보시오.

과제 E8: 고의 손상 감점 (-0.5점)

대회가 끝난 뒤 모든 장비와 포장재는 작동하는 상태로 책상 위에 두어야 한다. 부주의한 취급으로 부품이나 포장재가 망가지거나 빨간 글씨의 경고를 따르지 않으면 감점한다. (-0.5점)

장비

A. 초록색 발광 다이오드(LED) 2개. LED를 전원 공급 장치(G)에 연결하지 마시오.

B. 개별 변환기.

C. 부양기 모듈과 빨간 LED가 달린 금속 틀. 빨간 LED는 점광원으로 모형화할 수 있다.

D. 떨어지는 물체를 받는 받이.

E. 장치를 조립하고 정렬하는 육각 렌치 2개.

F. *LED* 스위치와 *Mode X* 스위치가 달린 전기 상자.

G. 전원 공급 장치.

H. 바나나 케이블.

I. 스크린.

J. 테이프.

K. 투명한 자.

L. 금속망.

M. 핀셋.

N. 파란 스티로폼 구슬 15개.

O. 재질을 모르는 흰 구형 구슬 여러 개($\varnothing$ 2.0 mm).

P. 투명한 구형 유리 구슬 여러 개($\varnothing$ 2.0 mm, $\rho_{\mathrm{glass}} = 2500\,\mathrm{kg\,m^{-3}}$).

Q. I, II, III이라고 표시된 서로 다른 미지의 액체 3가지. 모두 손으로 만져도 안전하지만 먹으면 안 된다.

R. 주사기 3개.

S. 주사기용 끝이 뭉툭한 바늘 3개(조심할 것!).

T. 빨래집게 2개.

U. 스톱워치.

V. 램프.

W. 전원 코드.

X. 금속망을 말리는 종이(사진에는 없음).

대회 도중 어떤 이유로 부품이 고장 난 것 같으면, 감독관에게 알려 도움을 받으시오.

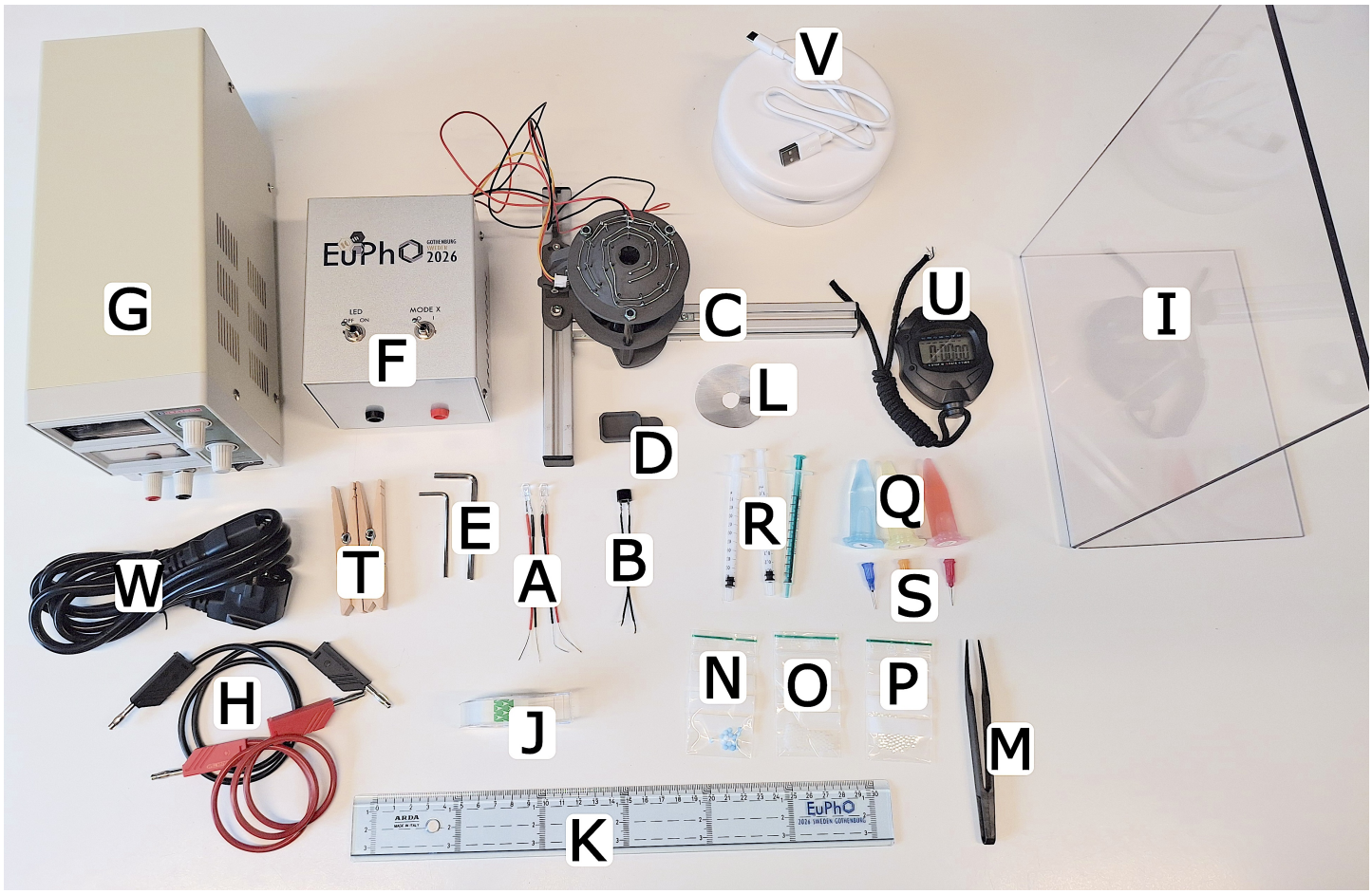


그림 1: 장비 개관.

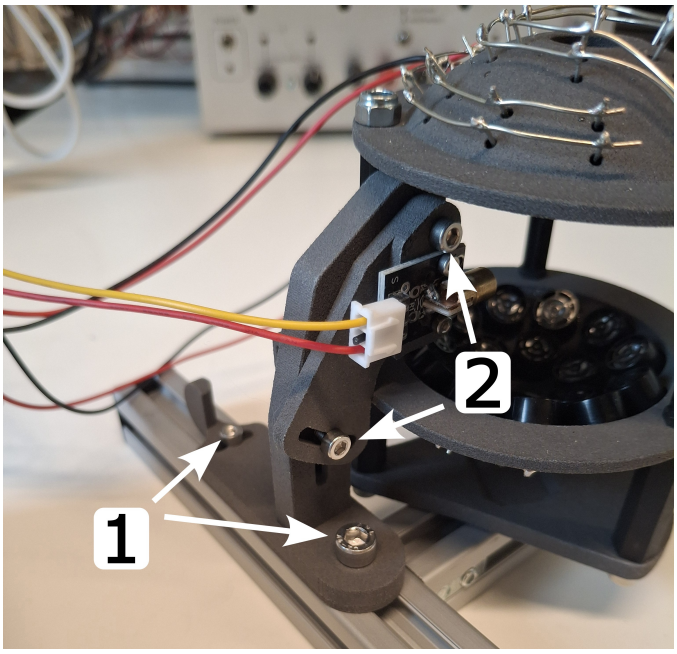


그림 2: LED 모듈의 정렬. 그림에 보인 나사로 장치를 정렬할 수 있다. **1**로 표시된 화살표는 LED 모듈의 수평 이동과 기울기, **2**로 표시된 화살표는 LED 모듈의 수직 이동과 기울기를 위한 것이다.