표지

IPhO
Estonia 2012

제43회 국제물리올림피아드 — 실험 경연

에스토니아 타르투 — 2012년 7월 19일 목요일

- 시험 시간은 5시간이다. 문제는 2개이며 모두 20점이다. 여러분은 (이웃한 두 칸막이 안에 있는) 탁자 두 개를 쓸 수 있다. 문제 E1의 장치는 한 탁자에, 문제 E2의 장치는 다른 탁자에 있으며, 두 탁자 사이를 자유롭게 오갈 수 있다. **그러나 실험 장치의 어떤 부분도 한 탁자에서 다른 탁자로 옮겨서는 안 된다.**
- 처음에 한 탁자의 실험 장비는 덮개로 덮여 있고 다른 탁자의 장비는 상자에 들어 있다. **경연 시작 신호(짧은 소리 세 번) 전에는 덮개를 벗기거나, 상자를 열거나, 문제가 든 봉투를 열어서는 안 된다.**
- **허락 없이 자리를 떠나서는 안 된다.** 도움이 필요하면(**장비 고장**, 계산기 고장, 화장실 등) 해당 깃발(자리에 있는 긴 손잡이가 달린 "HELP" 또는 "TOILET")을 칸막이 벽 위로 들어 올리고, 진행 요원이 올 때까지 들고 있으시오.
- 종이는 앞면만 쓰시오.
- 문제마다 **전용 풀이 용지**가 있다(번호와 그림문자는 머리글을 보라). 풀이는 해당 풀이 용지에 쓰시오. 문제마다 풀이 용지에 번호가 매겨져 있으니 번호 순서대로 쓰시오. 최종 답은 **답안지**의 해당 칸에 옮겨 적으시오. **연습** 용지도 있다. 채점받고 싶지 않은 것은 여기에 쓰시오. 채점받고 싶지 않은 것(처음 풀이나 틀린 풀이 등)을 풀이 용지에 썼으면 그어서 지우시오.
- 어떤 문제에 종이가 더 필요하면 "HELP" 깃발을 들고 진행 요원에게 문제 번호를 알리시오. 풀이 용지 두 장을 받는다 (여러 번 해도 된다).
- **글은 되도록 적게 쓰시오:** 풀이는 주로 식, 숫자, 표, 기호, 그림으로 설명하시오.
- 실험 시험 중에는 쓸데없이 움직이지 말고 칸막이 벽을 흔들지 마시오. 레이저 실험은 안정이 필요하다.
- 레이저 빛살이나 그 반사광을 들여다보지 마시오! 눈이 영구히 손상될 수 있다!
- 첫 번째 한 번 울리는 소리는 풀이 시간이 30분 남았다는 뜻이다. 두 번째 두 번 울리는 소리는 5분 남았다는 뜻이다. 세 번째 세 번 울리는 소리는 풀이 시간이 끝났음을 알린다. **세 번째 소리가 나면 즉시 쓰기를 멈추어야 한다.** 모든 종이를 책상 위 봉투에 넣으시오. **어떤 종이도 방 밖으로 가지고 나갈 수 없다.** 마지막 소리 전에 풀이를 마쳤으면 깃발을 드시오.

문제

문제 E1

문제 E1. 물의 투자율 *(10점)*

강자성체가 아닌 대부분의 물질에서 자기장의 효과는 꽤 약하다. 상대 투자율이 μ인 물질 속 자기장의 에너지 밀도가 $w = \frac{B^2}{2\mu\mu_0}$이고, 보통 μ가 1에 아주 가깝기 때문이다. 그래도 알맞은 실험 기법을 쓰면 이런 효과를 확실히 관찰할 수 있다. 이 문제에서는 네오디뮴 영구 자석이 만드는 자기장이 물에 미치는 효과를 조사하고, 그 결과로 물의 투자율을 계산한다. **이 문제 전체에서 불확도는 어림하지 않아도 되며, 표면 장력의 효과는 고려하지 않아도 된다.**

장치는 1 **스탠드**(강조한 숫자는 그림의 숫자에 해당한다), 3 **디지털 캘리퍼**, 4 **레이저 포인터**, 5 **물 접시**, 물 접시 안의 7 **원기둥 영구 자석**(자석은 축 방향으로 자화되어 있다)으로 이루어져 있다. 물 접시는 자석이 끄는 힘으로 스탠드 밑판에 고정되어 있다. 레이저는 캘리퍼에 고정되어 있고, 캘리퍼의 밑동은 스탠드에 고정되어 있다. 캘리퍼로 레이저를 수평으로 옮길 수 있다. 레이저의 켜기/끄기 단추는 13 흰 원뿔 관으로 눌러 둘 수 있다. 레이저를 쓸데없이 켜 두지 마시오. 자석 위의 물 깊이는 1 mm에 꽤 가까워야 한다(더 얕으면 수면이 너무 휘어 화면에서 값을 읽기 어렵다). 물 높이를 맞추는 데에는 15 물 컵과 16 주사기를 쓸 수 있다(높이를 1 mm 올리려면 물 13 ml를 넣으시오). 2 모눈종이("화면") 한 장을 14 작은 자석 조각으로 연직판에 붙여야 한다. 화면 위 레이저 점이 번지면 수면에 먼지가 있는지 확인하시오(있으면 불어 내시오).

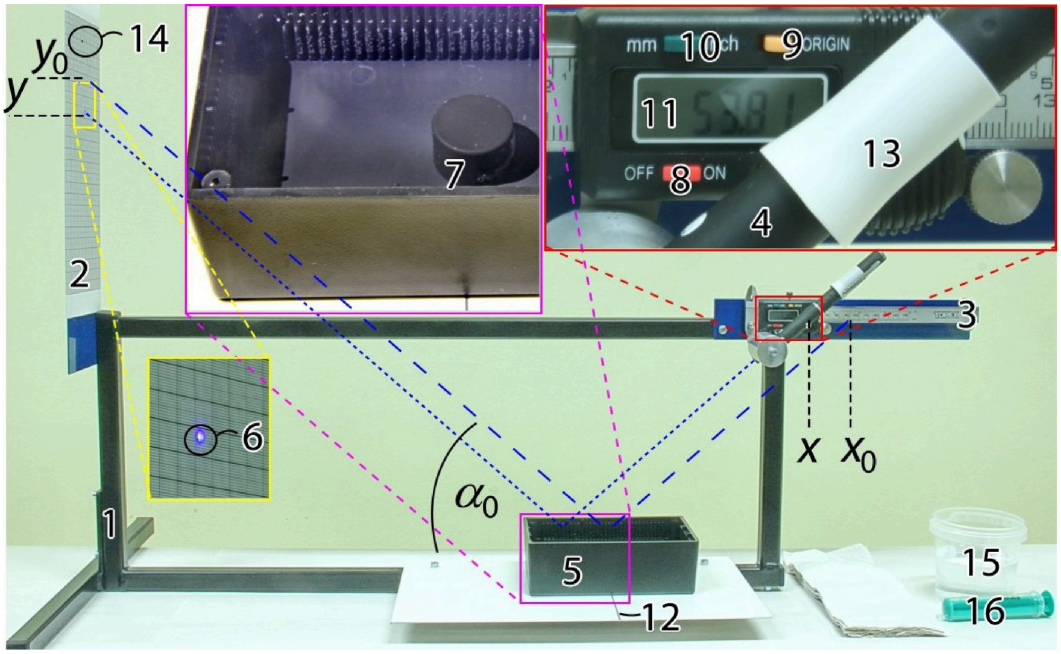
그림의 나머지 범례는 다음과 같다. 6 레이저 빛살이 화면에 닿는 점, 11 캘리퍼의 LCD 화면, 10 캘리퍼 단위를 밀리미터와 인치 사이에서 바꾸는 단추, 8 켜기/끄기 스위치, 9 캘리퍼 읽음값의 원점을 정하는 단추. 레이저 포인터 아래에는 캘리퍼 단추가 하나 더 있는데, 원점을 잠시 다시 맞춘다(실수로 눌렀으면 한 번 더 눌러 정상 측정 모드로 돌아가시오).

계산에 쓸 수치

자석 중심과 화면 사이의 수평 거리 $L_0 = 490\,\mathrm{mm}$. 자석 중심이 서로 수직인 두 방향으로 잘 맞춰져 있는지 확인하고 (필요하면) 조정하시오. 자석의 연직축은 레이저 빛살과 만나야 하며, 받침판의 12 검은 선과도 만나야 한다.
자석의 평평한 면에서 높이 1 mm인 자석 축 위의 자기 유도(자기장 세기) $B_0 = 0.50\,\mathrm{T}$
물의 밀도 $\rho_w = 1000\,\mathrm{kg/m^3}$
자유 낙하 가속도 $g = 9.8\,\mathrm{m/s^2}$
진공의 투자율 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\,\mathrm{H/m}$

경고:

- **레이저 방향은 미리 맞춰 두었으니 움직이지 마시오!**
- **레이저 빛살이나 그 반사광을 들여다보지 마시오!**
- **강한 네오디뮴 자석을 떼어 내려고 하지 마시오!**
- **자석 가까이에 자성 물질을 두지 마시오!**
- **쓰지 않을 때에는 레이저를 끄시오. 배터리가 1시간이면 닳습니다!**

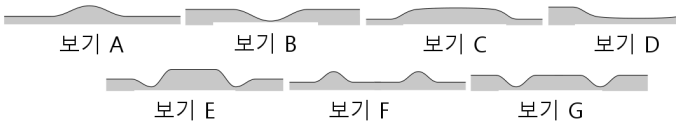


문제

문제 E1

파트 A. 수면의 정성적 모양 *(1점)*

원기둥 자석을 수면 아래에 두면 수면이 휜다. 관찰하여 자석 위 수면의 모양을 구하시오. 이 관찰을 바탕으로 물이 반자성($\mu < 1$)인지 상자성($\mu > 1$)인지 판단하시오.



올바른 보기의 글자를 부등식 $\mu > 1$ 또는 $\mu < 1$과 함께 답안지에 쓰시오.

이 파트에서는 답의 근거를 대지 않아도 된다.

파트 B. 수면의 정확한 모양 *(7점)*

수면에서 반사된 레이저 빛살을 재면 수면의 휨을 매우 민감하게 확인할 수 있다. 이 효과를 써서 자석 위 수평 위치에 따른 물 깊이를 계산한다.

i. (1.6점) 화면 위 레이저 점의 연직 위치 y가 캘리퍼 읽음값 x에 따라 어떻게 달라지는지 측정하시오(그림 참조). 캘리퍼로 옮길 수 있는 범위 전체를 다루어야 한다. 결과를 답안지의 표에 쓰시오.

ii. (0.7점) 측정한 의존 관계의 그래프를 그리시오.

iii. (0.7점) 얻은 그래프로 빛살과 수평한 수면 사이의 각 α_0를 구하시오.

iv. (1.4점) 다음에 주의하시오. 수면의 기울기($\tan\beta$)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tan\beta \approx \beta \approx \frac{\cos^2\alpha_0}{2} \cdot \frac{y - y_0 - (x - x_0)\tan\alpha_0}{L_0 + x - x_0},$$

여기서 y_0는 빛살이 자석 축에서 수면에 반사될 때 화면 위 레이저 점의 연직 위치이고, x_0는 그때의 캘리퍼 위치이다. 수면 기울기의 값들을 계산하여 답안지의 표에 쓰시오. 주어진 기울기 식에서 몇몇 항의 조합을 마지막 그래프의 읽음값으로 바꾸면 계산이 간단해질 수 있음에 주의하시오.

v. (1.6점) 자석에서 먼 곳의 수면에 대한 수면의 높이를 x의 함수로 계산하여 답안지의 표에 쓰시오.

vi. (1.0점) 이 의존 관계의 그래프를 그리시오. 그래프에 빛살이 자석 바로 위에서 수면에 닿는 영역을 표시하시오.

파트 C. 투자율 *(2점)*

파트 B의 결과로 $\mu - 1$(이른바 *자기 감수율*)의 값을 계산하시오. 여기서 μ는 물의 상대 투자율이다. 최종 공식과 수치 결과를 답안지에 쓰시오.