

제43회 국제 물리학 올림피아드 - 실험 경시대회

에스토니아 타르투 - 2012년 7월 19일(목)

- 시험은 5시간 동안 진행됩니다. 총 20점 만점의 문제 2문제가 있습니다. 두 개의 테이블(두 개의 인접한 칸막이)이 있으며, 문제 E1의 장치는 한 테이블에, 문제 E2의 장치는 다른 있으며, 이 테이블 사이를 자유롭게 이동할 수 있습니다. **그러나 한 테이블에서 다른 테이블로 실험 장비를 옮기는 것은 허용되지 않습니다.**
- 처음에는 한 테이블의 실험 장비가 덮여 있고 다른 테이블의 실험 장비는 상자에 담겨 있습니다. **대회 시작 신호(세 번의 짧은 신호) 전에 덮개를 제거하거나 상자를 열거나 문제가 들어 있는 봉투를 개봉해서는 안 됩니다.**
- **허가 없이 근무 장소를 벗어날 수 없습니다.** 도움이 필요한 경우(기기 고장, 계산기 고장, 화장실 방문 필요 등) 좌석 박스 벽 위에 해당 깃발('도움' 또는 좌석에 긴 손잡이가 달린 '화장실')을 올리고 관리인이 도착할 때까지 계속 게양하세요.
- 용지의 앞면만 사용하세요.
- 각 문제마다 **전용 솔루션 시트**가 있습니다(번호와 그림은 헤더를 참조하세요). 해당 풀이 시트에 풀이를 적습니다. 각 문제마다 문제지에는 번호가 매겨져 있으므로 열거된 번호에 따라 문제지를 사용합니다. 최종 **답안**을 **답안지**의 해당 칸에 복사합니다.
- **초안** 용지도 있으므로 채점하고 싶지 않은 내용을 작성하는 데 사용합니다. 풀이 시트에 채점하고 싶지 않은 내용(예: 초기 풀이 및 오답)을 작성한 경우 지우십시오.
- 특정 문제에 대해 더 많은 용지가 필요한 경우 "도움" 깃발을 들고 주최자에게 문제 번호를 알려주면 두 장의 솔루션 시트가 제공됩니다(두 번 이상 사용할 수 있음).
- **가능한 한 적은 텍스트를 사용해야 합니다.** 주로 방정식, 숫자, 표, 기호 및 다이어그램을 사용하여 솔루션을 설명하세요.
- 레이저 실험은 안정성이 필요하므로 실험 검사 중에 불필요한 움직임을 피하고 칸막이 벽을 흔들지 마세요.
- **레이저 광선이나 반사광을 쳐다보지 마세요! 눈이 영구적으로 손상될 수 있습니다!**
- 첫 번째 소리 신호는 30분의 풀이 시간이 남았음을 알려주고, 두 번째 소리 5분이 남았음을 의미하며, 세 번째 소리 신호는 풀이 시간이 끝났음을 나타냅니다. **세 번째 신호음이 울린 후에는 즉시 쓰기를 중단해야 합니다.** 모든 종이를 책상에 있는 봉투에 넣으세요. **어떤 종이도 교실 밖으로 가져갈 수 없습니다.** 마지막 신호음이 울리기 전에 문제를 다 풀었다면 깃발을 들어주세요.

PROBLEM

Problem E1



문제 E1. 물의 자기 투과성

0 강자성체를 제외한 대부분의 물질에 대한 자기장의 영향은 다소 약합니다. 이는 상대 자성을 가진 물질에서 자기장의 에너지 밀도가 낮기 때문입니다. 투과성 μ 는 공식 $w = \frac{B^2}{2\mu_0}$ 의해 주어지며, 일반적으로 μ 는 1에 매우 가깝습니다. 하지만 적절한 실험 기법을 사용하면 이러한 효과를 확실하게 관찰할 수 있습니다. 이 문제에서는 영구 네오디뮴 자석에 의해 생성된 자기장이 물에 미치는 영향을 연구하고 그 결과를 사용하여 물의 자기 투과도를 계산합니다. 이 문제에서는 불확실성을 추정하라는 요청이 없으며 표면 장력의 영향을 고려할 필요가 없습니다.

설정은 스탠드 1개(강조 표시된 숫자는 그림의 숫자에 해당), 디지털 캘리퍼 3개로 구성됩니다.

4 레이저 포인터, 5 물 트레이, 7 물 트레이의 원통형 영구 자석(자석은 축 방향으로 자화됨). 물 트레이는 자석의 당김에 의해 스탠드 바닥에 고정됩니다. 레이저는 받침대가 스탠드에 고정된 캘리퍼에 고정되며, 캘리퍼는 레이저의 수평 이동을 허용합니다. 레이저의 온오프 버튼은 흰색 원뿔형 튜브 13을 사용하여 아래로 누를 수 있습니다. 레이저를 불필요하게 켜 놓은 채로 두지 마세요. 자석 위의 물 깊이는 1mm에 적당히 가까워야 합니다(더 알으면 수면이 너무 휘어져 화면에서 판독하기 어렵습니다). 15 물 한 컵

16 주사기를 사용하여 수위를 조절할 수 있습니다.

(수위를 1mm 높이려면 물 13ml를 추가합니다). 2 그래프 용지('스크린')를 14개의 작은 자석 정제로 수직 플레이트에 고정합니다. 화면의 레이저 스팟이 번지면 수면에 먼지가 있는지 확인하고(불어내세요).

그림의 나머지 범례는 다음과 같습니다: 6 레이저 빔이 화면에 닿는 지점, 11 캘리퍼의 LCD 화면, 10 캘리퍼 단위를 밀리미터와 인치로 전환하는 버튼, 8 온-오프 스위치, 9 버튼을 눌러 캘리퍼 판독값의 원점을 설정합니다. 레이저 아래 포인터를 누르면 캘리퍼에 버튼이 하나 더 있습니다. 일시적으로 원점을 다시 설정합니다(실수로 눌렀을 경우 다시 한 번 누르면 일반 측정 모드로 돌아갑니다).

계산을 위한 숫자 값입니다:

자석의 중심과 화면 사이의 수평 거리 $L_0 = 490\text{mm}$. 자석의 중심이 두 개의 수직 방향으로 정렬되었는지 확인하고(필요한 경우 조정합니다). 자석의 세로축은 레이저 빔과 교차해야 하며, 지지판의 검은색 선 교차해야 합니다.

자석 축의 자기 유도(자기장 강도), 평평한 표면에서 1mm 높이, $B_0 = 0.50\text{T}$

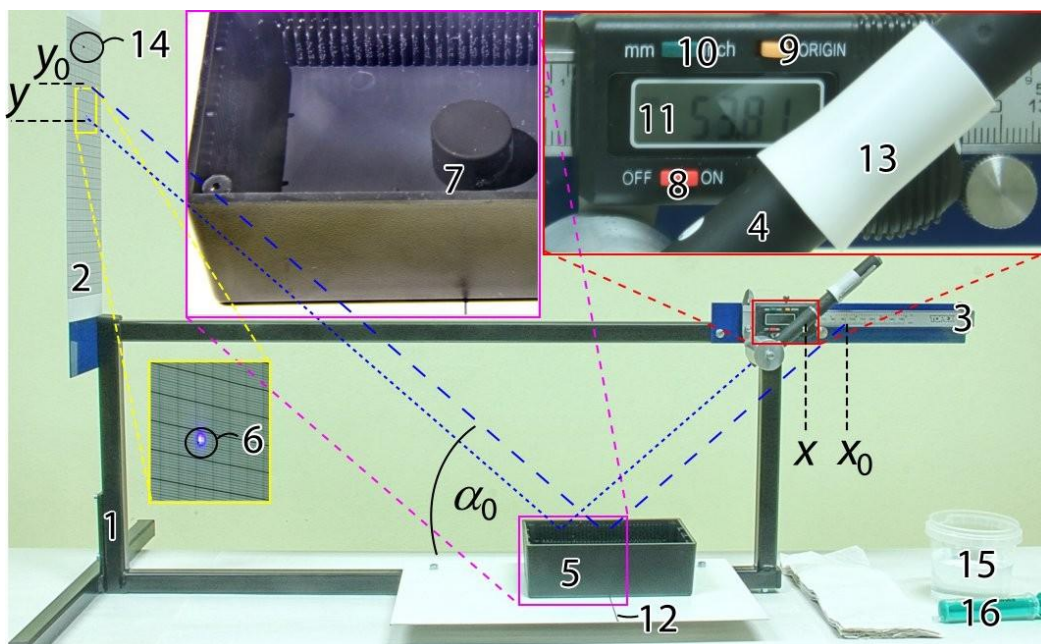
물의 밀도 $\rho_w = 1000\text{ kg/m}^3$

자유 낙하 가속도 $g = 9.8\text{ m/s}^2$

진공 투과성 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\text{ H/m}$

경고:

- 레이저 방향은 미리 조정되어 있으므로 마세요!
- 레이저 빔이나 레이저 빔의 반사를 쳐다보지 마세요!
- 강력한 네오디뮴 자석을 제거하려고 하지 마세요!
- 자성 물질을 자석 가까이에서 두지 마세요!
- 사용하지 않을 때는 레이저를 끄고, 안에 배터리가 방전됩니다!



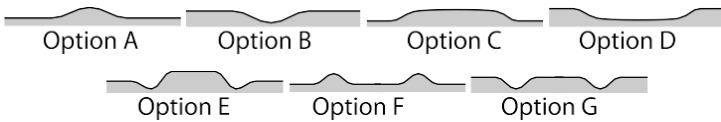
PROBLEM

Problem E1



가. 수면의 질적 모양 (1점) 원통형 자석을 아래에 놓으면 곡선이 된다 관찰을 통해 그 모양을 결정하시오.

를 구합니다. 이 관찰을 바탕으로 물이 반자성($\mu < 1$)인지 상자성($\mu > 1$)인지 결정합니다.



정답에 해당하는 문자를 부등식 $\mu > 1$ 또는 $\mu < 1$ 과 함께 답지에 기입합니다.

이 부분에서는 답변을 정당화할 필요가 없습니다.

파트 B. 수면의 정확한 모양 (7점) 레이저 빔의 반사를 측정하여 수면의 곡면을 고감도로 확인할 수 있습니다. 이 효과를 사용하여 자석 위의 수평 위치에 대한 수심의 의존성을 계산합니다.

i. (1.) 화면에서 레이저 스폿의 수직 위치 y 가 캘리퍼 판독값 x 에 미치는 의존성을 측정합니다(그림 참조). 캘리퍼 변위의 사용 가능한 전체 범위를 포함해야 합니다. 결과를 답안지의 표에 적습니다.

ii. (0.7점) 측정된 의존도의 그래프를 그립니다.

iii. (0.) 얻은 그래프를 사용하여 각도를 결정합니다. 빔과 수면 수평면 사이의 α_0 .

(1.4포인트) 수면의 기울기(탄 β)는 다음과 같이 표현할 수 있다는 점에 유의하세요:

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

여기서 y_0 은 자석의 축에서 빔이 수면에서 반사되었을 때 화면에서 레이저 스폿의 수직 위치이고, x_0 은 캘리퍼의 각 위치입니다. 수면의 경사 값을 계산하여 답안지의 표에 입력합니다. 주어진 식의 일부 용어 조합을 마지막 그래프에서 구한 값으로 기울기를 대체하면 계산을 단순화할 수 있다는 점에 유의하십시오.

v. (1.6점) 자석에서 멀리 떨어진 수면에 대한 수면의 높이를 x 의 함수로 계산하고 답안지의 표에 적으십시오.

vi. (1.0점) 후자의 의존성 그래프를 그립니다. 빔이 자석 바로 위의 수면에 닿는 영역을 그래프에 표시합니다.

파트 C. 자기 투과성(2점)

파트 B의 결과를 사용하여 $\mu - 1$ (소위 자기 민감도)의 값을 계산하십시오(여기서 μ 는 물의 상대적인 자기 투과성입니다). 최종 공식과 수치 결과를 답안지에 기입하십시오.

PROBLEM

Problem E2



문제 E2. 비선형 블랙박스()

간단한 문제에서 전기 회로는 전기적 특성이 서로 정비례하는 선형 요소로 구성된 것으로 가정합니다. 예를 들면 다음과 같습니다.

($V = RI$), 커패시턴스($Q = CV$) 및 인덕턴스($V = LI = L \frac{dI}{dt}$), 여기서 R , C 및 L 은 상수입니다. 그러나 이 문제에서는 비선형이 포함된 회로를 살펴봅니다.

요소는 더 이상 비례의 가정이 적용되지 않는 블랙박스로 둘러싸여 있습니다.

설정 멀티미터 ("IPhO-.

측정"), 전류 소스 역할을 하는 블랙박스, 비선형 소자가 포함된 블랙박스, 배선용 스텝형 커넥터가 있는 테스트 리드 4개로 구성되어 있습니다.

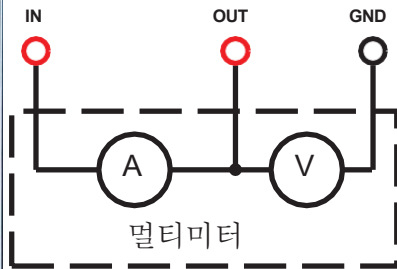
블랙박스의 밀봉이 파손되지 않도록 주의하세요.

멀티미터는 전류와 전압을 동시에 측정할 수 있습니다.

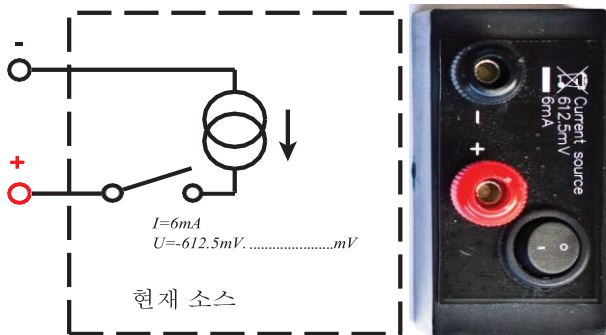
ously. 전압 V , 전류 I , 전력 $P = IV$, 저항으로 구성된 최대 2000개의 데이터 포인트를 저장할 수 있습니다.

$R = V/I$, 전압 시간 미분 $V' (= \frac{dV}{dt})$, 전류 시간 미분-

ative $I' (= \frac{dI}{dt})$ 및 시간 t . 자세한 내용은 멀티미터 설명서를 참조하세요. 저장된 데이터 포인트가 2000개를 초과하면 가장 오래된 데이터를 덮어씁니다.



정전류 소스는 단자의 전압이 $-0.6125V$ 에서 $0.6125V$ 사이를 유지하는 한 안정적인 전류를 공급합니다. 스위치가 꺼지면 정전류 소스는 큰(본질적으로 무한한) 저항을 갖게 됩니다.



블랙박스에는 전기 이중층 커패시터(약간 비선형적인 고용량 커패시터), 미지의 비선형 소자 및 인덕터 $L = 10\mu H$ 의 무시할 수 있는 저항이 포함되어 있으며 회로 직경에 표시된 대로 전환할 수 있습니다. 비선형 소자는 전압과 사이에 비선형 의존성을 갖는 저항으로 간주할 수 있습니다($I(V)$ 는 $I(0) = 0$ 인 V 의 연속 함수입니다). 마찬가지로 커패시터의 경우 차동 커패시턴스 $C(V) = \frac{dQ}{dV}$ 는 정확히 일정하지 않습니다.

블랙박스의 빨간색 단자의 전위가 검은색 단자의 전위보다 높으면 블랙박스의 전압이 양수라고 합니다. 양전압은 일치하는 색의 단자가 있으면 양전압을 얻게 됩니다.

블랙박스와 전류 소스가 연결되어 있습니다(음전압을 사용할 수 있음).



블랙박스의 커패시터는 자체적으로 또는 멀티미터의 IN 및 OUT 단자를 통해 입력을 단락시켜 방전해도 안전합니다. 이 커패시터의 내부 저항은 전류로 인한 손상을 방지하기에 충분하기 때문입니다.

이 문제 전체에서 불확실성을 추정하라는 요청은 없습니다.

파트 A. 인덕턴스가 없는 회로(7점)

이 부분에서는 인덕턴스가 단락되도록 블랙박스의 스위치를 닫은 상태로 유지합니다("I"를 아래로 누름). 일부 측정에는 상당한 시간이 소요될 수 있으므로 불필요한 작업을 피하기 위해 파트 A의 모든 작업을 읽어보는 것이 좋습니다.

i. (1.0점) 전류 소스의 출력 전류가 약 6mA인지 확인하고, 0에서 +480mV 사이의 전압에 대해 전류가 변화하는 범위를 결정합니다. 사용된 회로도를 문서화합니다.

ii. (1.2점) 선택한 단일 전압에 대한 값을 측정하여 블랙박스에 사용된 차동 커패시턴스 $C(V)$ 가 약 2F임을 증명하십시오 $C(V_0) = C_0$. 회로도를 문서화하십시오.

iii. (2.2점) 커패시턴스 $[C(V) \approx C_{(0)}]$ 의 비선형성을 무시하고, 블랙박스에 사용된 비선형 소자의 전류-전압 특성을 결정하십시오. 블랙박스에서 얻을 수 있는 양의 전압에 대한 $I(V)$ 곡선을 답안지에 플롯하십시오. 회로도를 문서화하십시오.

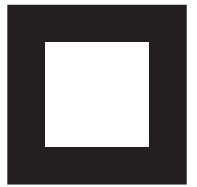
iv. (2.6점) 얻을 수 있는 전압의 전체 범위에서 측정한 값을 사용하여, 답안지에 있는 블랙박스에서 얻을 수 있는 양의 전압에 대한 $C(V)$ 곡선을 계산하고 플롯하십시오. 서로 다른 정전용량 $C_{\text{최소}}$, $C_{\text{최대}}$ 의 최소값과 최대값을 적으십시오. 회로도를 문서화합니다.

파트 B. 인덕턴스가 있는 회로(3점)

블랙박스의 스위치를 열어 인덕턴스를 활성화합니다("0"을 아래로 누름). 파트 A-iii에서와 동일한 방법을 사용하여 비선형 소자의 전류-전압 특성을 측정하고 플롯하십시오. 파트 A와 B의 곡선 사이에 유의미한 차이가 있다면 설명하고 그 이유를 정성적 논증을 사용하여 제시하십시오. 비선형 소자에는 비선형 저항과 병렬로 연결된 커패시턴스($\approx 1\text{ nF}$)도 있다는 것을 알아야 합니다.

PROBLEM

Problem E2



IPhO 측정: 짧은 설명서

IPhO-measure는 전압 V 를 측정할 수 있는 멀티미터입니다. 와 전류 I 를 동시에 기록합니다. 또한 시간 파생

values V' 및 I' , 제품 $P=VI$, 비율 $R=V/I$ 및 시간

샘플의 t 입니다. 저장된 측정값은 분리된 세트에 구성되며, 저장된 모든 샘플에는 세트 번호 s 와 세트 내부의 카운터 n 으로 번호가 매겨집니다. 저장된 모든 샘플은 내부 플래시 메모리에 기록되며 나중에 검색할 수 있습니다.

전기적 동작

이 장치는 전류계와 전압계가 연결된 것처럼 작동합니다. 를 다음과 같이 설정합니다.



	범위	내부
전압계	0...2 V	1 MΩ
전압계	2...10 V	57 kΩ
전류계	0...1 A	1 Ω

기본 사용법

- "전원"을 눌러 IPhO 측정을 켭니다. 장치가 아직 측정 중이 아니므로 측정을 시작하려면 "시작"을 누릅니다. 또는 이제 저장된 데이터 탐색을 시작할 수 있습니다. 아래를 참조하세요.
- 이전에 저장한 샘플을 찾아보려면(모든 세트를 통해) '이전' 또는 '다음'을 누릅니다. 세트 사이를 바로 이동하려면 길게 누릅니다.
- 측정하지 않는 동안 '시작'을 누르면 새 세트 측정을 시작할 수 있습니다.
- 측정하는 동안 새 데이터 세트(즉, 디스플레이에 표시된 판독값) 저장하려면 매번 '샘플'을 누릅니다.
- 측정하는 동안 '이전' 및 '다음'을 사용하여 현재 세트의 다른 샘플을 찾아볼 수도 있습니다.
- "중지"를 눌러 세트를 종료하고 측정을 중지합니다. 장치가 여전히 켜져 있습니다. 새 세션을 시작하거나 저장된 데이터를 탐색할 준비가 되었습니다.
- "전원"을 누르면 기기가 꺼집니다. 기기에 "내 마음이 가고 있습니다..."라는 텍스트가 표시되며, 모든 데이터 측정값은 저장되므로 걱정하지 마시고 기기를 다시 켜 후 찾아보실 수 있습니다. 저장된 샘플은 지워지지 않습니다.

디스플레이



표시되는 샘플은 9개의 변수로 구성됩니다:

1. 세트에 있는 샘플의 인덱스 n 입니다;
2. 세트의 인덱스 s 입니다;
3. 세트 시작 이후 시간 t 입니다;
4. 전압계 출력 V ;
5. V 의 변화율(시간 도함수 V'); 변동으로 인해 도함수를 안정적으로 구할 수 없는 경우 "+나노/s"가 표시됩니다;
6. 전류계 출력 I ;
7. I 의 변화율(시간 도함수 I'); 변동으로 인해 도함수를 안정적으로 구할 수 없는 경우 "+나노/s"가 표시됩니다;
8. 제품 $P=VI$;
9. 비율 $R=V/I$.

허용 범위를 벗어난 변수가 있으면 "+-inf" 또는 "--inf"로 표시됩니다.