

실험 문제 1: 진동 자기장에서 도체의 공중 부양

충분한 강도의 진동 자기장에서는 금속 도체의 공중부양이 가능해집니다. 부상은 도체의 전류에 가해지는 0이 아닌 평균 자기력으로 인해 발생합니다. 전류는 다음에 의해 유도됩니다.

교류장 자체. 로렌츠 힘은 전류 진동과 자기장 진동 사이의 위상 이동으로 인해 평균이 0이 되지 않습니다. 이 위상 이동은 도체 내 전류 루프의 자기 인덕턴스의 결과입니다.

이 실험에서는 이 현상을 연구하고 진동 전류가 흐르는 솔레노이드가 가하는 수직 힘을 측정하여 알루미늄 링의 자기 인덕턴스를 추론합니다. 측정 편의를 위해 링에 가해지는 평균 힘은 아래쪽으로 향하므로 공중 부양은 관찰되지 않습니다.

책상 위에는 다음과 같은 항목이 있습니다(그림 1):

- (1) 50Hz에서 작동하는 AC 전원 공급 장치입니다. 전원 공급 장치에는 두 쌍의 단자가 있습니다. 두 개의 작은 소켓(1a)은 약 24V의 전압을 공급하며, 솔레노이드에 전류를 공급하는 용도로만 사용합니다. 두 개의 큰 소켓(1b)은 약 0.7V의 전압을 공급합니다. 전원 공급 장치는 녹색 버튼(1c)을 누를 때만 켜지는데, 이는 아래에서 자세히 설명하는 것처럼 실수로 전류를 켜두면 시스템이 과열되는 것을 방지하기 위한 것입니다. 빨간색 전구는 전원 공급 장치가 켜져 있음을 나타냅니다.
- (2) 철봉으로 채워진 원통형 대칭 솔레노이드입니다. 솔레노이드는 전원 공급 장치의 24V 단자에 연결됩니다. 솔레노이드는 긴 나사를 사용하여 올리고 내릴 수 있습니다. 나사의 수직 단계는 다음과 같습니다.
 $h = 1.41mm$.
- (3-5) 정확히 동일한 재질(알루미늄 합금)로 만들어진 세 개의 금속 링입니다. 하나의 링은 닫혀 있습니다. 두 번째 링은 짧은 부분이 제거되어 링이 열린 것을 제외하고는 첫 번째 링과 동일합니다. 세 번째 링도 열려 있으며 앞의 두 링보다 훨씬 얇습니다.
- (6-7) 멀티미터 두 개. 전압계와 전류계로 사용됩니다. AC 전압계의 감도는 0.1mV입니다. 전류계는 최대 20A의 전류를 측정할 수 있습니다(AC 모드에서도). **참고:** AC 모드에서 멀티미터는 측정된 양의 RMS(평균제곱근)를 표시합니다. 즉, 진폭을 $\sqrt{2}$. 자세한 지침은 그림 3과 4를 참조하세요.
- (8) 감도 0.01g의 배터리 구동식 디지털 체중계입니다. 저울이 빠르게 진동하는 힘을 받으면 시간 평균 힘을 표시합니다. **참고:** 이 저울에는 주어진 무게의 판독값을 0으로 보정하는 '용기' 옵션이 있습니다. 그림 2를 참조하세요.
- (9) 고리용 스탠드로 사용할 수 있는 8cm×7cm×7cm 폴리스티렌 블록입니다.
- (10) 다양한 커넥터가 있는 전선.
- (11) 통치자.
- (12) 밀리미터 그래프 용지.
- (13) 사용자의 편의에 따라 켜거나 끌 수 있는 데스크톱 램프입니다.

주의: 닫힌 링이 솔레노이드의 자기장에 노출되면 큰 전류가 흐르면서 링이 가열됩니다. 그 결과 링의 전기적 특성이 약간 변경될 수 있습니다. 이를 방지하려면 솔레노이드에 장시간 전류를 흐르게 하지 마세요.

텔아비브의 지구 중력장은 $g = 9.80 \pm 0.01 \text{ N/kg}$ 입니다.

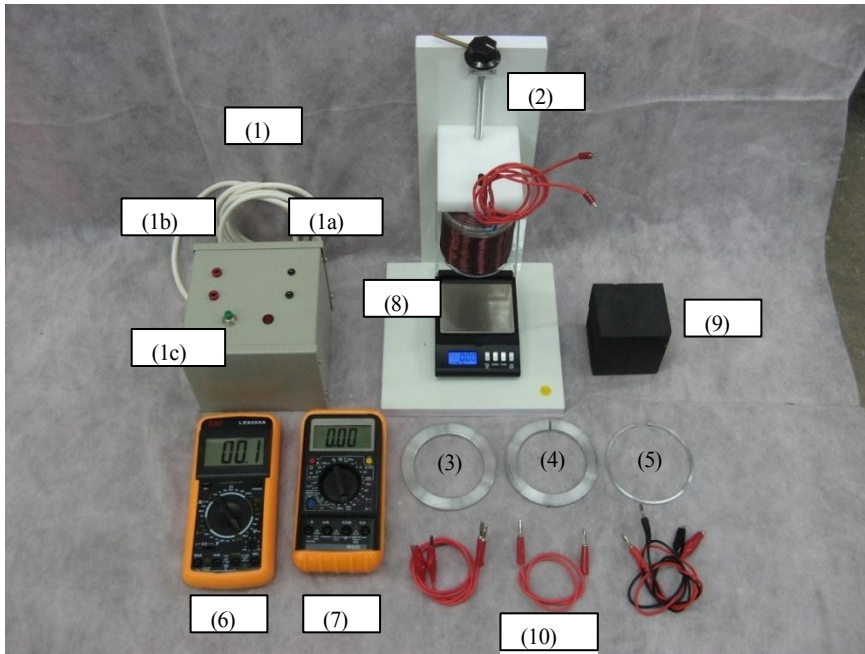


그림 1 - 장비 요약

- (1) 50Hz 전원 공급 장치.
(1a) 24V 단자. (1b) 0.7V 단자. (1c) 전원 버튼.
- (2) 수직 나사의 솔레노이드.
- (3) 넓은 폐쇄형 링.
- (4) 넓은 오픈 링.
- (5) 얇은 오픈 링.
- (6) 전압계.
- (7) 전류계.
- (8) 규모.
- (9) 폴리스티렌 블록.
- (10) 전선.



그림 2: 디지털 눈금

- (1) 켜기/끄기 버튼
- (2) "무게 측정" 버튼 - 현재 무게를 0으로 설정합니다.

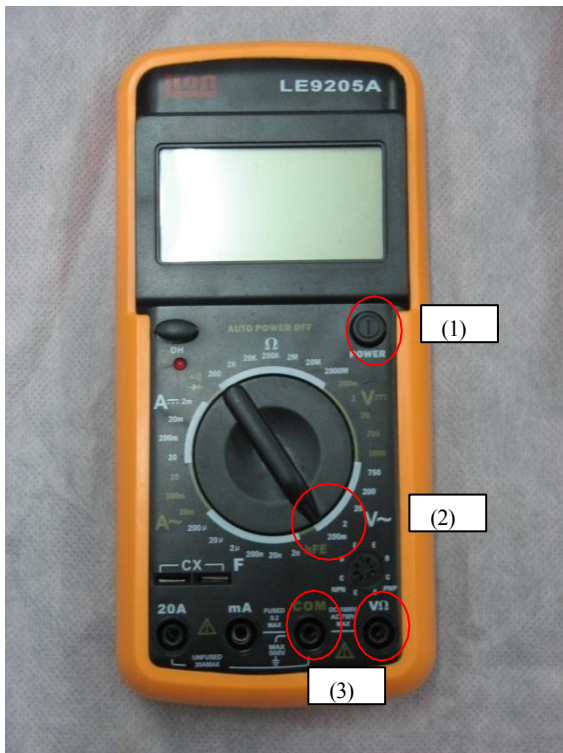


그림 3: 전압계.

- (1) 켜기/끄기 버튼.
- (2) 다이얼은 200mV AC로 설정되어 있습니다.
- (3) 전선을 "COM" 및 "V/Ω" 단자에 연결합니다.

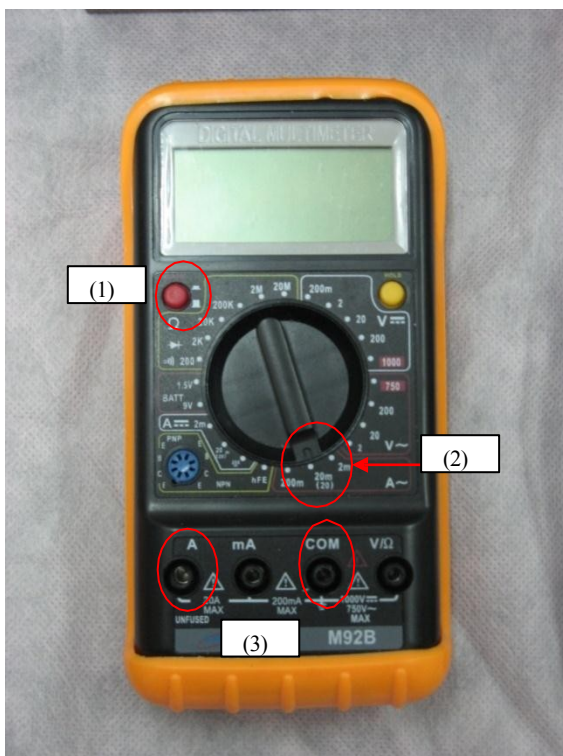


그림 4: 전류계.

- (1) 켜기/끄기 버튼.
- (2) 다이얼은 20mA/20A AC로 설정되어 있습니다.
- (3) 전선을 "COM" 및 "A" 단자에 연결합니다.

이론(1.3점)

솔레노이드의 자기장에 반경 r 전도성 링이 놓여 있다고 가정해 보겠습니다. 솔레노이드와 링의 대칭 축은 일치합니다. 링의 인덕턴스는 L , 저항은 R , 솔레노이드 전류의 각 주파수는 ω 로 나타냅니다. z 을 솔레노이드와 링의 공통 대칭 축을 따른 좌표로 정의합니다.

이 부분에서만 링의 자기장이 솔레노이드와 다리미에 미치는 작은 영향을 무시할 수 있습니다. 또한 링의 두께도 무시하세요.

이 패러데이의 법칙과 가우스의 법칙의 자기 버전인 가우스 법칙을 사용하겠습니다:

- 패러데이의 법칙: 자속 변화에 의해 생성되는 루프에서 유도된 전자기력(EMF)은 다음과 같습니다.

$$\epsilon = -d\Phi_B/dt.$$

- 자기 가우스 법칙: 닫힌 표면을 통과하는 총 자속은 0입니다.

원통형 대칭 자기장에 배치된 전류 루프는 총 힘을 경험합니다.

$$F_z = -2\pi r I(t) \frac{dB_z}{dz}$$

여기서 I 은 루프의 전류이고 B_z 루프 근처에 있는 외부 자기장의 방사형 성분(루프 반경 방향)입니다. F 힘의 양의 방향은 아래쪽, 즉 z 방향입니다. 전류 I 의 양의 방향은 그림 5에 나와 있습니다.

- a. (0.2포인트) 고리를 통과하는 진동하는 외부 자속 $\Phi_B(t) = \sqrt{2} \Phi_{rms} \sin(\omega t)$ 을 고려합니다. B_z

$\epsilon(t)$ - 주어진 자속으로만 유도되는 전자기장, $I(t)$ - 링에 유도되는 전류를 다음의 함수로 구합니다.

$$\Phi_B^{rms}, L, R, \omega, t$$

힌트: 저항과 전류 진폭이 모두 있는 AC 회로 요소의 EMF 진폭 ϵ_0 및 전류 진폭 I_0 은 다음과 같습니다.
인덕턴스는 $\epsilon = I_0 \omega^2 L^2 + R^2$ 전류는 위상만큼 지연되며 $\phi = \tan^{-1} \frac{R}{\omega L}$ 에 대해 다음과 같이 관련됩니다.

를 EMF로 전환합니다.

$\frac{R}{\omega L}$

- b. (0.6점) r 및 $\frac{dB_z}{dz}$ 에서 B_z 구하십시오. 여기서 z 링의 수직 축을 따라 좌표입니다.

비행기.

- c. (0.5점) 표시 $\langle F \rangle = \alpha \frac{L}{(R^2 + \omega L^2)} \cdot \frac{d(\epsilon_{rms})^2}{dz}$ 여기서 $\langle F \rangle$ 는 F 의 시간 평균값, (ϵ_{rms}) 은 RMS 입니다.

(루트-평균 제곱, 즉 진폭을 $\sqrt{2}$ 로 나눈 값)을 높이 z 의 루프에서 구합니다. 상수 α 를 구합니다(α 을 찾을 수 없는 경우, 뒷부분에서 α 의 크기를 1로 가정합니다).

힌트: 다음 ID 가 유용할 수 있습니다.

$$\begin{aligned} \cos(\alpha + \beta) &= \cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta \\ \sin(\alpha + \beta) &= \sin \alpha \cos \beta + \cos \alpha \sin \beta \\ \cos(\alpha - \beta) &= \cos \alpha \cos \beta + \sin \alpha \sin \beta \\ \sin(\alpha - \beta) &= \sin \alpha \cos \beta - \cos \alpha \sin \beta \end{aligned}$$

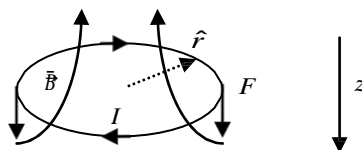


그림 5: 솔레노이드의 자기장에 있는 금속 링.

측정(5.1점)

다음의 모든 측정 및 분석에서 정밀도가 높은 결과가 더 높은 성적을 받는다는 점을 고려하세요. 모든 측정 및 결과에서 오차 추정치를 지정합니다.

저항 측정(2.6점)

이 부분에서는 AC 전원 공급 장치의 0.7V 단자를 사용해야 합니다. 제공된 전선을 사용하여 두 개의 0.7V 단자를 단락시키면 접점에 따라 5A–15A의 전류가 흐르게 됩니다. 3개의 짧은 전선이 2개의 긴 전류계와 더 잘 접촉한다는 점에 유의하세요. 주의: 구성품 과열을 방지하기 위해 24V 단자를 사용하지 마세요.

- d. (1.3점) 얇은 고리의 저항 R_{thin} 구하십시오. 답안지에 회로를 그립니다.

힌트: 각 링의 저항은 0.1Ω 보다 훨씬 작습니다. 얇은 링의 경우에는 저항에 대한 유도 임피던스입니다.

- e. (1.3포인트) 닫힌 링의 저항 R 구합니다. 필요에 따라 추가 측정을 수행합니다.

유도 전자기장 측정(1.5점)

- f. (1.) 솔레노이드를 전원 공급 장치의 24V 단자에 연결합니다. 넓게 열린 링의 축이 솔레노이드의 축과 일치하도록 배치합니다. 다른 높이 z , 즉 솔레노이드로부터 다른 거리에서 링의 유도 EMF ϵ_{rms} 를 측정합니다. 제공된 측정값을 기록하세요. 플롯 z (추세선 포함)의 함수로서 ϵ_{rms} 그래프입니다.

힘의 측정(1점)

- g. (1 포인트) 넓게 닫힌 링의 축이 솔레노이드의 축과 일치하도록 배치합니다. 링의 다른 높이 z , 즉 솔레노이드로부터 다른 거리에서 시간 평균 자력 $\langle F \rangle$ 을 측정합니다. 답안지의 제공된 표에 측정값을 기록하세요.

분석(3.6점)

- h. (1.4점) 미분 $\frac{d\epsilon^{(2)}}{dz}$ 의 절대값 구하기 ² $\frac{e^2}{ms}$ 의 $|dz|^2$ $\frac{ms}{ms}$ 에 대한 z 의 값에 대해 z 의 절대값을 구하십시오

부분(g) 단위로 힘을 측정했습니다. 답안 양식의 제공된 표에 값을 기록합니다. 이 부분에서는 오차 추정이 필요하지 않습니다.

- i. (2.) 선형 그래프를 사용하여 결과를 분석하여 L - 닫힌 링의 인덕턴스를 구합니다. $\omega L < R$ 을 사용할 수 있습니다.

참고: 닫힌 링의 두께가 눈에 띄게 두꺼워졌음에도 불구하고 파트(c)에서 도출한 공식은 여전히 높은 정확도로 적용됩니다. 이를 넓은 링의 인덕턴스에 대한 연산 *정의*로 사용하세요.

힌트: 링이 다리미에 너무 가까우면 측정값이 왜곡됩니다. 분석할 때 이러한 문제를 피하세요.

실험 질문 2: 광학 '블랙박스'

최근 몇 년 동안 TV와 컴퓨터 화면은 크게 발전했습니다. 오늘날 대부분의 디스플레이는 컬러 LCD 필터 매트릭스와 균일한 백색 백라이트 광원으로 구성됩니다. 이 실험에서는 LCD 화면의 백라이트 조명에 사용되는 재료로 고려되는 플라스틱 재료 샘플을 연구합니다.

장비

책상 위에는 다음 항목이 있습니다(그림 1 참조):

- (1) 샘플 - 슬라이드 프레임에 고정된 플라스틱 소재 조각입니다. **민감하므로 만지지 마세요.** 샘플의 위치를 조정하려면 홀더와 스탠드를 사용하세요.
- (2) 슬라이드 프레임을 위한 홀더와 스탠드입니다. 스탠드에는 샘플을 미세하게 회전하는 데 사용할 수 있는 손잡이가 포함되어 있습니다. **슬라이드 프레임을 홀더에서 분리하지 마세요.**
- (3) 흰색 LED. 손전등은 후면에 있는 버튼을 사용하여 켜고 끌 수 있습니다. **레이저와 혼동하지 마세요(그림 2 참조).**
- (4) 빨간색 레이저 포인터. **레이저에는 경고 레이블이 표시되어 있습니다.** 흰색 손전등과 혼동하지 마세요(그림 2 참조). 레이저는 검은색 캡을 앞뒤로 움직여 켜고 끌 수 있습니다. **캡을 제거하려고 하면 위험할 수 있으며 레이저가 파손될 수 있습니다.** 레이저의 배터리는 약 1시간이 지나면 약해지므로 필요 이상으로 오래 켜두지 마세요. 레이저의 파장은 $652\text{nm} \pm 2\text{nm}$ 입니다.
- (5) 두 광원에 사용할 하나의 스탠드를 준비합니다. **실험을 시작할 때 손전등은 다음과 같이 고정됩니다.**
레이저는 책상 위에 놓습니다.
- (6) 밀리미터 그래프 종이에 덮인 나무 다리 위에 흰색 화면이 있습니다. 화면 중앙 근처에 구멍이 있습니다. 화면에 표시를 할 수 있습니다.
- (7) 나무 벤치에서 앞뒤로 움직일 수 있는 나무 말뚝입니다. 벤치에 표시를 할 수 있습니다.
- (8) 줄자.
- (9) 통치자.
- (10) 밀리미터 그래프 용지.
- (11) 사용자의 편의에 따라 켜거나 끌 수 있는 데스크톱 램프입니다.

레이저 안전:

1. 레이저 빔을 응시하지 마세요!
2. 금속 표면의 반사에 주의하세요.
3. 다른 사람을 향해 레이저를 쏘지 마세요.
4. 레이저를 수리하거나 분해하려고 시도하지 마세요. 도움이 필요하면 감독자에게 문의하세요.

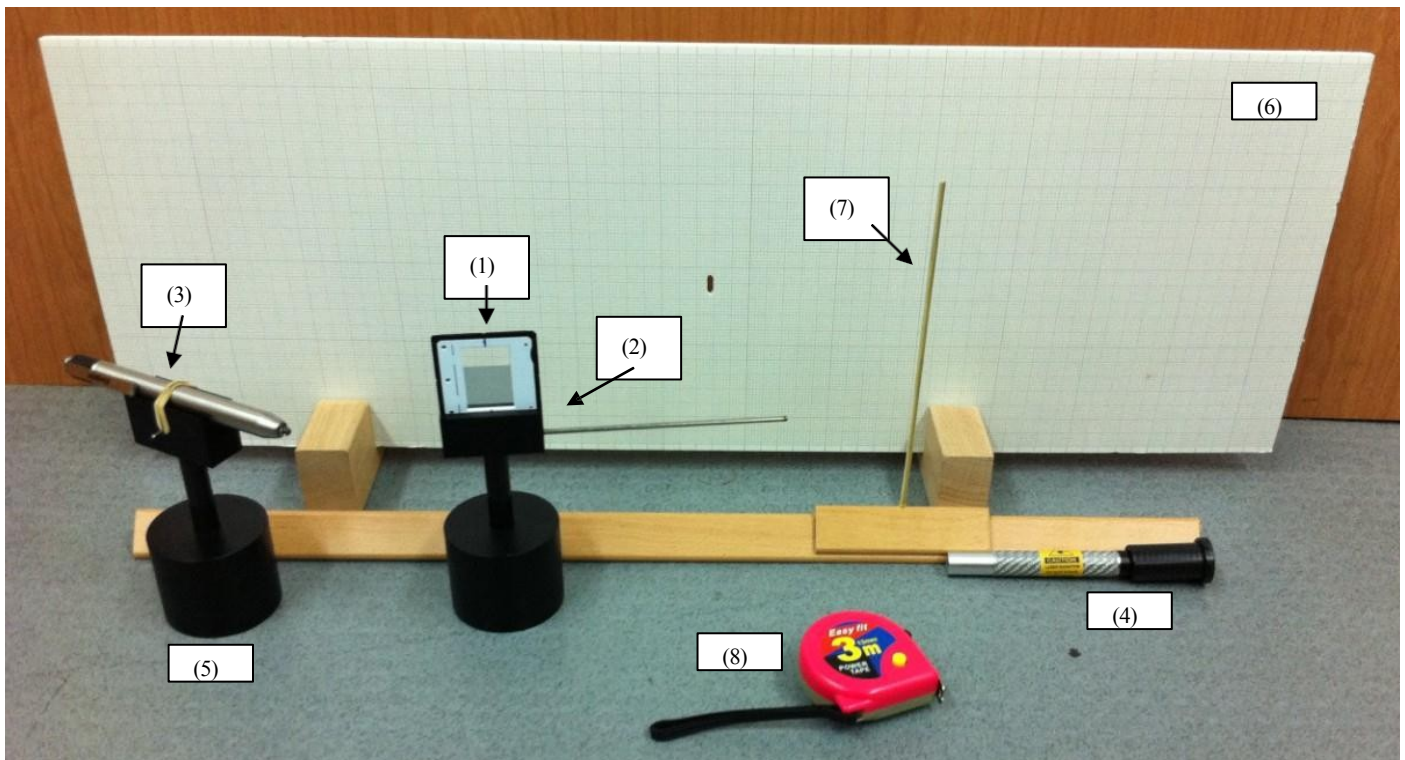
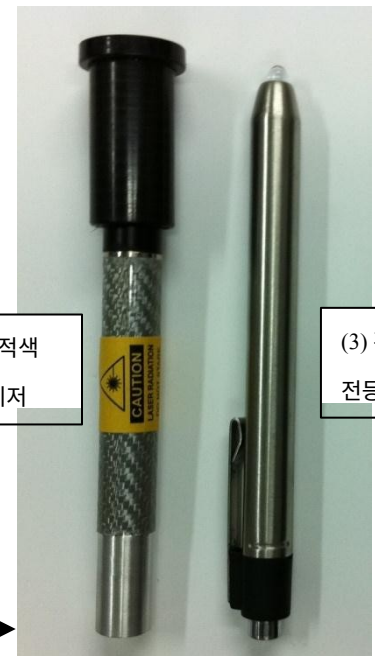


그림 1: 장비 요약

- (1) 플라스틱 샘플입니다.
- (2) 샘플 홀더 및 스탠드.
- (3) 흰색 LED 손전등.
- (4) 빨간색 레이저.
- (5) 광원을 의미합니다.
- (6) 화면이 밀리미터 그래프 용지로 덮여 있습니다.
- (7) 벤치에 나무 말뚝.
- (8) .



(4) 적색 레이저

(3) 흰색 손전등

그림 2: 두 광원의 클로즈업.

파트 I - 이론(0.4점)

- a. (0.4포인트) 광선이 두 개의 거울에서 반사되어 φ (그림 3)의 각도로 만나게 됩니다. 들어오는 나가는 광선 사이의 각도 γ 를 구합니다. 모든 광선이 거울의 교차선에 수직인 평면에 놓여 있다고 가정합니다.

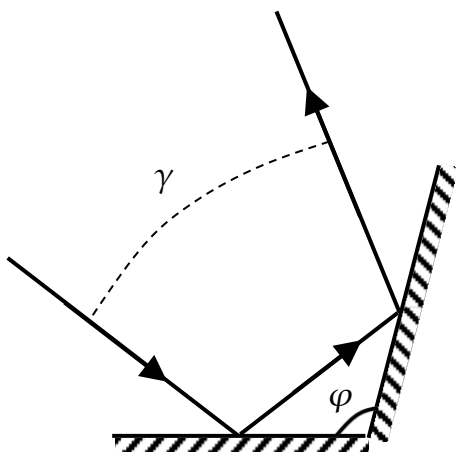
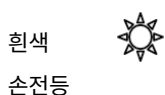


그림 3: 두 개의 거울에서 반사된
광선.

파트 II - 백색광을 사용한 측정(6.1점)

흰색 손전등을 광원으로 사용하여 시료의 투과 및 반사 특성을 모두 관찰할 수 있습니다. 그림 4는 두 가지 유형의 관찰을 위해 제안된 설정을 보여줍니다. 참고: 시료의 양면을 비출 때 서로 다른 결과를 관찰할 수 있습니다.

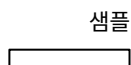
전송:



리플렉션:



그림 4: 백색광에 대한 권장
관찰 설정.



주의: 투과광을 보려면 샘플을 통해 손전등 빔을 직접 들여다보아야 합니다.

레이저로 이렇게 하지 마세요! 또한 손전등 자체를 직접 쳐다보지 마세요.

- b. (0.5포인트) 그림 5는 샘플의 미세한 구조에 대한 네 가지 가능성을 개략적으로 보여줍니다. n 은 플라스틱의 굴절률을 나타냅니다. 관찰한 내용에 가장 적합한 구조를 선택하세요. 참고: 그림에 표시된 5개의 마침표는 설명용입니다. 실제로 d 은 작고 샘플에 많은 기간이 포함되어 있습니다.

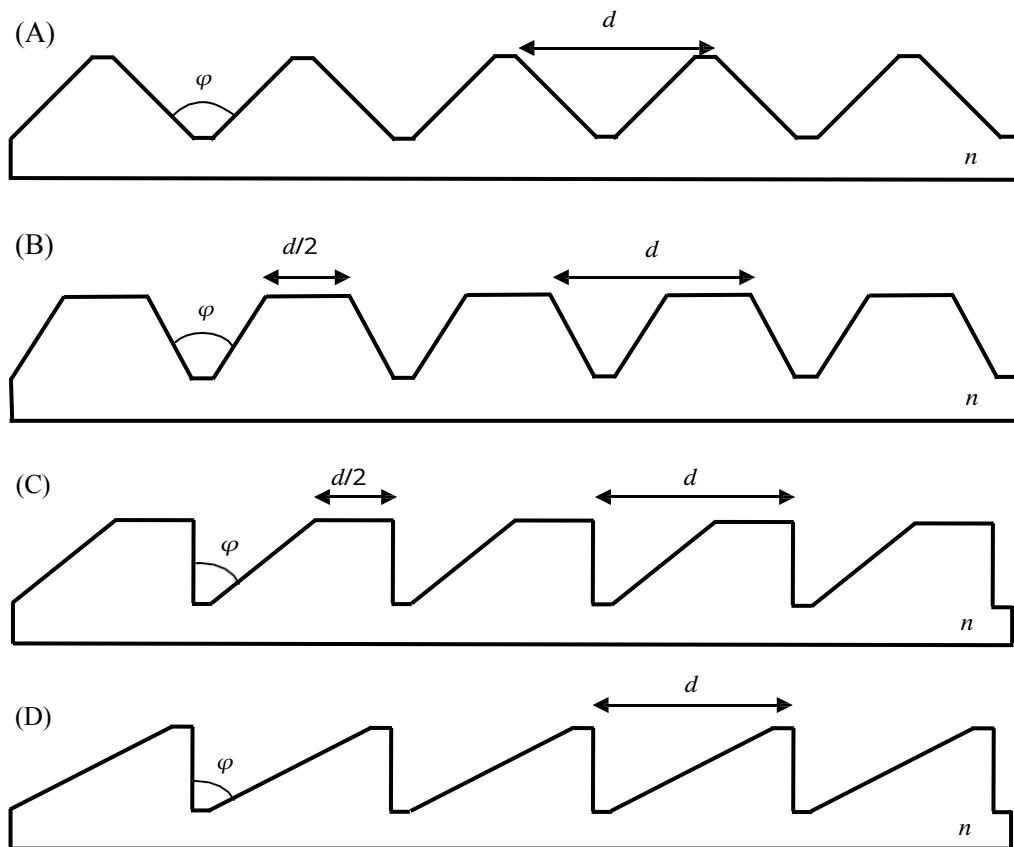


그림 5: 샘플 구조에 대한 다양한 가능성.

- c. (0.8포인트) 샘플의 각도 ϕ 구하고 오차를 추정합니다.
- d. (0.) 시료의 한쪽 측면에서 수직으로 흰색 광선을 입사하면 투과된 빛에서 광원에서 약간 오른쪽에 다음과 같은 희미한 관찰될 수 있습니다(그림 6). "R", "G" 및 "B"는 각각 빨간색, 녹색 및 파란색을 나타냅니다. 참고: 이 패턴은 관찰하기 어려울 수 있으며 측정이 필요하지 않습니다.

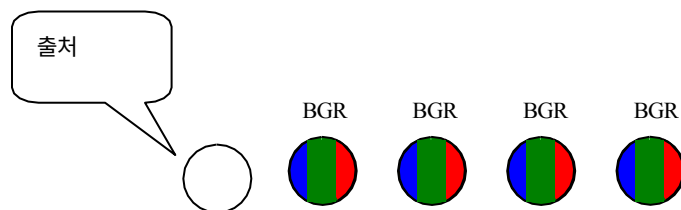


그림 6: 광원 근처의 희미한 패턴.

오른쪽으로 더 가면 훨씬 더 밝은 패턴을 볼 수 있습니다(그림 7):

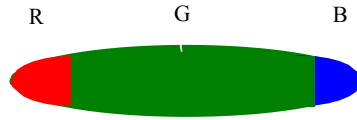


그림 7: 광원으로부터 오른쪽으로 멀리 떨어진 밝은 패턴.

올바른 옵션을 선택합니다:

- A. 모든 색상의 패턴은 간섭으로 인해 발생합니다.
 - B. 모든 컬러 패턴은 파장에 대한 n 의 의존성에서 비롯됩니다.
 - C. 그림 6에 표시된 패턴은 간섭으로 인한 결과이고 그림 7에 표시된 패턴은 파장에 대한 n 의 의존성으로 인한 결과입니다.
 - D. 그림 6에 표시된 패턴은 파장에 대한 n 의 의존성에 따른 결과이며, 그림 7의 패턴은 그림 7에 표시된 간섭으로 인한 결과입니다.
- e. (1.4포인트) 파트 (d)에서와 같이 백색광을 설정한 상태에서 그림 7에 표시된 주 피크에 대한 보라색광(스펙트럼의 맨 끝 파란색)의 편향 각도 δ_0 를 측정합니다. 편향 각도는 그림 7에 정의되어 있습니다.
8. 모든 중간 측정값을 기록합니다. 오차 추정치를 입력합니다.

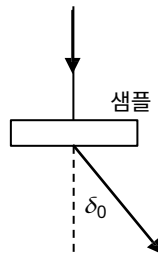


그림 8: 편향 각도 δ_0 .

- f. (1.) 다양한 입사각에서 샘플을 비추면 투과되는 주요 피크의 편향 각도가 달라집니다. 투과된 보라색 빛에 대한 주 피크의 최소 편향 각도 δ_{min} 를 측정합니다(이러한 최소 각도는 하나만 있습니다). 모든 중간 측정값을 기록합니다. 오차 제공 추정치입니다.
- g. (0.) 파트 (c)의 각도 φ 를 사용하여 시료의 굴절률 n_{δ_0} 또는 다음 중 하나로 표현하십시오. δ_{min} . 빛 전파의 가역성과 최소 각도가 하나뿐이라는 사실 δ_{min} 을 사용할 수 있습니다.
- h. (0.7포인트) 보라색 빛에 대한 샘플의 굴절률 n_v 과 오차 추정값을 구합니다.

파트 III - 레이저 측정(3.5점)

광원 스탠드에서 분리하고 레이저로 교체합니다. 그림 9에 표시된 것처럼 흰색 화면을 사용하여 투과 및 반사 패턴을 모두 볼 수 있습니다. 배터리 수명은 제한되어 있으므로 필요 이상으로 오래 켜두지 마세요. 구성 요소를 정렬할 때 레이저를 축을 중심으로 회전하는 것이 도움이 될 수 있습니다.

경고: 레이저 빔이나 반사된 레이저 광선을 직접 보지 마세요! 샘플을 통해 레이저 광선을 보지 말고 제공된 화면을 이용하세요.

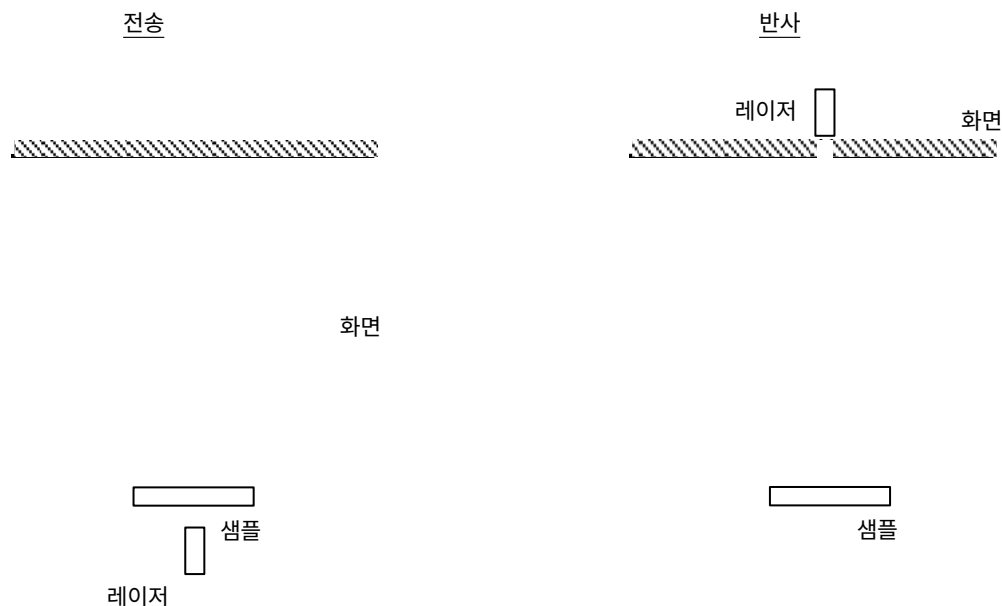


그림 9: 레이저 광선에 대한
제안된 관측 설정.

샘플을 살짝 회전하면서 화면에서 밝고 어두운 프린지가 번갈아 나타나는 패턴을 관찰합니다. 일부 프린지가 어두워지는 것은 샘플의 각 '치아'의 서로 다른 영역 간에 파괴적인 간섭이 발생하기 때문입니다.

- i. (1포인트) 그림 9의 설정 중 하나를 사용하여 샘플을 레이저 빔에 의해 수직으로 비추십시오. 관찰된 프린지의 편향 각도 θ 를 프린지 수 m 의 함수로 기록합니다. 패턴의 중심을 $m = 0$ 으로 정의합니다. 답안지에 제공된 표를 사용합니다. 모든 중간 측정값을 기록합니다. 오차 추정치를 제공합니다.
- j. (1.) 선형 그래프를 사용하여 샘플의 인접한 두 '치아' 사이의 간격 d 을 구합니다. 그래프의 오차 막대는 필요하지 않습니다. d 에 대한 오차 추정치를 제공합니다.
- k. () 부분 (g)에서 도출한 공식을 사용하여 레이저의 적색 파장에 대한 시료의 굴절률 n_r 구하십시오. 추가 측정값이 있으면 기록합니다. 오차 추정치를 제공합니다. **경고: 다음을 살펴보지 마십시오.**

샘플을 확인하세요! 제공된 화면을 사용하세요.