광학 측정

이 실험에서는 주어진 장비로 얻을 수 있는 최고의 정확도로 시료의 광학적 성질을 측정한다.

참고: 책상 아래에 두 번째 실험에 사용할 큰 물병 2개가 있다 – **마시지 말 것**.

파트 A에서는 서로 다른 두 방법으로 투명한 원판의 굴절률을 측정한다. 첫 번째 방법은 전통적인 방법이고, 두 번째 방법은 독창적이며 더 높은 수준의 정확도를 얻을 수 있게 해 준다.

파트 B에서는 레이저 파장 λ 와 회절격자의 격자 상수 d 의 비를 측정하며, 가능한 한 최고의 정확도를 얻는 것을 목표로 한다.

파트 C에서는 삼각 프리즘의 굴절률을 측정한다 – 역시 최고 수준의 정확도에 이르는 것을 목표로 한다.

이 실험을 위해 시험 시작 20분 후부터 100분 동안 시험장을 어둡게 한다(필요하면 탁상 램프를 써도 된다). 파트 A의 측정은 어두운 곳에서 하는 것이 더 편하지만, 대부분은 밝은 곳에서도 할 수 있다.

칸막이 벽을 스크린으로 써도 되며, 칸막이 벽에 접착 테이프를 붙여도 된다.

이 실험들에서는 광원으로 다이오드 레이저를 사용한다.

레이저 안전 수칙:

- **절대로 레이저 빔을 직접 들여다보지 말 것!**
- 모든 실험에서 레이저 빔은 수평이다. 어떤 면 위에서 레이저 빔의 위치를 측정할 때에는 **머리가 항상 레이저 빔보다 위에 있도록 하라.**
- 실험 칸막이의 출입구 쪽으로 레이저 빔을 향하게 하지 말 것.
- 측정을 하고 있지 않을 때에는 지정된 스위치로 레이저를 끌 것.

장비 목록

장비 1–9는 이 문제의 모든 파트에서 쓰이고, 장비 10–12는 문제의 각 파트에서 따로 쓰인다. 광학 장비가 여러 개 주어지므로, 표면이 더러워지지 않도록 수직면을 직접 만지지 않게 주의하라.

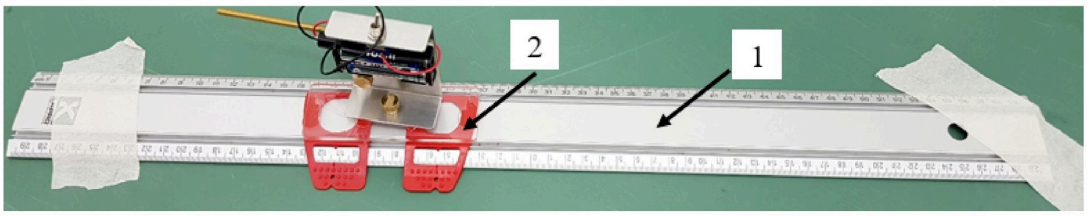
1. 자, 길이 60 cm
2. 자를 따라 움직일 수 있는 슬라이더
3. 슬라이더에 장착된 레이저 광원. 레이저는 두 높이, 즉 두 단계로 설정할 수 있다: 파트 A용 낮은 단계 3A와 파트 B, C용 높은 단계 3B. 레이저의 on/off 스위치는 그림에서 3C로 표시되어 있다
4. 나사 4A와 4B의 조임 정도가 회전에 대한 저항, 즉 장치의 안정성을 조절한다. 작은 금속 막대 4C를 써서 레이저의 방향을 바꿔라. 4C를 180도 돌리면 레이저의 높이가 바뀐다. 빔 편광은 미리 맞추어져 있으므로 레이저를 빔 축 둘레로 회전시키지 말 것
5. 스크린: 칸막이 벽을 써도 되며, 벽들이 서로 수직이라고 가정해도 된다
6. 장비를 책상에 붙이는 데 쓸 수 있는 접착 테이프 한 롤
7. 유연한 줄자
8. 여러 가지 자
9. 탁상 램프

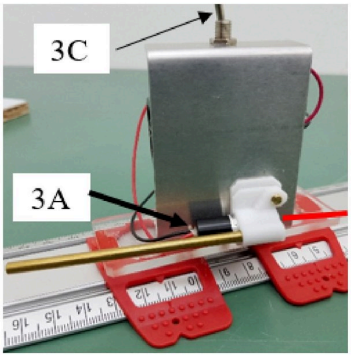
Q1-2

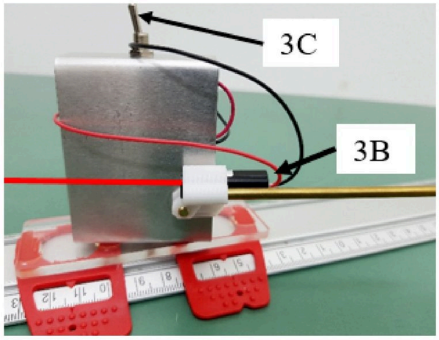
10.지름 20.00 cm의 둥근 투명 원판. 각도기에 고정되어 있고, 각도기는 나무 받침에 붙어 있다(파트 A용). 나무 받침에 붙어 있는 작은 나무 정육면체 4개는 떼어내야 한다

11.투명한 스크린으로 (손으로) 임시로 붙여 쓸 수 있는 트레이싱 페이퍼. 원판의 옆면에 대면 연마된 원판 표면을 더럽히지 않고 출사점을 측정할 수 있다(파트 A용). 그림처럼 종이에 선을 그으면 빔의 출사점을 더 정확하게 측정할 수 있다.

12.회절격자(12C)나 삼각 프리즘(12D)을 장착할 수 있는, 수직축을 따라 회전할 수 있는 나무 조각(12A)과 원통 홀더(12B)



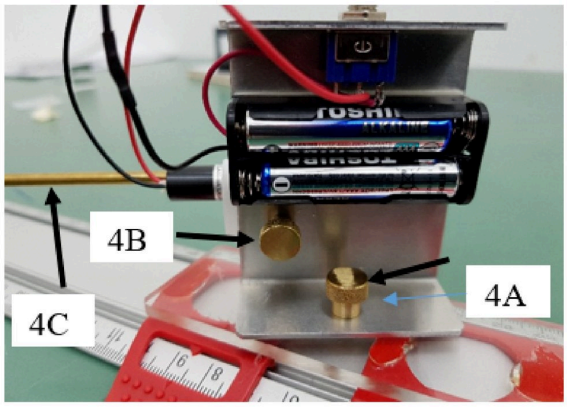


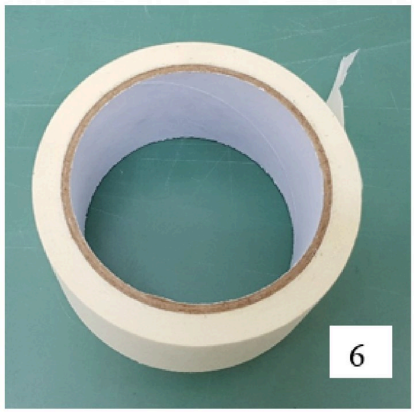


Experiment

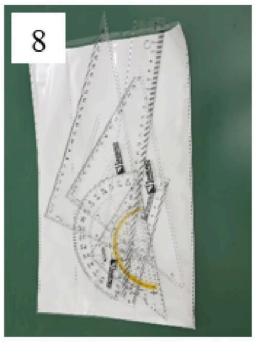
Q1-3

Korean (Korea (Republic of))

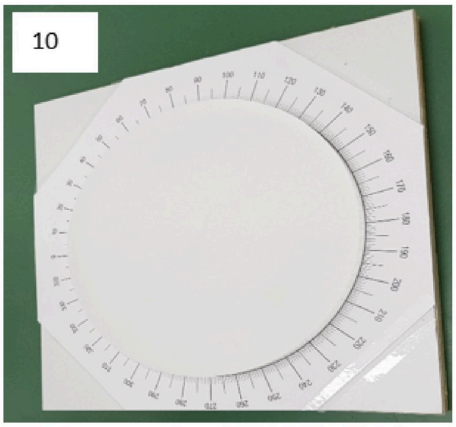


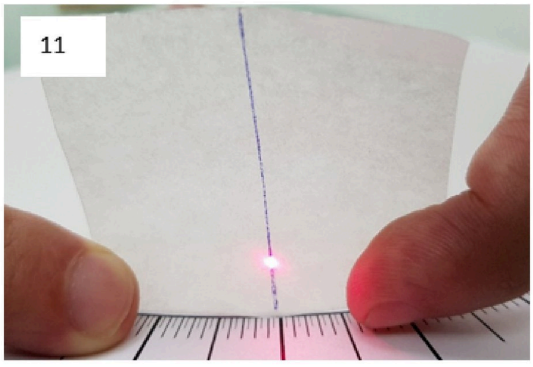


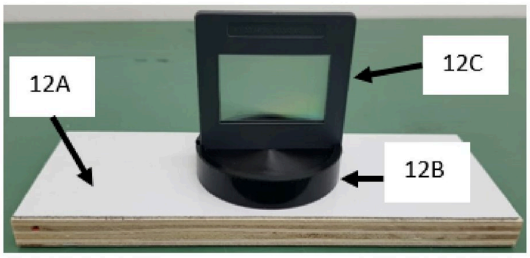


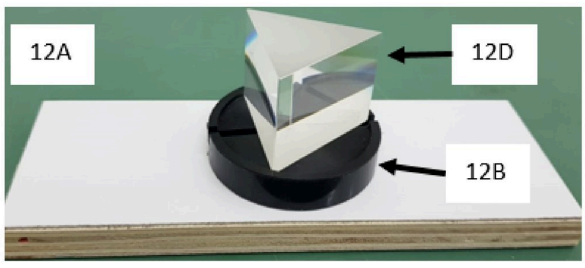










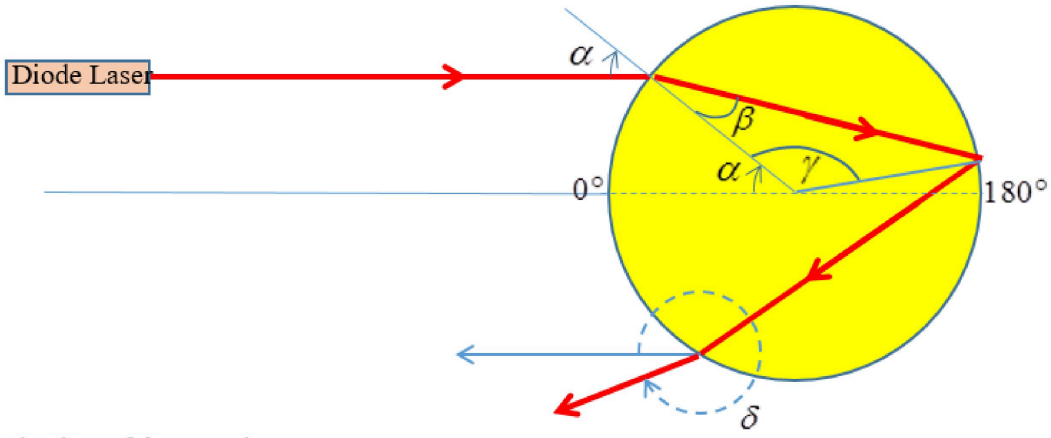


Q1-4

Korean (Korea (Republic of))

파트 A: 원판의 굴절률 (5.5점)

이 파트에서는 빛이 원판 안에서 굴절되고 반사되며 지나가는 경로를 관찰하여 투명한 원판의 굴절률을 측정한다.



실험의 개략도

정의와 기호:

α	원판과 입사 빔 사이의 입사각
$2\Delta\alpha$	입사각의 각퍼짐, 즉 입사각 α 값들이 놓인 범위의 크기
β	원판 안에서의 굴절각
γ	$= 180^\circ - 2\beta$
n	원판 물질의 굴절률
N	빔이 원판을 빠져나와 공기로 나가기 전에 원판의 경계에 부딪히는 횟수 (개략도에서는 $N = 3$)
δ	입사 빔의 방향과 나가는 빔의 방향 사이의 각으로, 시계 방향으로 잰다 (개략도는 $N = 3$ 일 때의 각 δ 를 보여 준다)
$2\Delta\delta$	δ 의 각퍼짐

각 α, β, δ 사이에 다음 관계가 성립함을 보일 수 있다:

$$\delta = 2\alpha + (N-1)(180^\circ - 2\beta)\,. \tag{1}$$

이 식은 유도하지 않고 써도 된다.

레이저 빔의 입사각을 조절할 수 있도록 접착 테이프로 자를 책상에 고정하고, 입사각을 쉽게 측정할 수 있게 레이저를 맞추어라. 그 다음 드러난 나무 받침의 모서리와 책상에 접착 테이프를 붙여 원판을 책상에 고정하라. 금속 막대 4C로 기울기를 조절하라. 레이저는 서로 다른 두 높이로 설정할 수 있다: 파트 A용 낮은

Q1-5

단계와 파트 B, C용 높은 단계. 입사 빔이 S 편광(반사가 더 강한 편광)이 되도록 레이저는 미리 맞추어져 있다. 입사 빔의 **편광을 바꾸지 말 것**(레이저를 빔 축 둘레로 돌리지 말 것)!

A.1 슬라이더가 달린 자, 원판, 레이저 빔이 지나가는 경로를 보여 주는 장치의 개략도를 그려라. 입사각 α 를 표시하라. 1.0pt
각 $15^\circ \le \alpha \le 75^\circ$ 사이에서 일련의 측정을 하고, α, $\Delta\alpha$, δ, $\Delta\delta$ 를 표 1에 적어라.
참고: δ 를 측정할 때에는 원판 위에서 $\delta/2$ 를 직접 재는 것이 더 편하다.

A.2 앞 단계의 측정을 이용하여, 굴절률 n 과 그 오차 Δn 을 뽑아낼 수 있는 적절한 그래프를 그려라. 추가로 계산해야 할 양이 있으면 표 1의 빈 칸에 계산한 값을 채워라. n 과 Δn 을 구하라. 1.0pt

A.3 A1에서 수행한 측정에 대해, α 의 함수로 δ 의 그래프를 그려라. 측정한 각 점에 $\Delta\delta$ 와 $\Delta\alpha$ 의 값을 막대로 표시하라. 최소의 δ 와 그에 대응하는 α 를 정확히 찾기 위해 추가 측정을 하라. 그것들을 $\delta_{\min}$ 과 $\alpha_{\min}$ 으로 나타내라. 0.5pt
최소점을 더 정확하게 찾기 위해 나가는 빔의 스크린으로 칸막이 벽을 써도 된다.

굴절률을 재는 두 번째 방법

이 절에서는 매우 정확한 결과를 얻을 수 있는 다른 방법을 개발한다. 달성할 수 있는 최고의 정확도로 측정해야 하지만, **오차 계산은 하지 않아도 된다**. 그래도 결과를 얻는 데 쓴 식들은 자세히 적어야 한다. 답안지에 그 식들을 쓰라.

A.4 A3에서 얻은 그래프의 모양을 바탕으로, 굴절률을 구하기 위한 측정을 수행할 최적의 각을 고르라. A4에서 개발한 방법으로 굴절률을 얻는 데 쓸 수 있는 식을 적어라. 0.7pt

A.5 $N = 3$ 에 대해, A4에서 개발한 방법을 써서 굴절률을 높은 정확도로 계산하는 데 필요한 측정을 수행하라. 0.8pt

- 원판과 빔 경로의 그림을 그리고, 측정한 양들을 그림에 표시하라.
- 수행한 측정을 기록하라.
- 측정을 분석하여 원판의 굴절률 n 을 달성할 수 있는 최고의 정확도로 계산하라. 필요하면 추가로 주어진 그래프 용지를 써도 된다.

A.6 $N = 4$ 와 $N = 5$ 에 대해 앞 과제에서 한 과정을 반복하라(장치와 빔 경로를 그릴 필요는 없다). 1.5pt

- $N = 4$ 에서 수행한 측정을 기록하라.
- $N = 4$ 에서의 측정을 분석하고, 이 측정들을 써서 굴절률 n 을 달성할 수 있는 최고의 정확도로 계산하라.
- $N = 5$ 에서 수행한 측정을 기록하라.
- $N = 5$ 에서의 측정을 분석하고, 이 측정들을 써서 굴절률 n 을 달성할 수 있는 최고의 정확도로 계산하라.
- $N = 3,\ N = 4,\ N = 5$ 에서의 측정으로 얻은 굴절률 값들로부터 굴절률의 평균값 $\langle n \rangle$ 을 계산하라.

파트 B: 회절격자의 변수 (2.5점)

이 파트에서는 오차 계산을 하지 않아도 된다.

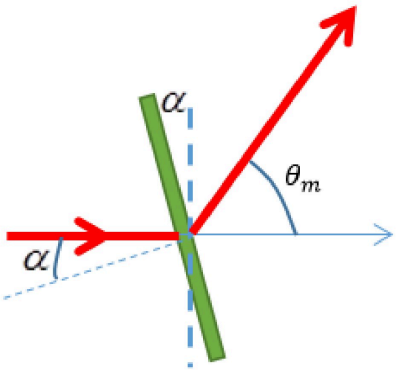
이 파트에서는 비 λ/d 를 구한다. 여기서 λ 는 레이저의 파장이고 d 는 격자 상수(이웃한 슬릿 사이의 거리)이다.

레이저 빔이 회절격자를 지날 때, 빔의 입사 방향과 (차수 m 의) 극대 세기가 얻어지는 방향 사이의 각 θ_m 은 다음과 같이 주어진다:

$$d \cdot \Big(\sin\ \alpha + \sin(\theta_m - \alpha) \Big) = m\lambda \tag{2}$$

여기서

m	회절 차수
α	빔과 격자 사이의 입사각
θ_m	빔의 원래 방향과 차수 m 의 극대가 얻어지는 방향 사이의 각
d	격자 상수 – 격자에서 이웃한 슬릿의 중심 사이의 거리



회절 차수가 높으면 파장을 더 잘 분리할 수 있다. 따라서 높은 회절 차수를 써서 정확하게 측정하면 λ/d 값의 상대 오차가 줄어든다.

나사 4B를 풀고 레이저의 높이(수직 위치)를 바꾸어라. 빔 방향에 수직인 수평축 둘레로 레이저를 180도 돌려(전선에 주의하라) 3B의 상태로 만들어라. 이렇게 하면 파트 B와 C를 수행할 수 있다. 회절격자로 측정할 때 장치의 정렬을 미세 조정하려면 금속 막대 4C를 써라. 레이저 빔이 스크린에 수직이 되도록 정렬하라. 회절격자를 지정된 홀더 12B의 홈에 끼워라. 회절격자의 방향은 격자의 한 면에 붙어 있는 스티커로 표시한다. 스티커가 붙은 격자 면이 레이저를 향하고 스티커가 격자의 위쪽에 오도록 하라. 각 격자에는 고유한 ID가 있으며 스티커에 적혀 있다. **답안지의 해당 칸에 여러분의 격자 ID를 쓰라.**

이 파트 전체에서, 파트 A의 두 번째 절에서 쓴 것과 비슷한 생각을 이용하면 도움이 될 수 있다.

B.1 0.7pt

- 답안지에 장치의 그림을 그려라. 그림에는 책상 위의 레이저, 회절격자, 레이저 빔의 자취, 빔이 스크린에 닿는 점들, 그리고 측정한 양들을 표시하라.
- $m = 1$ 에 대해 측정을 수행하라. 측정한 값들을 적어라. 비 λ/d 를 뽑아내라.
- $m = 2$ 에 대해 측정을 수행하라. 측정한 값들을 적어라. 비 λ/d 를 뽑아내라.

B.2 1.8pt

더 높은 회절 차수($m > 2$)를 써서 비 λ/d 를 구하라.

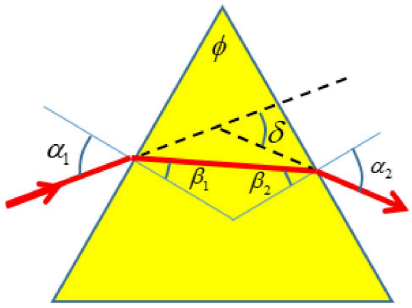
- 답안지에 $m = 3$ 일 때와 $m = 4$ 일 때 장치의 그림을 각각 그려라. 그림에는 레이저, 회절격자, 레이저 빔의 자취, 빔이 스크린에 닿는 점들, 그리고 측정한 양들을 표시하라.
- 차수 $m = 3, 4$ 각각에 대해 측정을 수행하라. 측정한 값들을 적어라. 각 m 에 대해 측정된 비 λ/d 를 뽑아내라.

파트 C: 삼각 프리즘의 굴절률 (2.0점)

거의 정삼각형인 삼각 프리즘이 주어진다. 프리즘의 세 면은 평평하고 잘 연마되어 있다. 프리즘의 각은 60° 에서 벗어날 수 있지만 0.7° 를 넘지는 않는다. 프리즘의 각을 측정할 필요는 없다. 이 절의 목표는 프리즘을 이루는 물질의 굴절률을 재는 것이다. 굴절률의 오차를 줄이기 위해, 작은 각 근사(x 를 라디안으로 잴 때 $\sin x \approx x,\ \cos x \approx 1$)를 써서 프리즘 각의 작은 편차를 보정할 수 있다. 이 절에서는 **오차 계산을 해야 한다**. 아래 그림은 한 면으로 들어가 다음 면으로 나오는 광선의 예를 보여 준다.

Q1-8

Korean (Korea (Republic of))



측정에서 최고의 정확도를 얻을 수 있도록 슬라이드 자를 책상 위의 알맞은 곳에 놓아라.

프리즘을 지정된 홀더 12B에 놓아라.

C.1	대칭인 경우, 즉 $\alpha_1 = \alpha_2$ 일 때 정삼각형 프리즘에 대해 다음 관계가 성립한다: $n = 2\sin(\delta_{sym}/2 + 30^\circ)$. • 프리즘의 굴절률을 최고의 정확도로 구할 수 있는 방법을 개발하라. • 굴절률을 구하는 데 쓰는 식들을 답안지에 자세히 적어라.	0.4pt

C.2	• 측정한 양들과 그 값들을 (오차를 포함하여) 답안지에 기록하라. • 레이저의 파장에 대한 프리즘의 굴절률과 그 값의 오차를 계산하라.	1.6pt