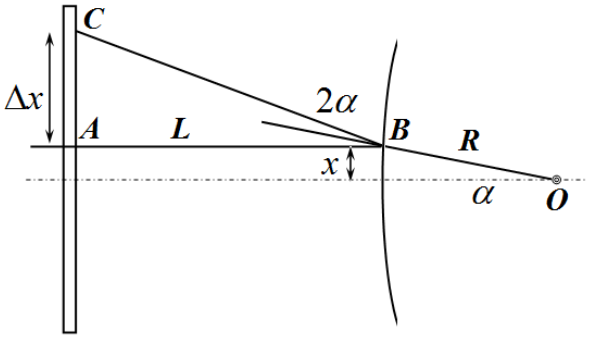
실험 시험 문제 풀이
광고 트릭

1부. 렌즈

1.1-1.2 그림은 렌즈 면에서 반사된 빛살 ABC의 경로를 보여 준다. 그림에서 알 수 있듯이, 반사된 빛살은 렌즈의 축과 2α의 각을 이룬다. 여기서



$$\alpha = \frac{x}{R}, \qquad (1)$$

R는 면의 곡률 반지름, O는 곡률 중심이다. 따라서 스크린 위에서 반사 빛살의 변위는 다음 식으로 정해진다.

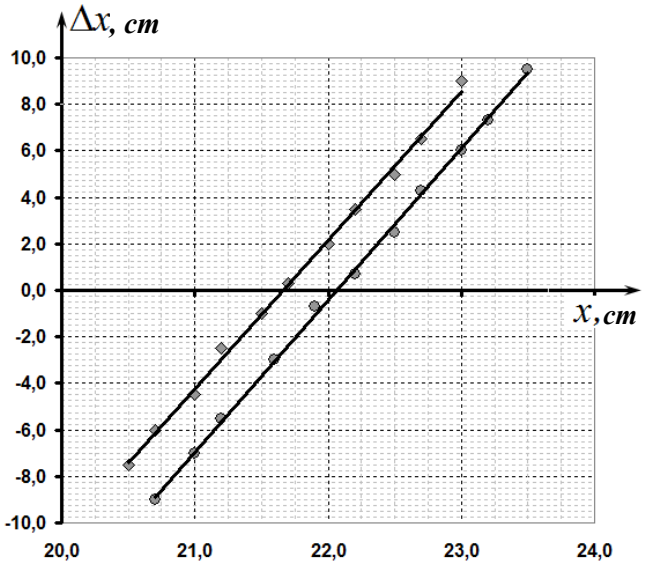
$$\Delta x = 2\alpha L = \frac{2L}{R}x\,. \qquad (2)$$

따라서 렌즈의 변위 x에 따른 빛살의 변위 Δx 그래프의 기울기로부터 면의 곡률 반지름을 구할 수 있다. 기울기를 구할 때에는 면의 중심 위치를 정확히 알 필요가 없으며, x의 원점은 마음대로 정할 수 있다.

표 1에 렌즈의 두 면에 대한 빛살 변위의 측정 결과를 나타내었다. 측정은 $L = 22$ cm에서 하였다. 옆에 얻은 관계의 그래프를 나타내었다.

표 1

면 1		면 2	
x, cm	Δx, cm	x, cm	Δx, cm
23,5	9,5	23,0	9,0
23,2	7,3	22,7	6,5
23,0	6,0	22,5	5,0
22,7	4,3	22,2	3,5
22,5	2,5	22,0	2,0
22,2	0,7	21,7	0,3
21,9	-0,7	21,5	-1,0
21,6	-3,0	21,2	-2,5
21,2	-5,5	21,0	-4,5
21,0	-7,0	20,7	-6,0
20,7	-9,0	20,5	-7,5



기울기는 최소 제곱법으로 계산하는 것이 더 좋다. 곡률 반지름은 식 (2)에서 나오는 다음 식으로 계산한다.

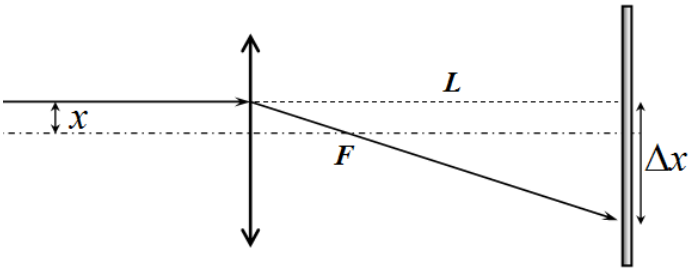
$$K = \frac{2L}{R} \quad \Rightarrow \quad R = \frac{2L}{K}. \qquad (3)$$

계산하면 다음 값이 나온다.

첫째 면: $K_1 = 6{,}51 \pm 0{,}14$; $R_1 = (6{,}76 \pm 0{,}14)$ cm

둘째 면: $K_2 = 6{,}4 \pm 0{,}2$; $R_2 = (6{,}9 \pm 0{,}2)$ cm

1.3-1.4 그림은 렌즈에서 굴절된 뒤 빛살의 경로를 보여 준다. 삼각형의 닮음으로부터 다음 비례식이 나온다.



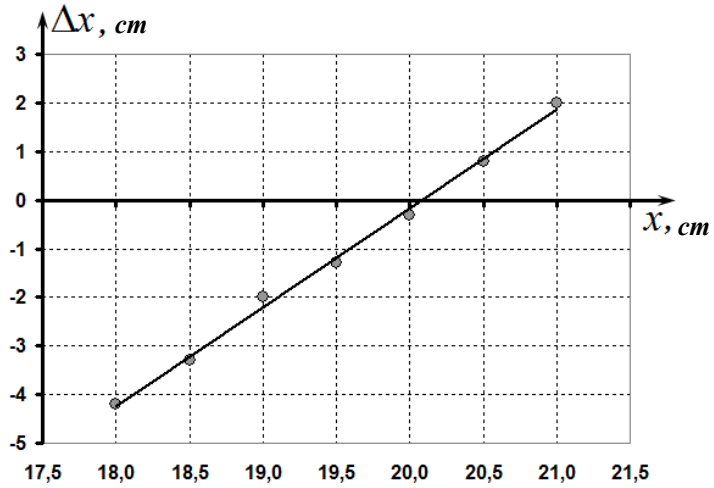
$\frac{x}{F}=\frac{\Delta x}{L}$. 따라서 렌즈의 변위에 따른 빛살의 변위는 다음 꼴이다.

$$\Delta x=\frac{L}{F}x. \qquad (4)$$

표 2에 $L=15$ cm에서 한 측정 결과를 나타내었다. 이 관계의 그래프를 그림에 나타내었다.

표 2

x, cm	Δx, cm
21,0	2,0
20,5	0,8
20,0	-0,3
19,5	-1,3
19,0	-2,0
18,5	-3,3
18,0	-4,2



최소 제곱법으로 계산한 이 관계의 기울기는 $K_3=2{,}03\pm0{,}10$이다.

따라서 렌즈의 초점 거리는 다음과 같다.

$$F=\frac{L}{K_3}=(7{,}4\pm0{,}4)\text{ cm}. \qquad (5)$$

1.5 초점 거리 공식으로부터, 렌즈의 굴절률은 다음 식으로 계산할 수 있다.

$$n=1+\frac{\frac{1}{F}}{\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}}=1+\frac{\frac{1}{7{,}4}}{\frac{1}{6{,}76}+\frac{1}{6{,}9}}\approx1{,}5.$$

결정 오차는 $\Delta n\approx0{,}2$이다.

2부. 프레넬 거울

프레넬 거울은 주기가 변하는 회절 격자로 볼 수 있다. 고리의 반지름이 번호 k에 따라 다음 법칙으로 달라지면

$$r_k=r_0k^{\gamma}, \qquad (6)$$

k가 클 때 고리 사이의 간격은 다음 식으로 구한다.

$$\Delta r=r_0\left((k+1)^{\gamma}-k^{\gamma}\right)=r_0k^{\gamma}\left(\left(1+\frac{1}{k}\right)^{\gamma}-1\right)\approx\gamma\, r_0k^{\gamma-1}. \qquad (7)$$

이 양은 격자의 주기 d로 볼 수 있다. 실험 데이터를 처리하려면 이 양을 거울 중심까지의 거리로 나타내야 한다. 식 (6)으로부터 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$k = \left(\frac{r}{r_0}\right)^{\frac{1}{\gamma}}. \tag{8}$$

따라서 격자의 주기는 거리에 따라 다음 법칙으로 달라진다.

$$d = \gamma r_0 \left(\frac{r}{r_0}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}. \tag{9}$$

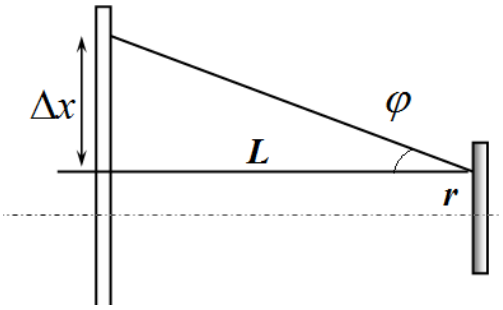
이 관계는 실험에서 다음 회절 격자 공식을 이용하여 얻을 수 있다.

$$d \sin\varphi = \lambda. \tag{10}$$

이 식으로부터, 꺾인 각의 사인 값은 거울의 변위 r에 따라 다음 법칙으로 달라진다.

$$\sin\varphi = \frac{\lambda}{d} = Cr^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}. \tag{11}$$

실험에서는 빛살이 닿는 점에서 거울 중심까지의 거리 r에 따른 반사 빛살의 변위 Δx를 측정할 수 있다. 이 경우에는 꺾인 각을 작다고 볼 수 없으므로, 꺾인 각 φ의 사인 값은 다음 식으로 계산해야 한다.

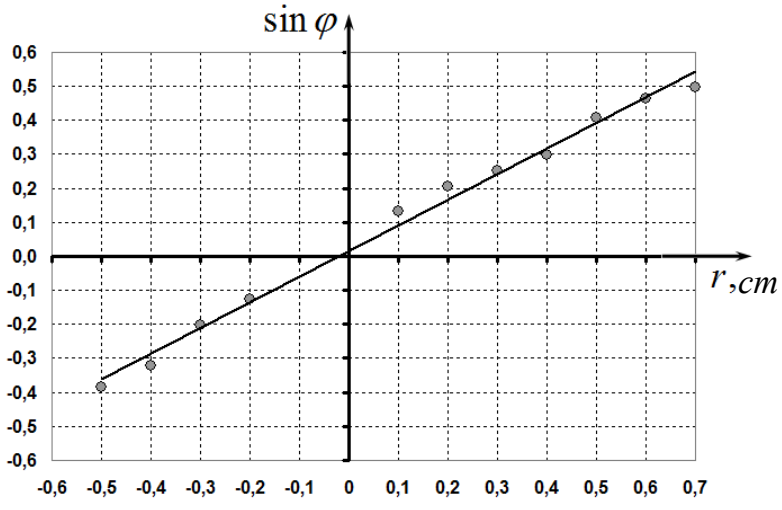


$$\sin\varphi = \frac{\Delta x}{\sqrt{(\Delta x)^2 + L^2}}. \tag{12}$$

표 3에 거리 r에 따른 빛살 변위 Δx의 측정 결과와, 계산으로 구한 꺾인 각의 사인 값을 나타내었다. 옆에 거리 r에 따른 꺾인 각의 사인 값의 그래프를 나타내었다.

표 3

r, cm	Δx, cm	$\sin\varphi$
0,7	11,0	0,497
0,6	10,0	0,463
0,5	8,5	0,406
0,4	6,0	0,297
0,3	5,0	0,253
0,2	4,0	0,207
0,1	3,0	0,159
-0,2	-2,5	-0,127
-0,3	-4,0	-0,201
-0,4	-6,5	-0,321
-0,5	-8,0	-0,385



얻은 관계가 선형에 가까우므로, 일반식 (11)에 따라 구하는 지수는 $\gamma = 0{,}5$이다.

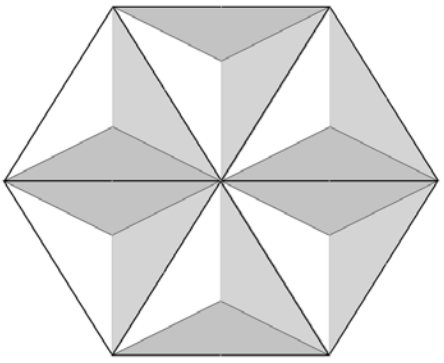
3부. 반짝이는 띠

반사광에서는 적어도 다섯 개의 반사 빛살이 보인다. 하나는 가운데에, 넷은 정사각형의 꼭짓점에 있다. 이런 무늬는 2차원 격자에 의한 회절로 설명할 수 있다. 측정 결과에 따르면 회절각은 약 45° 이다. 따라서 격자의 주기는 다음과 같다.

$$d = \frac{\lambda}{\sin 45^\circ} = \frac{680 \cdot 10^{-9}\ \text{m}}{\frac{\sqrt{2}}{2}} \approx 9{,}6 \cdot 10^{-7}\ \text{m}.$$

4부. 플라스틱 투명 요소

빛이 플라스틱 띠를 지나가면 스크린에 여섯 개의 점이 보이는데, 이 점들은 정육각형의 꼭짓점에 놓인다. 이런 무늬는 정삼각뿔의 면에서 빛이 굴절하기 때문에 생긴다. 삼각뿔들의 밑면은 평면을 빈틈없이 채우며 육각형 구조를 이룬다.



스크린이 $L = 6{,}5\ \text{cm}$ 거리에 있을 때 육각형의 한 변의 길이는 $a = 4{,}5\ \text{cm}$이다. 정육각형의 중심까지의 거리도 이와 같다. 이 데이터로 빛살의 꺾인 각의 사인 값을 계산할 수 있다.

$$\sin\alpha = \frac{a}{\sqrt{a^2 + L^2}} = 0{,}57\,.$$

이론 시험 문제에서는 이 각에 대해 다음 식을 얻었다.

$$\sin\gamma = \sqrt{\frac{2}{3}}\sqrt{n^2 - \frac{2}{3}} - \frac{\sqrt{2}}{3},$$

이 식으로 굴절률 $n = 1{,}51$을 계산할 수 있다.

채점 기준

1부. 렌즈		**(6)**
1.1	측정: - *L*을 적음; - 측정점 7개 이상; - *(측정점 4–6개);* - *(측정점 4개 미만);*	 0,2 0,7x2 *(0,3x2)* *0*
	관계의 그래프: - 축에 이름과 눈금 수치를 적음; - 모든 실험점을 그림; - 매끄러운 직선을 그림;	 0,1 0,1x2 0,1x2
1.2	곡률 반지름의 계산: -관계의 꼴 (2); - 식 (3); - 기울기를 계산함: - 최소 제곱법으로; - *(그래프로);* - *(두 점으로);* 곡률 반지름의 계산: - 6,5–7,5 cm 범위; - *(5–9 cm 범위);* - *(5–9 cm 범위 밖);*	 0,1 0,1 0,3x2 *(0,2x2)* *(0,1x2)* 0,2x2 *(0,1x2)* *(0x2)*
1.3	측정: - *L*을 적음; - 측정점 5개 이상; - *(측정점 3–4개);* - *(측정점 3개 미만);*	 0,2 0,5 *(0,3)* *(0)*
	관계의 그래프: - 축에 이름과 눈금 수치를 적음; - 모든 실험점을 그림; - 매끄러운 직선을 그림;	 0,1 0,1 0,1
1.4	초점 거리의 측정: - 식 (4); 기울기를 계산함: - 최소 제곱법으로; - *(그래프로);* - *(두 점으로);* 초점 거리의 계산: - 7–8 cm 범위; - *(6–9 cm 범위);* - *(6–9 cm 범위 밖);*	 0,2 0,3 *(0,2)* *(0,1)* 0,4 *(0,2)* *(0)*
1.5	굴절률의 계산: - 계산식; - 수치가 1,45–1,55 범위; - *(1,35–1,65 범위);* - *(1,35–1,65 범위 밖);* - 오차 추정;	 0,1 0,5 *(0,2)* *(0)* 0,2

2부. 프레넬 거울.		**(4)**
2.1	측정: - *L*을 적음; - 측정점 7개 이상; - *(측정점 4–6개);* - *(측정점 4개 미만);*	 0,2 0,8 *(0,4)* *(0)*
	사인 값을 구하는 식; 사인 값을 계산함;	0,1 0,2
	거의 선형인 관계를 얻음;	0,5
	그래프: - 축에 이름과 눈금 수치를 적음; - 모든 실험점을 그림; - 매끄러운 직선을 그림;	 0,1 0,1 0,1
	γ를 구하는 방법: - 회절 격자라는 생각; - 중심까지의 거리에 따른 주기의 관계 (9); - 중심까지의 거리에 따른 꺾인 각의 사인 값의 관계 (11);	 0,3 0,4 0,4
	얻은 γ 값: - 사인 값의 선형 관계로부터; - 다른 타당한 방법으로; $\gamma = \frac{1}{2}$; *- 0,3–0,7 범위;* *- 0,3–0,7 범위 밖;*	 0,3 *(0,2)* 0,5 *(0,2)* *(0)*
3부. 반짝이는 띠.		**2**
	- 스크린에서 5개보다 많은 점을 얻음; *- (스크린에서 점 5개를 얻음);* *- (스크린에서 점 3개를 얻음);*	0,4 *(0,3)* *(0,2)*
	구조는 회절 격자: - 2차원; *- (1차원);*	 0,5 *(0,3)*
	빛살의 꺾인 각을 측정함; 격자 주기를 계산하는 식; 격자 주기를 계산함(1 μm); - 오차 10% 미만 범위; *- (30% 범위);* *- (30% 범위 밖);*	0,4 0,2 0,5 *(0,2)* *(0)*
4부. 플라스틱 투명 요소.		**3**
	- 스크린에서 점 6개를 얻음;	0,5
	구조 - 프리즘; 평면을 채움(육각형 구조);	0,5 0,5
	굴절률을 계산하는 식; 빛살의 꺾인 각을 측정함; 굴절률의 수치: - 수치가 1,45–1,55 범위; *- (1,35–1,65 범위);* *- (1,35–1,65 범위 밖);*	0,5 0,5 0,5 *(0,3)* *(0)*