

1. 실험목적

- 레이저 광을 이용하여 빛의 반사 및 굴절 법칙을 이해하고, 임계각을 측정하여 물질의 굴절률을 구한다.
- 광섬유에서 빛이 진행하는 시간을 측정하여 광섬유 내의 빛의 속력을 측정하고 광섬유의 굴절률을 구한다.

2. 실험이론

- 빛이 굴절률이 n_1 인 매질에서 굴절률이 n_2 인 매질로 들어갈 때, 그 경계면에서 반사와 굴절이 일어난다. 경계면의 법선과 입사광선이 이루는 각을 입사각 θ 라 하고 θ' 과 θ'' 은 각각 반사각과 굴절각이라 하면 빛의 입사각에 의해 $\theta = \theta'$ 이고 스넬의 법칙에 의해 $n_1 \sin \theta = n_2 \sin \theta''$ 이다.
- 굴절률이 큰 물질(n_1)에서 굴절률이 작은 물질(n_2)로 빛이 진행할 때에 어떤 입사각 θ_c 이상에서는 굴절광은 없고 모든 빛이 반사되는 전반사 현상이 나타난다. 전반사가 시작되는 입사각 θ_c 를 임계각이라 하는데 굴절각이 90° 이므로 $\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$ 의 관계가 성립한다. $n_2=1$ 즉 진공이라고 하면, 전반사가 일어나는 임계각 θ_c 와 입사 매질 n_1 과의 관계식은 $\sin \theta_c = \frac{1}{n_1}$ 이다.
- n_1 이 n_2 보다 클 때, 즉 밀한 매질에서소한 매질로 빛이 입사하면 $\theta_1 < \theta_2$ 이다. 입사각 θ_1 이 점점 커지면 굴절각 θ_2 도 따라서 커지는데 $\theta_2 = 90^\circ$ 가 된 다음부터는 굴절광선이 사라지고 반사광선만 있다. $\theta_2 = 90^\circ$ 일 때 입사각 θ_1 을 임계각(θ_c)이라고 하며, $\theta_c = \sin^{-1} \frac{n_2}{n_1}$ 가 된다. $\theta_1 > \theta_2$ 일 때는 굴절의 법칙을 만족하는 θ_2 가 존재하지 않으며, 이때 모든 빛은 반사된다. 이 현상을 전반사 현상이라고 한다. 빛이 유리에서 공로 진행하는 경우 $n_1=1.5$, $n_2=1$ 이므로 임계각은 $\theta_c = \sin^{-1} \frac{1}{1.5} \approx 42^\circ$ 이다.
- 입사광의 입사각이 임계각보다 크면 전반사를 하면서 광섬유 코어 도파로를 따라 끝까지 전달된다. 입사광의 입사각이 임계각보다 작으면 코어 내에서 전반사되지 못하여 광섬유 코어 도파로를 따라 끝까지 전달되지 못한다.
- 굴절률이 n 인 매질 속에서의 빛의 속력은 다음과 같다. $v = \frac{c}{n}$
- 길이가 L 인 광섬유를 빛이 통과하는데 걸린 시간을 t 라고 하면 광섬유 내에서 빛의 속력 v 과 굴절률 n 은 $v = \frac{L}{t}$, $n = \frac{c}{v}$ 이다.
- 단순히 굴절률이 n 인 ^큰 매질 안에서 빛이 진행할 때는 빛의 속력이 $v = \frac{c}{n}$, $n = \frac{c}{v}$ 로 계산되고, 광도파의 경계에 입사광이 코어 내부만을 따라 진행한다면 빛의 실제 진행 속도는 $v = c/n_{core}$ 가 된다.
- 실제 광섬유에서 코어 도파로 내에서 코어와의 경계면에서 반사하면서 빛이 진행할 때는 빛의 속력은 코어 굴절률과 코어는 굴절률이 반영된 유효굴절률 n_{eff} 에 의해 빛의 속력은 $v = c/n_{eff}$ 로 결정된다. 유효굴절률은 $n_{core} > n_{eff} > n_{clad}$ 로 n_{core} 보다는 작으나 n_{clad} 보다는 큰 값을 가진다. 간단한 플렉시블 광섬유인 경우에는 코어가 없이 코어가 플렉시블이고 바깥공칭이 코어 역할을 하므로, n_{eff} 은 $n_{plastic} > n_{eff} > n_{air}$ 에 속하는 굴절률을 가지게 되고 빛의 진행 속력은 $v = c/n_{eff}$ 로 나타내어진다. 실제로 광섬유를 진행하는 빛에 대해서 측정된 굴절률 값은 n_{core} 가 아니고 바로 유효굴절률 n_{eff} 이다.

3. 실험장치 및 실험과정

(1) 실험장치

- | | | | |
|-----------------------|-------------|-------------------------------------|-----------------|
| - 반원형 포름 (유리 또는 플라스틱) | - 기저대 | - 빛의 속력 측정 장치 | - 인실코스코프 |
| - 극조광판 | - He-Ne 레이저 | - 9V DC 어댑터 | - 인실코스코프 프로브 2개 |
| - 평면거울 | | - 광섬유 15cm, 10m, 20m, 30m, 40m, 50m | |

- 파장을 짧게하여 빛을 입사시키면 굴절각이 파장이 짧을 때보다 같은 입사각에 대해 커지게 된다. 따라서 같은 매질을 통과할지라도 파장이 긴 경우보다는 파장이 짧을 때 더욱 굴절을 많이하게 될 것이다.
- 광섬유에서 코어에서 clad로 빛을 입사시키면 빛의 입사각이 임계각보다 큰 경우 전반사가 일어난다. 이는 빛이 밀한 매질에서소한 매질로 입사하고 입사각이 임계각보다 크기 때문에 가능한 것이다.

3) 회절격자의 슬릿 간격 측정

- ① 이중슬릿을 회절격자 1(슬릿수: 100/mm)로 교체하여 스크린에 간섭무늬가 잘 보이도록 회절격자와 스크린 사이의 간격 R 을 조절한 후 R 값을 측정한다.
- ② 스크린에 나타나는 중앙의 간섭무늬를 기준으로 차례대로 밝은 무늬 사이 간격 $Y_m^{(2\text{번})}$ 을 기록한다.
- ③ 회절격자 2(슬릿수: 300/mm)에 대해서도 간섭무늬의 간격 $Y_m^{(2\text{번})}$ 을 측정한다.
- ④ 식 $Y_m^{(2\text{번})} = R \frac{m\lambda}{d}$ 를 이용해 회절격자의 슬릿 간격 d 를 구하여 얻어진 회절격자의 슬릿수와 비교해본다.

(4) 예비고찰

- 1) 단일슬릿 측정 실험에서는 레이저의 파장 λ 와 슬릿과 스크린 사이의 거리 R 이 주어졌을 때 스크린 상에 아두의 위치 Y_n 를 구한 뒤, 세 개의 값은 (λ, R, Y_n) 이용해 슬릿의 폭 a 를 구하는 것이다. 이때 $Y_n^{(1\text{번})} = R \frac{n\lambda}{a}$ 관계식은 이용해 n 이 증가함에 따라 Y_n 이 증가하게 되므로 차수 n 이 달라짐에 따라 a 의 값이 변하는 것이 아니며 일정한 값을 유지한다.
- 2) 이중슬릿 사이의 간격 측정 실험에서는 λ, R, Y_m 을 이용해 슬릿의 간격을 $Y_m^{(2\text{번})} = R \frac{m\lambda}{d}$ 을 이용해 d 를 구하는 것이다. 이때 m 이 증가할수록 Y_m 이 증가하게 되므로 d 의 값은 m 이 커져도 일정한 값을 유지하게 될 것이다. 추가적으로 차수 m 값에 따른 무늬의 위치 Y_m 이 1과 2, 2와 3, 3과 4에서의 차가 거의 일정함을 알 수 있는데 이는 이중슬릿에서의 간섭무늬의 간격이 일정함을 알 수 있다.
- 3) 회절격자의 슬릿 간격 측정 실험에서는 λ, R, Y_m 의 값을 이용해 $Y_m^{(2\text{번})} = R \frac{m\lambda}{d}$ 식을 통해 슬릿의 간격 d 를 구하는 것이다. 이때 구한 d 의 값과 회절격자의 슬릿 수를 비교하면 두 값 사이의 상관관계를 알 수 있을 것이다.
- 이 실험에서 파장에 따른 무늬 사이의 간격이 어떻게 변하는지를 알아보자. $Y_m = R \cdot \frac{m\lambda}{a}$ 이고 $Y_n = R \cdot \frac{n\lambda}{a}$ 이므로 파장이 짧아지면 Y_m, Y_n 값들이 작아져 무늬 사이의 간격이 좁아질 것이다.

(5) 참고문헌

- 1) 안하재 물리학과. 「기초물리실험고」. 북스힐, 2020
- 2) 권만성 외 11인. 「대학물리학 8판」. 북스힐 제 24장