

일반물리학실험 보고서

슬릿에 의한 빛의 간섭과 회절

학과 :

학번 :

이름 :

공동실험자 :

담당 교수 : 정광식

담당 조교 : 강예리

실험 날짜 : 2019.11.25(월)

제출 날짜 : 2019.12.2.(월)

1. 실험 목적

단일 슬릿과 이중 슬릿에 의한 레이저광의 회절 및 간섭무늬를 관측한다. 이로부터 슬릿의 간격과 폭을 측정하고 빛의 성질인 간섭과 회절을 이해한다.

2. 실험 원리

(1) 레이저광

레이저(Laser)광은 빛의 강도와 가간섭성(결맞음)이 크고 단색성과 평행성이 좋으므로 빛의 간섭 및 회절(에돌이)의 실험에 적합하다. 가시광을 발생시키는 레이저로 실험실에서 가장 많이 사용되는 것은 He-Ne 레이저(파장 632.8nm)이며 출력이 큰 레이저로는 Ar-Ion 레이저(파장 476.5nm, 488.0nm, 514.5nm)가 많이 사용된다. 이 실험에는 다이오드(diode) 레이저(파장 650nm)를 사용한다.

(2) 간섭

2개 이상의 파동(빛)이 같은 시각에 같은 공간에 만날 때 간섭이 일어난다. 슬릿 사이의 간격이 d 인 이중 슬릿에 레이저광을 수직으로 비추면 슬릿 S_1 과 S_2 에서 나오는 두 광선이 이중 슬릿으로부터 D 만큼 떨어져 위치한 스크린 위의 점 P점에서 중첩이 된다. θ 가 작다고 보면 두 빛의 광로차

$\Delta (= r_1 - r_2)$ 는

$$\Delta \simeq d \sin \theta \quad (31.1)$$

로 주어진다. 위의 식 (31.1)에 의하면 광로차 Δ 가 파장 λ 의 정수 배 혹은 반정수 배가 될 때 두 광선은 보강 혹은 소멸 간섭을 하게 되어

$$d \sin \theta = n\lambda, n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \text{(밝은 무늬 - 보강 간섭)}$$

$$d \sin \theta = (n + \frac{1}{2})\lambda, n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \text{(어두운 무늬 - 소멸 간섭)}$$

의 조건에 따라 간섭무늬가 나타난다.

따라서 스크린 위의 가장 밝은 부분($n=0$)과 n 번째 밝은 무늬 사이의 거리를 x 라고 하면 각 θ 가 작을

때는 $\sin \theta \simeq \tan \theta$ 이고 $\tan \theta = \frac{x}{D}$ 이므로

$$d = \frac{D}{x} n \lambda$$

로 나타낼 수 있다. 그러므로 D 와 x 를 측정함으로써 슬릿 간격 d 를 구할 수 있다.

(3) 단일 슬릿에 의한 회절

회절은 파동이 장애물에 의해 변형이 되는 파동의 특징적 현상이다. 이런 현상은 장애물 혹은 슬릿의 크기가 파의 파장에 가까워질수록 더욱 뚜렷이 나타나게 된다. 폭이 a 인 슬릿에 레이저광을 수직으로 비추면 거리 D 만큼 떨어져 있는 스크린 위에 회절무늬가 생긴다. 스크린 위의 한 점 P에서 두 광선의 경로차 $\Delta (= r_1 - r_2)$ 가 반파장이 되도록 θ 가 정해졌다면 P에서 소멸 간섭으로 어두운 무늬가 나타날 것이다. 두 광선의 경로차 Δ 는 θ 가 작을 때

$$\Delta = \frac{a}{2} \sin \theta$$

가 되므로 경로차가 반파장일 때 어두운 무늬가 나타날 조건은 다음과 같다.

$$\frac{a}{2} \sin \theta = \frac{\lambda}{2}$$

따라서 스크린 위의 임의의 점에서는 각이

$$\sin \theta = n \frac{\lambda}{a}, n = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \text{ (어두운 무늬)}$$

를 만족할 때 어두운 무늬(강도가 0)가 됨을 알 수 있다. θ 가 아주 작은 경우 $\sin \theta \simeq \theta \simeq \frac{x'}{D}$ 이므로

D와 x를 측정함으로써 슬릿 폭 a를 구할 수 있다. 즉 a는

$$a = \frac{nD\lambda}{x'}$$

이다.

(4) 이중 슬릿(동일한 두 개의 평행한 슬릿)에 의한 회절

폭이 a인 두 슬릿이 거리 d만큼 떨어져 있다고 하자. 각 θ 에 해당하는 방향에는 각각의 슬릿으로부터 나오는 한 쌍의 회절파가 있으며, 실제로 관측되는 무늬는 이 두 회절파들이 간섭된 결과이다. 즉 두 슬릿에 의한 간섭과 회절이 결합된 무늬가 생긴다. 간섭무늬는 동일한 위상의 파원에 의한 무늬가 되고 앞서 논의한 식에 의해

$$\sin \theta = \frac{n\lambda}{d}, n = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$$

로 주어지는 방향에서 극댓값(밝은 무늬)이 된다. 간섭무늬의 강도 분포는 단일 슬릿에 의한 회절무늬의 강도 분포에 의해서 변조된다. 회절무늬에서 어두운 무늬(강도가 0)가 나타나는 위치는 다음 식

$$\sin \theta = \frac{n'\lambda}{a}, n' = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$$

로 주어진다. 슬릿 간격 d가 슬릿 폭 a보다 크기 때문에, 회절무늬 강도가 0이 되는 점들 사이의 간격은 간섭무늬의 경우보다 넓다. 따라서 두 슬릿의 밝은 무늬는 단일 슬릿에 의해서 만들어진 것보다 더 조밀하게 배열된다.

따라서 d는 다음과 같다.

$$d = \frac{nD\lambda}{x}$$

3. 실험 기구 및 재료

광학대, 레이저, 단일 슬릿, 이중 슬릿, 줄자, 종이

4. 실험 방법

①광학대 위에 레이저, 슬릿, 스크린을 장치한다.

②슬릿과 스크린의 간격 D를 가능한 길게 하고 길이를 측정한다.

▪ 주의 :슬릿의 면에 지문이 찍히지 않도록 주의한다.

▪ 간섭 또는 회절무늬의 간격을 스크린 위에서 직접 측정하지 말고, 스크린 위에 흰 종이나 모눈종이를 붙이고 그 위에 무늬의 간격을 연필로 표시한 다음 밝은 곳에서 간격을 측정한다.

▪ 레이저가 직접 눈에 닿게 되지 않도록 주의한다.

(1)단일 슬릿

① 단일 슬릿에 레이저광이 지나도록 슬릿을 조정하여 스크린에 회절무늬가 나타나도록 한다.

② 스크린에 흰 종이를 부착한다.

③ 어두운 무늬가 나타나는 점을 스크린 위의 종이에 표시한다.

④ 첫 번째 어두운 회절무늬가 나타나는 두 점($n' = +1, n' = -1$) 사이의 거리 $x'_{+1} - x'_{-1}$ 을 측정하고 이로부터 무늬의 중심으로부터 첫 번째 어두운 무늬가 나타나는 점까지의 거리 x'_1 을 구한다.

⑤두 번째 어두운 회절무늬가 나타나는 두 점($n' = +2, n' = -2$) 사이의 거리 $x'_{+2} - x'_{-2}$ 을 측정하고 이로부터 무늬의 중심으로부터 두 번째 어두운 무늬가 나타나는 점까지의 거리 x'_2 을 구한다.

$$*x'_n = \frac{x'_{+n} - x'_{-n}}{2}$$

⑥ x'_1, x'_2 로부터 슬릿 폭 a를 각각 계산한다.

⑦D를 줄이면서 ③번부터 ⑥번 과정을 반복한다.

⑧ x'_1 과 D 사이의 관계 그래프를 그리고 기울기로부터 슬릿 폭 a를 구한다.

(2)이중 슬릿

① 이중 슬릿에 레이저광이 지나도록 슬릿을 조정하여 스크린에 회절무늬가 나타나도록 한다.

② 스크린에 흰 종이를 부착한다.

③ 어두운 회절무늬가 나타나는 점과 밝은 간섭무늬가 나타나는 점을 스크린 위의 종이에 표시한다.

④ 첫 번째 밝은 간섭무늬가 나타나는 두 점($n = +1, n = -1$) 사이의 거리 $x_{+1} - x_{-1}$ 을 측정하고 이로부터 무늬의 중심으로부터 첫 번째 밝은 무늬가 나타나는 점까지의 거리 x_1 을 구한다.

⑤두 번째 밝은 간섭무늬가 나타나는 두 점($n = +2, n = -2$) 사이의 거리 $x_{+2} - x_{-2}$ 을 측정하고 이로부터 무늬의 중심으로부터 두 번째 밝은 무늬가 나타나는 점까지의 거리 x_2 을 구한다.

⑥ x_1, x_2 로부터 슬릿 폭 a를 각각 계산한다.

⑦ 회절에 의한 무늬에서 첫 번째 어두운 회절무늬가 나타나는 두 점($n' = +1, n' = -1$) 사이의 거리 $x'_{+1} - x'_{-1}$ 을 측정하고 이로부터 무늬의 중심으로부터 첫 번째 어두운 무늬가 나타나는 점까지의 거리 x'_1 을 구한다.

⑧ 회절에 의한 무늬에서 두 번째 어두운 회절무늬가 나타나는 두 점($n' = +2, n' = -2$) 사이의 거리 $x'_{+2} - x'_{-2}$ 을 측정하고 이로부터 무늬의 중심으로부터 두 번째 어두운 무늬가 나타나는 점까지의 거리 x'_2 을 구한다.

⑨ x'_1, x'_2 로부터 슬릿 폭 a 를 각각 계산한다.

⑩ 다른 간격과 폭을 가진 이중 슬릿에 대해서도 위 과정을 반복한다.

*첫 번째 밝은 무늬가 나타나는 점까지의 거리 x_1 , 두 번째 밝은 무늬가 나타나는 점까지의 거리 x_2 를 구할 때 다음의 방법을 써도 무방하다.

$$x_1 = \frac{x'_{+1} - x'_{-1}}{N}$$

(즉 첫 번째 어두운 회절무늬가 나타나는 두 점($n' = +1, n' = -1$)사이의 거리를 그 안에 들어있는 밝은 간섭무늬의 개수 N 으로 나누는 것)

$$x_2 = 2x_1$$

5. 측정값

레이저광의 파장 $\lambda = 650nm$

단일 슬릿

$$a = 0.04mm$$

	1	2	3	4
$D(cm)$	80	70	60	50
$x'_{+1} - x'_{-1}(cm)$	2.3	2.1	1.8	1.5
$x'_1(cm)$	1.15	1.05	0.9	0.75
$a(mm)$	0.0452	0.0433	0.0433	0.0433
$x'_{+2} - x'_{-2}(cm)$	5	4.3	3.7	3.1
$x'_2(cm)$	2.5	2.15	1.85	1.55
$a(mm)$	0.0416	0.0423	0.0433	0.0419

<표1 : 단일 슬릿에서 거리 D 와 회절무늬 간격 x'_1, x'_2 를 측정하고 측정값을 이용하여 a 를 계산>

이중 슬릿

$$D = 80cm$$

	d=0.25mm, a=0.04mm	d=0.5mm, a=0.04mm	d=0.5mm, a=0.08mm
$x_{+1} - x_{-1}(cm)$	0.215	0.104	0.072
$x_1(cm)$	0.215	0.104	0.072
$d(mm)$	0.241	0.5	0.565
$x_{+2} - x_{-2}(cm)$	0.43	0.208	0.19
$x_2(cm)$	0.43	0.208	0.19
$d(mm)$	0.241	0.5	0.565

$x'_{+1} - x'_{-1}(\text{cm})$	2.8	2.6	1.2
$x'_1(\text{cm})$	1.9	1.3	0.6
$a(\text{mm})$	0.0371	0.04	0.0866
$x'_{+2} - x'_{-2}(\text{cm})$	5.5	5.3	2.5
$x'_2(\text{cm})$	2.75	2.65	1.75
$a(\text{mm})$	0.0378	0.0392	0.0866

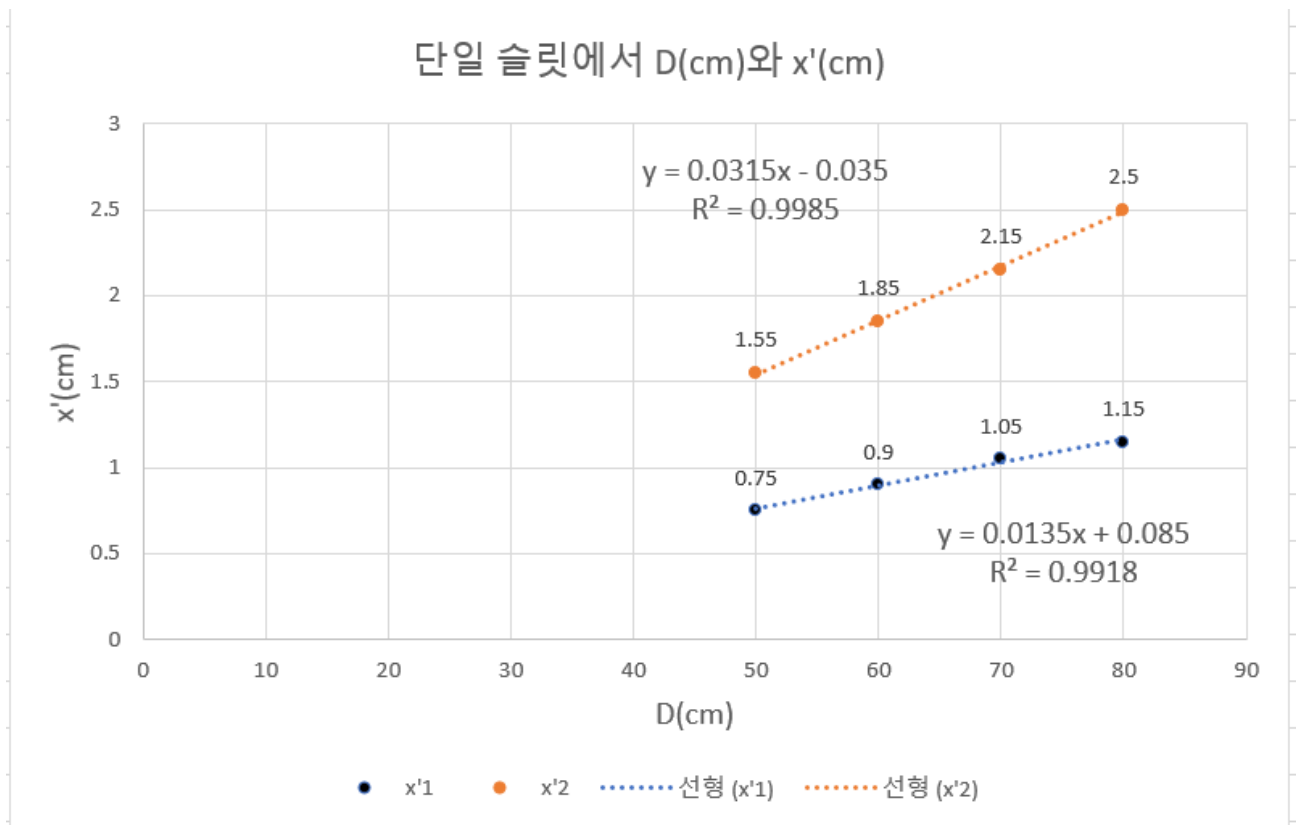
<표2 : 이중 슬릿에서 거리 D와 간섭무늬 간격 x_1 , x_2 와 회절무늬 간격 x'_1 , x'_2 를 측정하고 측정값을 이용하여 d(슬릿 간격), a(슬릿 폭)를 계산>

6. 실험 결과

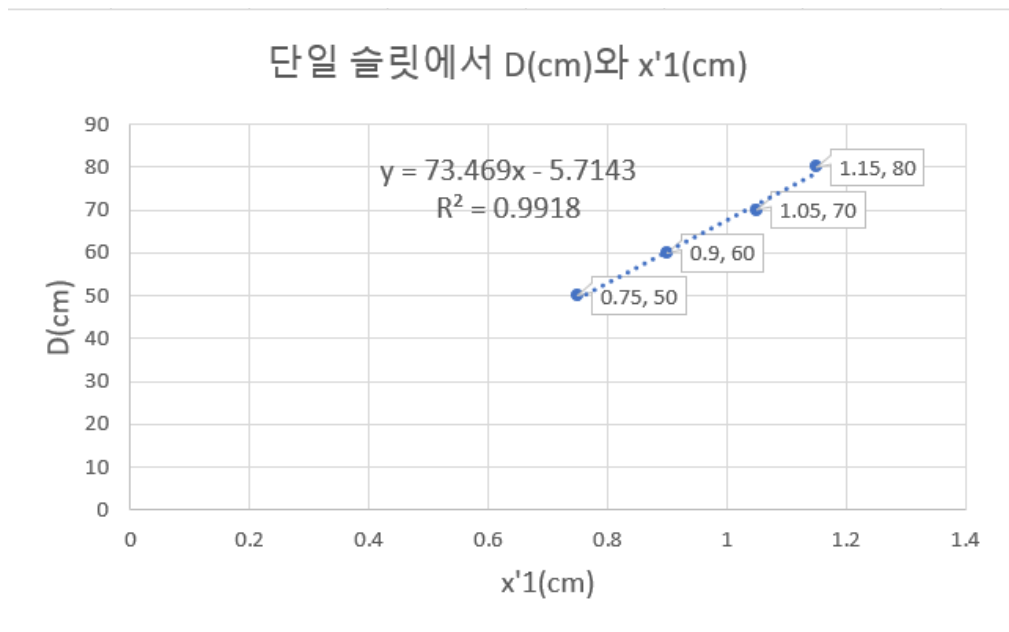
(1)단일 슬릿

D(cm)	$a_1(\text{mm})$	$a_2(\text{mm})$	a 대비 a_1 차이	a 대비 a_2 차이
80	0.0452	0.0416	13.00%	4.00%
70	0.0433	0.0423	8.25%	5.75%
60	0.0433	0.0433	8.25%	8.25%
50	0.0433	0.0419	8.25%	4.75%

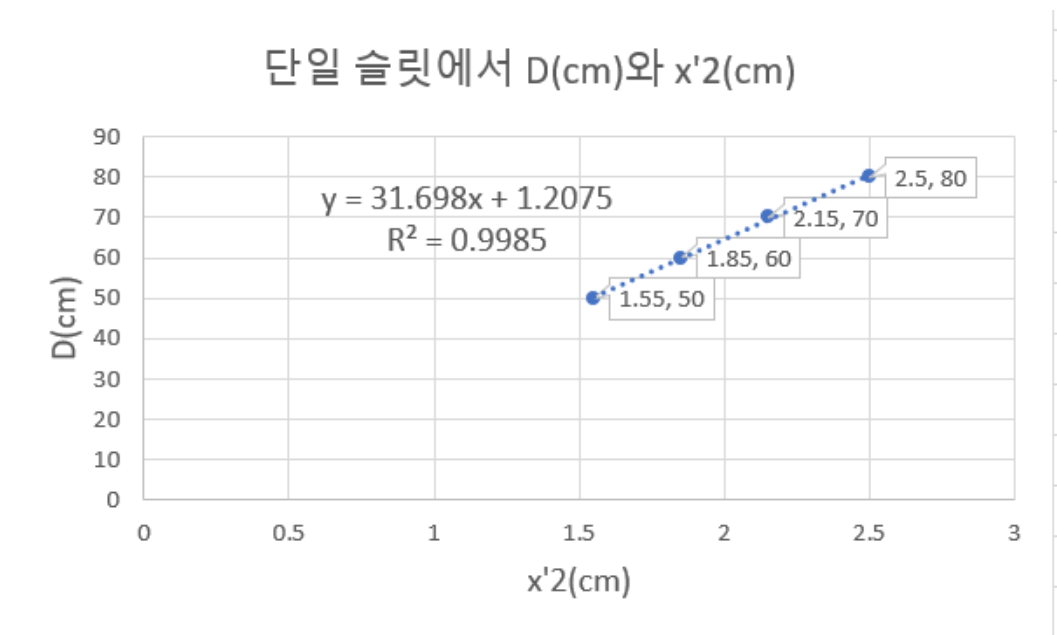
<표3 : 단일 슬릿에서 계산한 슬릿 폭 a와 실제 슬릿 폭과의 비교>



<그림1 : 단일 슬릿에서 D(cm, 레이저와 스크린 사이의 간격)과 $x'(\text{cm}$, 가운데 어두운 부분과 n번째 어두운 부분 사이의 거리)와의 관계. x'_1 과 D의 추세선은 $0.0135x+0.085$, x'_2 와 D의 추세선은 $0.0315x-0.035$ 이다>



<그림2 : 단일 슬릿에서 x'_1 (cm, 가운데 어두운 부분과 1번째 어두운 부분 사이의 거리)와 D(cm, 레이어와 스크린 사이의 간격)와의 관계. 추세선은 $73.469x - 5.7143$ 이다.>



<그림3 : 단일 슬릿에서 x'_2 (cm, 가운데 어두운 부분과 2번째 어두운 부분 사이의 거리)와 D(cm, 레이어와 스크린 사이의 간격)와의 관계. 추세선은 $31.698x + 1.2057$ 이다.>

실험원리에서 논의한 식

$$a = \frac{nD\lambda}{x'}$$

을 사용하여 a를 계산하자.

먼저 x'_1 과 D의 추세선은 $73.469x - 5.7143$ 이므로

$$a = \frac{nD\lambda}{x'_1} = 73.469 \times 1 \times 650 \times 10^{-9} = 0.04775mm$$

이다. 이는 실제 슬릿의 폭인 0.04mm에 비해 19.3% 크다.

또 x'_2 와 D의 추세선은 $31.698x+1.2057$ 이므로

$$a = \frac{nD\lambda}{x'_1} = 31.698 \times 2 \times 650 \times 10^{-9} = 0.0412mm$$

이다. 이는 실제 슬릿의 폭인 0.04mm에 비해 3% 크다.

(2)이중 슬릿

	d=0.25mm, a=0.04mm (실험1)	d=0.5mm, a=0.04mm (실험2)	d=0.5mm, a=0.08mm(실험3)	실험1 차이	실험2 차이	실험3 차이
d (from x_1)(mm)	0.241	0.5	0.565	-3.6%	0.0%	13.0%
d (from x_2)(mm)	0.241	0.5	0.565	-3.6%	0.0%	13.0%
a (from x'_1)(mm)	0.0371	0.04	0.0866	-7.3%	0.0%	8.2%
a (from x'_2)(mm)	0.0378	0.0392	0.0866	-5.5%	-2.0%	8.2%

<표4 : 이중 슬릿 실험에서 측정한 길이와 실제 길이의 차이>

7. 결과에 대한 논의

(1)단일 슬릿

슬릿의 폭 a는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$a = \frac{nD\lambda}{x'}$$

따라서 x' 은 다음과 같다.

$$x' = \frac{nD\lambda}{a}$$

D(cm)	80	70	60	50
$x'_{+1} - x'_{-1}$ (cm)	2.3	2.1	1.8	1.5
x'_1 (cm)	1.15	1.05	0.9	0.75
$x'_{+2} - x'_{-2}$ (cm)	5	4.3	3.7	3.1
x'_2 (cm)	2.5	2.15	1.85	1.55
real x'_1 (cm)	1.3	1.1375	0.975	0.8125
real x'_2 (cm)	2.6	2.275	1.95	1.625
(real x'_1)- x'_1	0.15	0.0875	0.075	0.0625
(real x'_2)- x'_2	0.1	0.125	0.1	0.075

<표5 : 단일 슬릿에서 x'_1 , x'_2 이론값과 실제값과의 차이>

따라서 표5에서 알 수 있듯, x'_1 , x'_2 이론값과 실제값과의 차이는 0.0625cm~0.15cm 정도로 나타났는데, 0.1cm 이하의 차이는 자의 단위 표시가 0.1cm 단위로 되어있기 때문에 발생하였을 것으로 보인다.

(2) 이중 슬릿

이중 슬릿 실험3에서 가장 많은 오차를 보였는데, 이는 슬릿에 지문 등이 묻어있어 오차가 발생한 것으로 보인다.

$x'_1(\text{cm})$	1.9	1.3	0.6
$x'_2(\text{cm})$	2.75	2.65	1.75
$\arctan(\frac{x'_1}{D})(^\circ)$	1.36	0.93	0.43
$\arctan(\frac{x'_2}{D})(^\circ)$	1.97	1.90	1.25

<표6. x'_1 , x'_2 으로부터 각도 계산>

또 이중 슬릿에서 회절을 계산할 때 근사를 많이 이용하는데, $\tan\theta \simeq \theta$ 는 일반적으로 $\theta < 1^\circ$ 일 때 성립한다고 알려져있다. 그런데 실제 각도는 표6에서 보이는 것과 같이 1도가 넘는 것이 많고, 이것이 오차의 원인이 될 수 있다.

(3) 결과에 대한 논의

따라서 오차를 고려하면

$$a = \frac{nD\lambda}{x'}$$

$$d = \frac{nD\lambda}{x}$$

가 성립함을 알 수 있고, 위 식은

$$d\sin\theta = n\lambda, n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots (\text{밝은 무늬} - \text{보강 간섭})$$

$$d\sin\theta = (n + \frac{1}{2})\lambda, n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots (\text{어두운 무늬} - \text{소멸 간섭})$$

에서 나온 것으로, 빛이 간섭과 회절을 한다는 것을 알 수 있다.

8. 결론

650nm 파장을 가진 레이저 빛을 단일 슬릿과 이중 슬릿에 통과 시켜 밝은 무늬 사이의 간격, 어두운 무늬 사이의 간격을 재어 슬릿의 폭(a)와 슬릿 간격(d)을 구하였다. 오차의 원인은 자의 정밀도 부족, 슬릿의 지문, $\sin\theta$, $\tan\theta$ 의 근사 등이며, 따라서 오차를 고려하면

$$a = \frac{nD\lambda}{x'}$$

$$d = \frac{nD\lambda}{x}$$

가 성립함을 알 수 있고, 위 식은

$$d \sin \theta = n \lambda, n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots (\text{밝은 무늬} - \text{보강 간섭})$$

$$d \sin \theta = (n + \frac{1}{2}) \lambda, n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots (\text{어두운 무늬} - \text{소멸 간섭})$$

에서 나온 것으로, 빛이 간섭과 회절을 한다는 것을 알 수 있다.

9.참고 문헌

- (1)일반물리학실험, 5판, 부산대학교 물리학교재편찬위원회, 청문각,2019
- (2)대학물리학,4판, Randall D.Knight(심경무 외 옮김),청문각,2019
- (3)완자 고등 물리 2, 비상교육 편집부, 비상교육, 2013
- (4)부산대학교 일반물리학실험실, <https://gplab.pusan.ac.kr/gplab/index..do>
- (5)연세대학교 일반물리학실험실, <http://phylab.yonsei.ac.kr/>