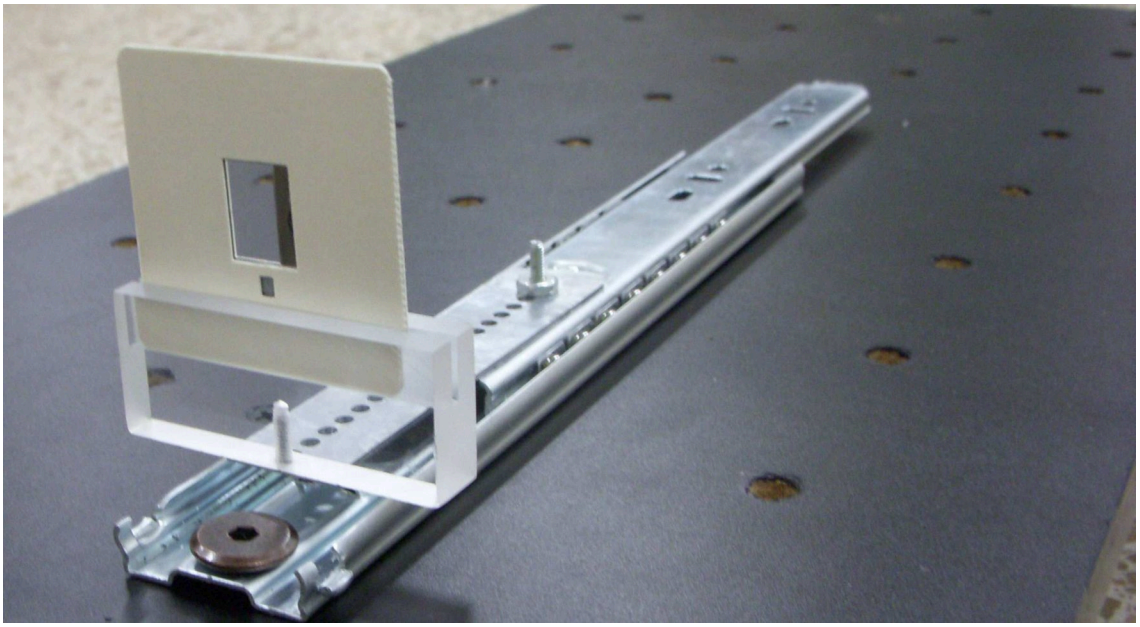
실험 문제 1

다이오드 레이저의 파장 구하기

준비물

1), 2), 3) 항목 외에 다음을 쓴다.

4) 사각 기둥에 단 렌즈(표지 C).
5) 아크릴 받침에 끼울 슬라이드 홀더 속 면도날(표지 D1). 받침은 미끄럼 레일(표지 D2)에 단다. 필요하면 드라이버로 받침을 조이시오. 다는 방법은 사진을 보라.
6) 캘리퍼 눈금(1/20 mm)이 있는 관찰 화면(표지 E).
7) 돋보기(표지 F).
8) 30 cm 자(표지 G).
9) 캘리퍼(표지 H).
10) 줄자(표지 I).
11) 계산기.
12) 흰 색인 카드, 마스킹 테이프, 스티커, 가위, 삼각자 세트.
13) 연필, 종이, 모눈종이.



아크릴 받침에 끼울 슬라이드 홀더 속 면도날(표지 D1)과 그것을 단 미끄럼 레일(표지 D2).

실험 설명

다이오드 레이저의 파장을 구해야 한다. 이 측정의 특징은 (미리 만들어진 회절격자 같은) 정밀한 마이크로미터 눈금을 전혀 쓰지 않는다는 것이다. 재는 가장 작은 길이는 mm 범위이다. 파장은 면도날의 날카로운 모서리에서 일어나는 빛의 회절을 이용해 구한다.

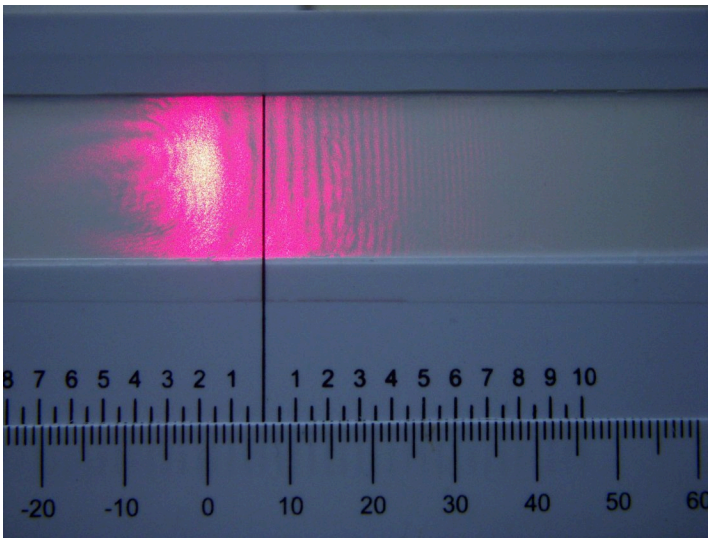


그림 1.1 전형적인 간섭무늬.

레이저 빛살(A)은 거울(B)에서 반사된 뒤, 초점 거리가 몇 cm인 렌즈(C)를 지나야 한다. 이제 그 초점을 구면파가 나오는 점광원으로 볼 수 있다. 렌즈를 지난 레이저 빛살은 진행 경로에서 장애물인 날카로운 면도날 모서리에 부딪힌다. 이 모서리는 원통파가 나오는 광원으로 볼 수 있다. 이 두 파동이 앞쪽으로 서로 간섭해 화면에서 관찰할 수 있는 회절 무늬를 만든다. 전형적인 무늬의 사진은 그림 1.1을 보라.

중요한 경우가 두 가지 있다. 그림 1.2와 1.3을 보라.

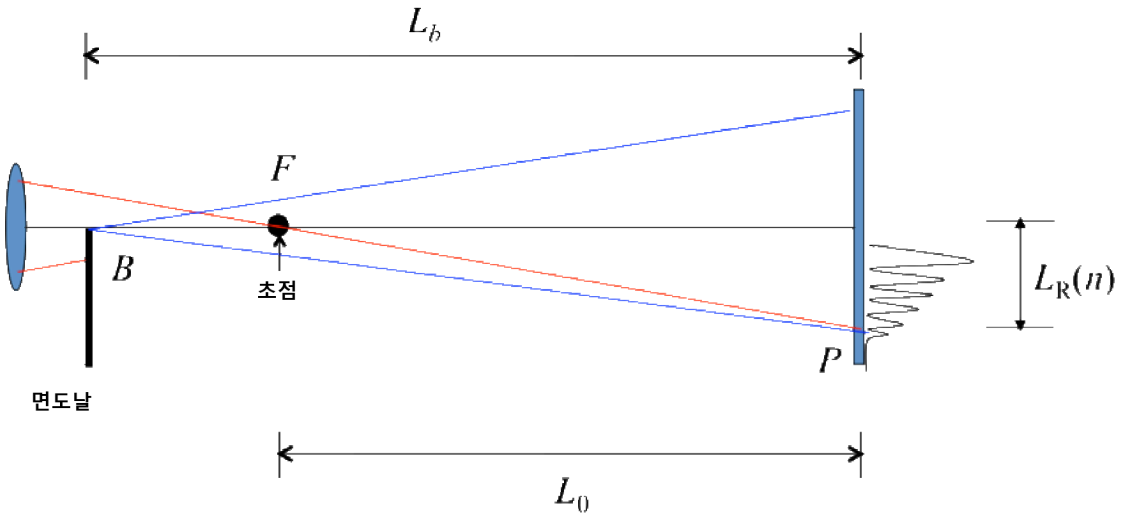


그림 1.2. 경우 (I). 면도날이 렌즈의 초점 *앞*에 있다. 그림은 축척에 맞지 않는다. 이 그림에서 B는 면도날의 모서리, F는 초점이다.

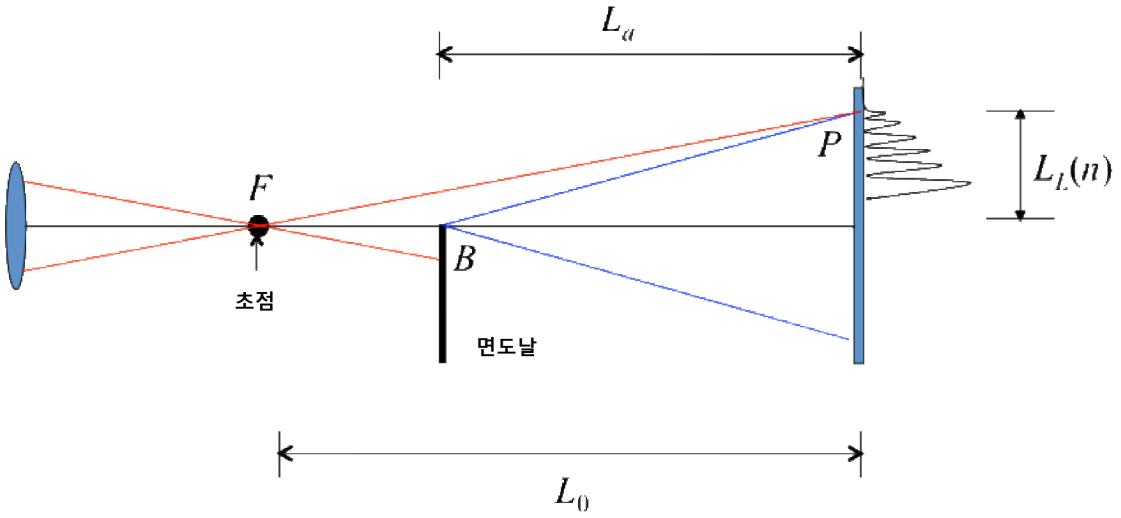


그림 1.3. 경우 (II). 면도날이 렌즈의 초점 *뒤*에 있다. 그림은 축척에 맞지 않는다. 이 그림에서 B는 면도날의 모서리, F는 초점이다.

실험 장치

과제 1.1 실험 장치 (1.0점). 위에서 설명한 간섭무늬를 얻는 실험 장치를 설계하시오. 초점에서 화면까지의 거리 L_0은 초점 거리보다 훨씬 커야 한다.

- 주어진 광학 테이블 그림에 실험 장치를 스케치하시오. 광학 테이블 그림 위에 여러 장치의 표지를 적는 방식으로 하시오. 설계를 분명히 하는 데 도움이 되도록 간단한 그림을 더 그려도 된다.
- 흰 색인 카드 하나로 경로를 따라가며 레이저 빛살을 정렬해도 된다.
- 광학 테이블 그림 위에 레이저 빛살의 경로를 스케치하고, 광학 테이블에서 잰 빛살의 높이 h를 적으시오.

경고: 나타날 수 있는 더 큰 원형 무늬는 무시하시오. 이것은 레이저 다이오드 자체의 효과이다.

시간을 들여 장치에 익숙해지시오. 화면에서 10개 정도 또는 그 이상의 연직 직선 무늬가 보여야 한다. 읽음은 어두운 무늬의 위치로 한다. 무늬의 위치를 더 분명히 보려면 돋보기를 써도 된다. 무늬를 관찰하는 가장 좋은 방법은 빛을 받는 화면(E)의 뒷면을 보는 것이다. 따라서 화면의 눈금이 광학 테이블 바깥쪽을 향해야 한다. 광학 장치들의 정렬이 바르면, 면도날(D1)을 레일(D2)을 따라 밀기만 해도 (경우 I과 II의) 두 무늬를 모두 볼 수 있어야 한다.

이론적 고찰

위의 그림 1.2와 1.3을 참조하라. 기본이 되는 길이는 다섯 가지이다.

L_0 : 초점에서 화면까지의 거리.
L_b : 경우 I에서 면도날에서 화면까지의 거리.
L_a : 경우 II에서 면도날에서 화면까지의 거리.
$L_R(n)$: 경우 I에서 n번째 어두운 무늬의 위치.
$L_L(n)$: 경우 II에서 n번째 어두운 무늬의 위치.

경우 I과 II 모두에서 첫 번째 어두운 무늬가 가장 넓으며, $n = 0$에 해당한다.

실험 장치는 경우 I에서 $L_R(n) \ll L_0, L_b$, 경우 II에서 $L_L(n) \ll L_0, L_a$가 되도록 해야 한다.

파동의 간섭 현상은 같은 점에서 출발한 파동의 광로 차 때문에 일어난다. 위상차에 따라 파동은 서로 상쇄되어

(상쇄 간섭) 어두운 무늬를 만들거나, 서로 더해져(보강 간섭) 밝은 무늬를 만든다.

이 파동들의 간섭을 자세히 분석하면, 경우 I에서 **어두운** 무늬가 생길 조건은 다음과 같다.

$$\Delta_{\mathrm{I}}(n) = \left(n + \frac{5}{8}\right)\lambda \qquad \text{여기서} \quad n = 0, 1, 2, \ldots \tag{1.1}$$

경우 II에서는 다음과 같다.

$$\Delta_{\mathrm{II}}(n) = \left(n + \frac{7}{8}\right)\lambda \qquad \text{여기서} \quad n = 0, 1, 2, \ldots \tag{1.2}$$

여기서 λ는 레이저 빛살의 파장이고, Δ_{I}과 Δ_{II}는 각 경우의 광로 차이다.

경우 I의 광로 차는 다음과 같고,

$$\Delta_{\mathrm{I}}(n) = (BF + FP) - BP \qquad \text{각} \quad n = 0, 1, 2, \ldots \text{ 에 대해} \tag{1.3}$$

경우 II의 광로 차는 다음과 같다.

$$\Delta_{\mathrm{II}}(n) = (FB + BP) - FP \qquad \text{각} \quad n = 0, 1, 2, \ldots \text{ 에 대해} \tag{1.4}$$

과제 1.2 광로 차의 식 (0.5점). 식 (1.3)과 (1.4)에서 경우 I은 $L_R(n) \ll L_0, L_b$, 경우 II는 $L_L(n) \ll L_0, L_a$라고 가정하고(장치가 이 조건을 만족하도록 하시오), $\Delta_{\mathrm{I}}(n)$과 $\Delta_{\mathrm{II}}(n)$의 근사식을 L_0, L_b, L_a, $L_R(n)$, $L_L(n)$으로 나타내시오. $x \ll 1$일 때의 근사 $(1+x)^r \approx 1 + rx$가 쓸모 있을 것이다.

위 식들의 실험적 어려움은 L_0, $L_R(n)$, $L_L(n)$을 정확히 잴 수 없다는 것이다. 앞의 것은 렌즈 초점의 위치를 찾기 쉽지 않기 때문이고, 뒤의 두 가지는 광학 장치들의 정렬이 어긋나 그 기준이 되는 원점을 찾기가 매우 어려울 수 있기 때문이다.

$L_R(n)$과 $L_L(n)$의 어려움을 해결하려면, 먼저 화면(표지 E) 눈금의 영(0)을 무늬의 모든 측정의 원점으로 고르시오. $L_R(n)$과 $L_L(n)$이 정의되는 (알려지지 않은) 위치를 l_{0R}과 l_{0L}이라 하자. 여러분이 고른 원점(0)에서 잰 무늬의 위치를 $l_R(n)$과 $l_L(n)$이라 하자. 그러면

$$L_R(n) = l_R(n) - l_{0R} \qquad \text{그리고} \qquad L_L(n) = l_L(n) - l_{0L} \tag{1.5}$$

실험 수행. 데이터 분석.

과제 1.3 어두운 무늬의 위치와 면도날의 위치 재기 (3.25점).

- 경우 I과 경우 II 모두에서 무늬 번호 n에 따른 어두운 무늬의 위치 $l_R(n)$과 $l_L(n)$을 재시오. 측정값을 표 I에 적으시오. 각 경우마다 측정값을 8개 이상 보고해야 한다.
- 면도날의 위치 L_b와 L_a도 보고하고, 사용한 기구를 표지로 나타내시오.
- **중요한 제안:** 분석을 단순하게 하고 정확도를 높이기 위해, 거리 $d = L_b - L_a$를 L_b, L_a보다 더 정확하게 직접 재시오. 곧 L_b와 L_a의 측정값으로 계산하지 마시오. 사용한 기구를 표지로 나타내시오.

측정의 불확도를 반드시 포함하시오.

과제 1.4 데이터 분석. (3.25점). 앞의 모든 정보로 l_{0R}과 l_{0L}의 값, 그리고 물론 파장 λ의 값을 알아낼 수 있어야 한다.

- 이 값들을 얻는 절차를 고안하시오. 필요한 식이나 방정식을 적으시오.
- 오차 분석을 포함하시오. 결과를 보고하는 데 표 I을 쓰거나 다른 표를 써도 된다. 표의 열이 무엇을 담는지 분명히 표시하시오.
- 분석한 변수들을 그래프로 그리시오. 주어진 모눈종이를 쓰시오.
- l_{0R}과 l_{0L}의 값을 불확도와 함께 적으시오.

과제 1.5 λ 계산하기. 계산한 λ의 값을 적으시오. 불확도와 그것을 얻은 분석을 포함하시오. **제안:** λ의 식에서 $(L_b - L_a)$가 나오면 d로 바꾸고 그 측정값을 쓰시오. (2점).