

8. 마이컬슨 간섭계

(1) 실험목적

마이컬슨 간섭계의 원리를 알고, 간섭패턴을 평가한다.

(2) 기초원리

1881년에 Thomas Young은 이중슬릿 실험을 소개했다. 마이컬슨(A. A. Michelson)은 영과 비슷한 원리를 사용하여 간섭계를 설계하고 만들었다. 본래 마이컬슨은 자신의 간섭계를 빛을 전파하는 측면에서 매질로 가정했던 에테르(ether)의 존재를 검증하기 위한 수단으로서 설계했다. 그의 노력에 기인하여 에테르는 더 이상 성공할 수 있는 가설로 간주되지 않았다. 그러나 이 같은 사실을 넘어서서 마이컬슨 간섭계는 빛의 파장을 측정하기 위한 기구로, 극히 짧은 거리를 측정하는 이미 알려진 광원의 파장으로 사용하는 기구로, 광학매질을 연구하는 기구로서 광범위하게 사용된다.

마이컬슨 간섭계의 도해는 그림1과 같다. 레이저로부터 나온 광선다발은 광선 분배기 (beam-splitter)를 부딪히는데 입사광선의 50%가 반사되며 입사광선의 나머지 50%는 투과된다. 그러므로 입사된 광선다발은 두 개의 광선다발로 갈라진다. 하나의 광선다발은 이동식 거울(Movable mirror, M_1)을 향해 투과되며, 다른 하나의 광선다발은 고정식 거울(fixed mirror, M_2)을 향해 반사된다. 두 개의 거울은 광선을 광선 분배기 향하여 직접적으로 뒤에서 반사한다. M_1 으로부터 나온 광선의 반은 광선분배기(b)에서 관찰 화면으로 반사되며 M_2 로부터 나온 광선의 반은 광선 분배기를 지나서 관찰 화면에 투과된다.

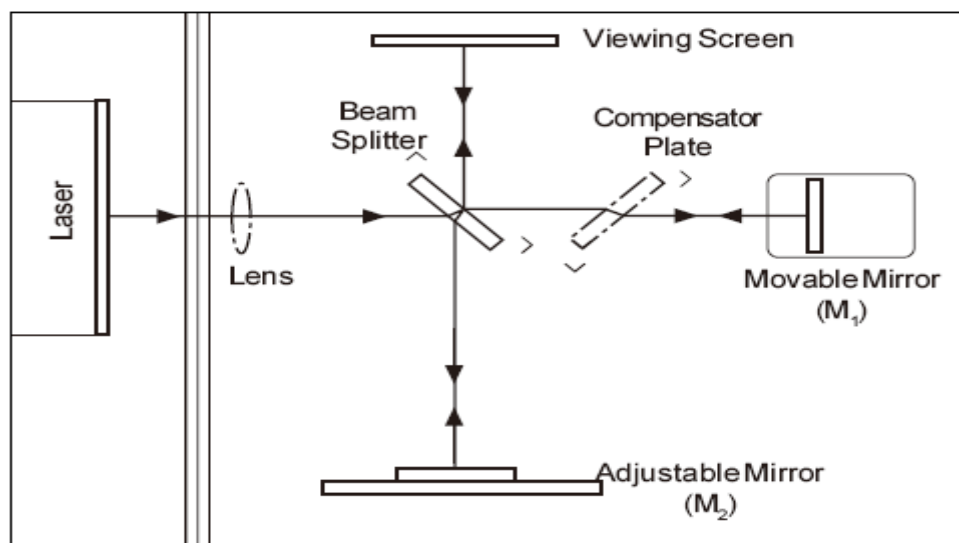


그림1. 마이컬슨 간섭계

이러한 방법으로 원래의 광선다발은 갈라지고 결과적으로 나타나는 광선다발의 부분이 함께 돌아온다. 광선다발의 광원이 같기 때문에 이들의 위상은 높은 상관성이 있다. 렌즈가 레이저 광원(laser source)과 광선 분배기 사이에 놓여 있을 때, 광선은 퍼지며, 어두운 간섭 패턴(interference pattern of dark)과 밝은 링(bright rings) 또는 간섭무늬(frings) 등이 관찰 화면에 나타난다.(그림 2 참조)

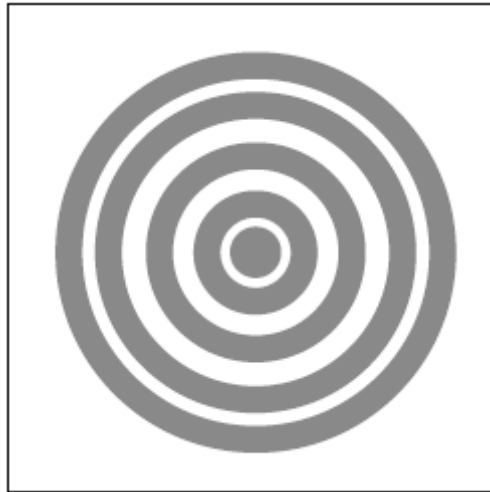


그림 2. 간섭무늬(Fringes)

M_1 을 이동시킴으로서 하나의 광선다발의 경로 길이는 달라질 수 있다. 광선다발은 M_1 과 두 번째 광선 분배기(beam-splitter twice) 사이의 경로를 가로지르기 때문에 M_1 을 움직이면 광선 분배기에 더 가까운 1/4 파장은 1/2 파장에 의한 광선다발의 광학경로를 줄일 것이다. 간섭패턴은 다음과 같이 변하게 된다. 최대 반경은 줄어들어서 이제 간섭 패턴들은 이전의 최소의 자리를 차지한다. 만일 M_1 이 광선 분배기에 더 가깝게 1/4 파장을 더하여 이동된다면, 최대 반경은 다시 줄어들어서 최대와 최소가 교환하지만, 이 새로운 배열은 최초의 패턴과 구별이 불가능하게 될 것이다.

천천히 거울을 움직이면 측정된 거리 d_m 과 횟수 m , 무늬 패턴의 개수는 이것들의 최초의 상태로 되돌아가며, 광선의 파장(λ)은 다음과 같이 계산될 수 있다:

$$\lambda = \frac{2d_m}{m}$$

만일 광선의 파장이 알려져 있다면, 동일한 방법으로 d_m 을 측정하기 위해 사용될 수 있다.

주의할 점

- 그림 1에서 하나의 광선이 오직 한 번만 광선 분배기 유리를 통과하도록 하며, 반면에 다른 광선다발은 광선 분배기에 세 번 지나도록 한다. 만일 레이저와 같이 매우 결맞으며 단색인 광원을 사용한다면, 위의 사항은 문제가 되지 않는다. 다른 광원을 사용하면 위의 사항은 문제가 된다.
- 분리된 광선다발의 유효한 경로 길이에서 나타나는 차이가 증가되면, 그것 때문에 관찰화면에서 광선의 결맞음이 감소한다. 이것은 간섭 패턴으로 보기 어렵다.
- 보상기(compensator)는 광선 분배기와 동일하지만, 반사 코팅 면이 없다. 그림 1에서 볼 수 있듯이, 광선 경로에서 보상기를 삽입함으로써 두 개의 광선은 이 문제를 제거할 수 있는 같은 두께의 유리를 지난다.

(3) 설치 및 작동

레이저 조정

- 만일 PASCO 레이저와 레이저 조정 벤치(Laser Alignment Bench)를 사용한다면, 설치와 조정절차는 다음과 같다.
- 만일 서로 다른 레이저를 사용한다면, 레이저 조정절차는 비슷하다. 광선다발이 책상 윗면 위로 대략 4cm가 되도록 레이저를 조절한다. 그리고 나서 아래에 있는 4번과 5번과 같이 광선다발을 조절한다.
- 만일 레이저 대신에 스펙트럼 광원을 사용한다면, 매뉴얼의 끝에 있는 추가실험에 대한 제안(Suggestions for Additional Experiments)을 참조한다.

PASCO 레이저 조정과 설치하기

1. 자신 앞에 마이크로미터 손잡이가 향하도록 실험실 책상 위에 간섭계 베이스(interferometer base)를 설치한다.
2. 베이스의 왼쪽에 레이저 조정 벤치를 간섭계 베이스(interferometer base)에 거의 수직이 되도록 배치하고 벤치 위에 레이저를 놓는다.
3. 간섭계 베이스의 움푹 들어간 곳에 이동식 거울을 안전하게 놓는다.
4. 레이저의 전원을 켜다. 레이저 벤치위에 있는 정준나사(leveling screws)를 사용하여 레이저 빔이 간섭계의 윗부분에 거의 평행이 될 때까지 레이저 빔의 높이를 조절하고 레이저 빔은 벤치의 중앙에 이동식 거울에 부딪친다.(레이저 빔이 베이스에 평행한지 확인하기 위해서 종이의 모서리가 베이스의 반대방향으로 붉게 되도록 빔의 경로에 종이를 놓는다. 종잇조각을 사용하여 빔의 높이가 벤치의 양 쪽 끝과 같은지

확인한다.)

- 레이저 빔이 이동식 거울의 바로 뒤에서 레이저 조리개로 반사될 때까지 레이저의 X-Y 위치를 조절한다. 그림 5에서 볼 수 있듯이, 이것은 레이저의 미달이 식 후미가 레이저 조정 벤치의 축에 부드럽게 가로질러 가게 함으로써 가장 쉽게 수행된다.

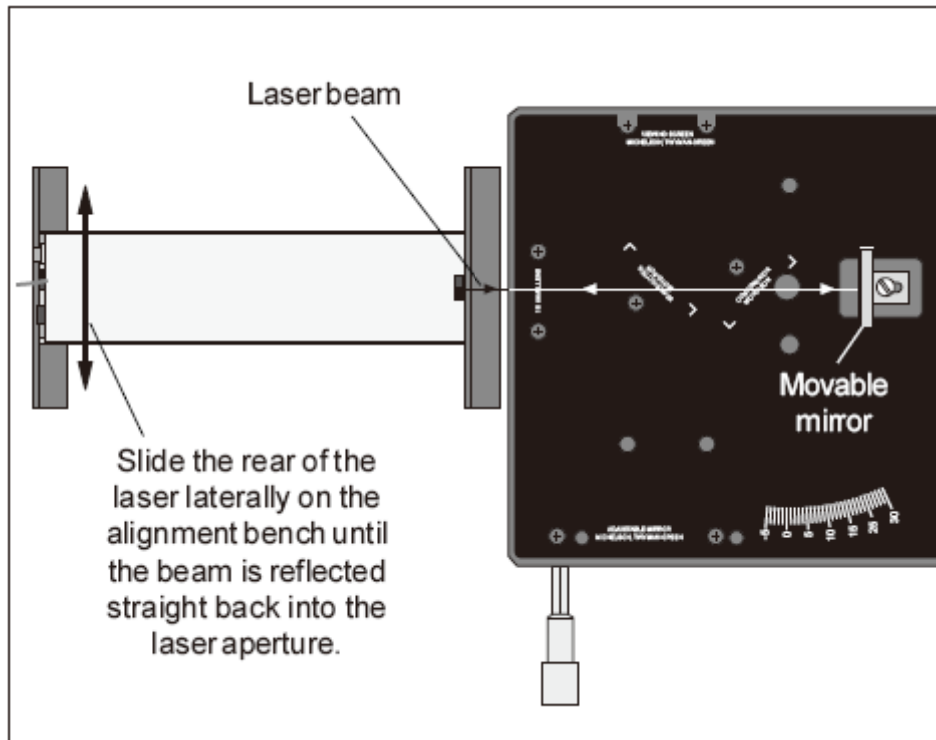


그림3. 레이저 조정하기

주의할 점

·쉬운 설치를 위해 여러 가지 모드(mode)에서 개별 구성 요소의 배치는 라벨에 표시되어 있다.

마이컬슨 모드(Michelson Mode)

- 레이저와 간섭계 베이스가 앞서 기술된바와 같이 정렬한다. 레이저 빔은 베이스의 위쪽과 거의 평행이 되어야하고, 레이저 빔은 이동식 거울의 중앙에 부딪혀야 한다. 그리고 레이저 빔은 레이저 조리개로 곧장 뒤로 반사되어야한다.
- 간섭계 베이스위에 조절 식 거울을 장착한다. 레이저 앞에 한 개의 구성요소 고정 장치(component holder)를 놓는다. 조절 식 거울의 맞은편에 다른 구성요소 구성장치를 배치하고 레이저의 자기후면판(magnetic backing)에 관찰화면을 붙인다. 그림

6을 참조한다.

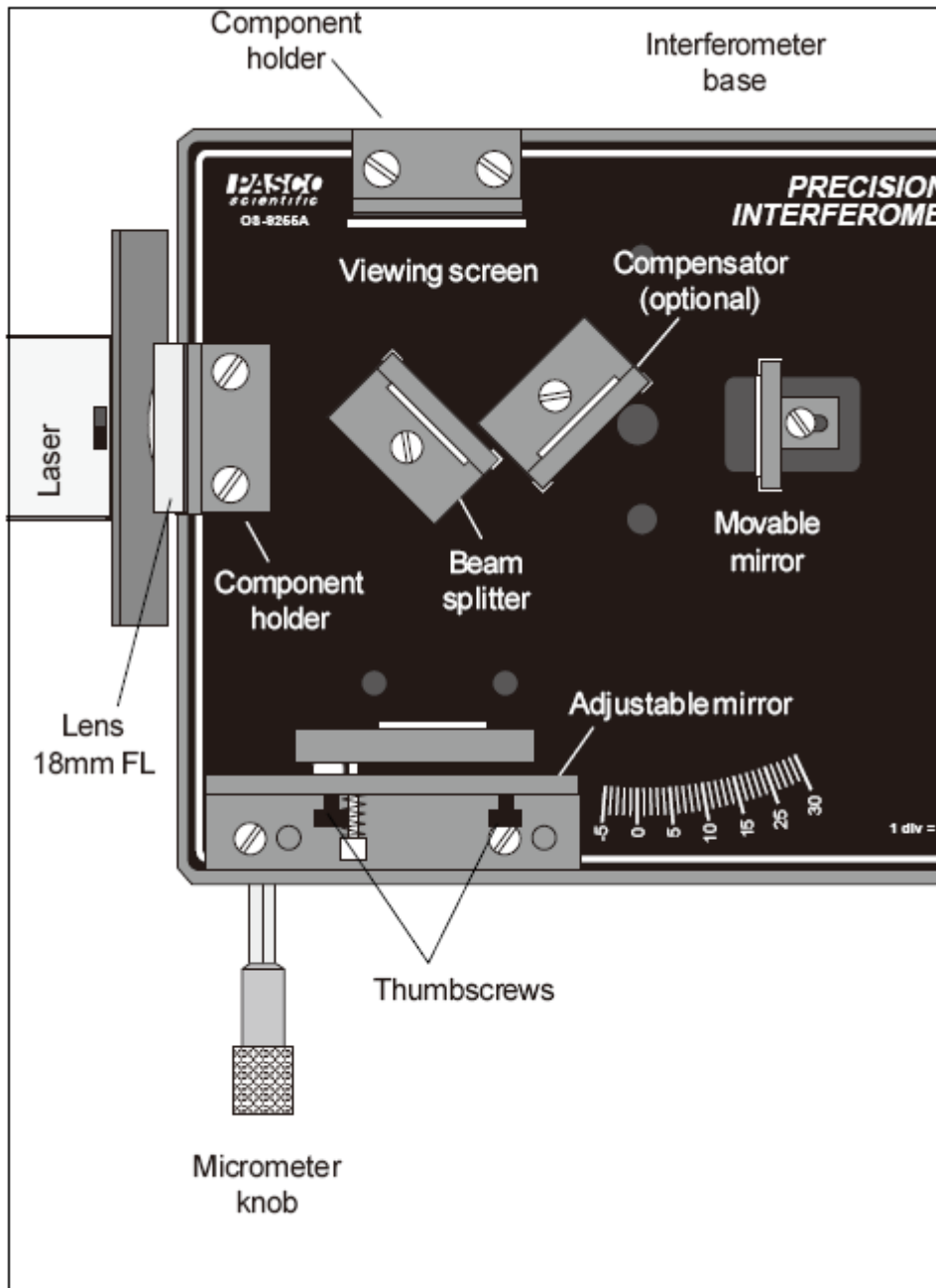


그림4. 마이컬슨 모드의 설치

- 레이저 빔을 향해 45°의 각도로 재단선(crop marks)내에서 광선 분배기를 배치한다. 그래서 레이저 빔은 고정식 거울에 반사된다. 반사된 광선다발이 광선분배기의 이동식 거울의 중앙에 가깝게 부딪치도록 필요한 만큼 광선 분배기의 각도를 조절한다.
- 이제 여기서 관찰화면 위에 두 세트의 밝은 점이 있어야 한다. 한 세트의 밝은 점은 고정식 거울로부터 나오며 다른 한 세트의 밝은 점은 이동식 거울로부터 나온다. 각

점들의 세트는 두 개 또는 그 이상의 더 적은 밝기를 가진 밝은 점을 포함한다(다중 밝기에 의한). 두 세트의 점들이 가능한 한 함께 가까워질 때까지 광선 분배기의 각도를 다시 조절하고, 그런 뒤에 광선 분배기를 안전하게 하기 위해 나비나사(thumbscrew)를 조인다.

5. 조절식 거울의 후미에 나비나사를 사용하여 관찰 화면 위에서 동시에 두 세트의 점들이 나타날 때까지 기울인다.
6. 레이저 광원을 사용할 때에 보상기는 간섭무늬를 발생시키기 위해 필요하지 않다. 그러나 만일 보상기를 사용하려고 한다면, 광분 분배기를 그림에서 보여주는 것과 같이 수직이 되도록 장착한다.
7. 그림과 같이 18 mm FL 렌즈들을 레이저 앞에 구성 요소 고정장치의 자기후면판에 붙인다. 이제 관찰 화면 위에 원형 무늬를 볼 수 있다. 만일 원형 무늬가 보이지 않는다면 무늬가 나타날 때까지 조절식 거울의 기울기를 조심스럽게 조절한다.
8. 만일 무늬를 얻는데 어려움이 있다면, 이 절의 끝에 있는 문제해결(Trouble-shooting)을 참조한다.

(4) 실험방법

간섭계 입문(Introduction of Interferometry)

가. 필요한 장치

- 기본 간섭계 (Basic Interferometer, OS-9255A)
- 레이저 (Laser, OS-9171)
- 레이저 조정 벤치 (OS-9172)
- 간섭계 부속품 (Laser Alignment Bench, OS-9256A)
- 구성요소 고정장치(Interferometer Accessories)
- 보정 편광자 (Calibrated Polarizers)

나. 소개

일반적으로 간섭계는 두 가지 방법으로 사용될 수 있다. 만일 광원의 특성을 정확하게 알려져 있다면(파장, 편광, 강도), 빔의 경로에서 나타나는 변화가 시작될 수 있고, 간섭패턴에 대한 영향은 분석될 수 있다. 실험2와 실험3은 이 절차에 대한 예제이다. 한편, 빔 경로에서 구체적인 변화가 시작됨에 따라 사용될 수 있는 광원에 대한 정보가

얻어질 수 있다.

이 실험에서는 자신의 광원의 파장을 측정하는 간섭계를 사용할 것이다. 만일 한 쌍의 편광자를 가지고 있다면, 자신이 갖고 있는 광원의 편광을 조사할 수 있다.

다. 실험절차

Part I : 파장

1. 마이켈슨 모드로 레이저와 간섭계를 정렬한다. 그러면 간섭 패턴이 관찰 화면 위에 분명하게 눈에 띈다. 지침서의 설치와 작동(Setup and Operation)을 참조한다.
2. 마이크로미터의 손잡이로 매질의 눈금을 조절한다(약 50 μ m). 이 위치에서, 마이크로미터의 눈금과 거울 이동 사이의 관계는 거의 선형적이다.
3. 마이크로미터의 손잡이를 시계방향으로 끝까지 돌린다. 손잡이의 0이 색인 마크와 함께 정렬될 때까지 시계방향으로 계속해서 돌린다.

주의할 점

마이크로미터의 손잡이를 반대로 돌릴 때에 거울을 움직이기 전에 탄력적인 작은 양이 있다. 이것은 역학적인 틈새(mechanical backlash)라 부르며, 이동 방향에 있어서 전환과 관련 있는 모든 역학적인 계에 주어진다. 완전히 반시계 방향으로 시작한 뒤에 무늬들의 수를 계수할 때에 오직 시계방향으로만 돌리면 틈새로 기인된 오차를 줄일 수 있다.

4. 관찰 화면의 위치를 조절한다. 그래서 밀리미터 단위의 표시 중의 하나가 자신이 만든 간섭 패턴에 있는 무늬 중의 하나에 정렬되도록 한다. 만일 참조 마크가 패턴의 중앙부로부터 하나 또는 두 개의 무늬가 있다면 계수(count)하기가 쉽다.
5. 마이크로미터 손잡이를 시계방향으로 천천히 회전시킨다. 무늬가 참조 부호(reference mark)를 지날 때에 무늬들의 개수를 센다. 무늬의 개수가 미리 결정된 일부가 참조부호를 지날 때까지 계속한다(최소한 20개의 무늬를 센다). 무늬의 개수 세기가 끝났을 때에 무늬들은 자신의 참조 부호에 대해서 같은 위치(무늬의 개수를 세기 시작할 때에 참조부호가 있었던 위치)에 있어야만 한다. 마이크로미터의 다이얼의 마지막 눈금을 기록한다.
6. 마이크로미터의 눈금에 따라 이동식 거울이 광선 분배기를 향해 이동한 거리인 d_m 을 기록한다.
7. 무늬 전환의 수 N을 기록한다.
8. 3번부터 7번까지를 수회 반복한 다음 그 결과를 각각 기록한다.
9. 계속해서 Part II로 넘어간다. 만일 이후에 시간이 있다면, Fabry-Perot mode의 간섭계를 준비하고 3번부터 3번까지 반복한다.

Part II: 편광(Polarization, 간섭계 부속품인 OS-9256A의 일부로 보정된 편광자를 사용)

1. 레이저와 광선 분배기 사이에 편광자를 배치한다. 여러 편광 각도를 시도해 본다. 이 방법은 무늬 패턴의 밝기와 선명도에 어떤 영향을 주는가?
2. 편광자를 제거하고 고정식 거울 또는 이동식 거울 앞에 편광자를 놓는다. 여러 편광 각도를 시도해 본다. 이 방법은 무늬 패턴에 어떤 영향을 주는가?
3. 이제 두 개의 편광자로 시도해 본다. 하나는 고정식 거울 앞에 두고, 다른 하나는 이동식 거울 앞에 둔다. 먼저 하나의 편광자를 회전시키고 난 뒤에 다른 편광자를 회전시킨다. 다시 해보고, 이 효과를 기록한다.

분석 Part I

1. 각각의 실험 횟수에 대해 빛의 파장($\lambda = 2d_m / N$)을 계산한 다음 자신의 결과의 평균치를 계산한다. 만일 Fabry-Perot mode도 시도해 보았다면, 그 데이터에 대해 독립적인 파장을 계산한다. 위의 같은 공식을 적용한다.

분석 Part II

1. 실험방법의 1번에서 관찰한 것으로부터 자신이 실험에 사용한 광원의 편광 특성을 결정할 수 있는가? 시간에 따라 달라지는가?
2. 실험방법의 2번에서 관찰한 것으로부터 자신이 실험에 사용한 광원의 편광에 대해 어떤 더 많은 정보를 주는가?
3. 실험방법의 3번에서 관찰한 것으로부터 교차 편광된 광선다발은 간섭하는가?

(5) 질문

1. 마이크로미터의 이동에 기초한 λ 의 값을 결정하는 계산에서 d_m 은 왜 2를 곱하는가?
2. 단 하나 대신에 많은 무늬 전환을 통해 거울을 이동시키는 이유는 무엇인가? 왜 여러 번의 측정을 하며 그 결과를 평균 내는가?
3. 만일 Fabry-Perot 모드를 시도해 보았다면, 자신이 측정한 λ 와 같았는가? 그렇지 않았다면 그 차이에 대한 가능한 이유에 대해 추측할 수 있는가?
4. 자신이 실험에 사용한 광원의 파장이 정확하게 알려져 있다면, 이미 알려진 값과 자신의 결과를 비교해본다. 차이가 있다면, 이에 기인하는 것은 무엇인가?
5. 간섭계의 마이크로미터 다이얼을 사용한 거울 이동을 측정할 때에 어떤 요인이 측정의 정확도를 제한하는가?
6. 광원의 이미 알려져 있는 파장을 사용함으로써 무늬의 수를 세기 위한 거울 이동을 측정할 때에 어떤 요인이 측정의 정확도를 제한하는가?
7. 간섭패턴이 발생할 때에 어떤 역할이 편광에 관여하는가?