



마이켈슨 간섭계

1. 실험 목적

마이켈슨 간섭계를 이용하여 헬륨-네온 레이저의 파장을 정확하게 측정하고 한편으로 빛이 에테르라는 매질을 통하여 전파되는지 여부를 밝힌 마이켈슨-몰리의 실험을 이해한다.

2. 이론

전자기파의 이론의 발달로 19세기 중엽에는 빛의 본성이 파동이라는 것이 거의 확실해졌다. 그러나 우리가 주위에서 볼 수 있는 파동들은 일반적으로 그것이 전파될 수 있는 매질의 존재를 필요로 한다. 그러나 ‘빛’이라는 파동을 실어 나르는 매질이 무엇인지에 대한 규명이 되지 않았기에 19세기 후반의 물리학자들은 고민에 휩싸이게 되었다. 실체를 붙잡을 수 없는 이것을 ‘에테르(ether)’라고 일컫고 그 존재를 확인하기 위한 여러 종류의 실험이 이루어졌다. 그중 대표적인 것이 마이켈슨(A.A.Michelson)과 몰리(E.W.Morley)에 의한 움직이는 에테르에서의 빛의 속도변화 관측 실험이다. 많은 기대에도 불구하고 빛의 속도 변화는 관측되지 않았고, 이 결과는 아인슈타인이 특수상대성이론을 만들어 내는 계기가 되었다.

현재로는 에테르가 존재할 이유가 없어졌고, 때문에 원래의 마이켈슨-몰리 실험은 그 자체로는 별로 가치가 없다. 그러나 그 실험장치를 마이켈슨 간섭계라 하여 거리를 빛의 파장 정도의 정밀도로 측정한다든지, 또는 물질 속에서의 빛의 속도변화를 관측하여 물질의 굴

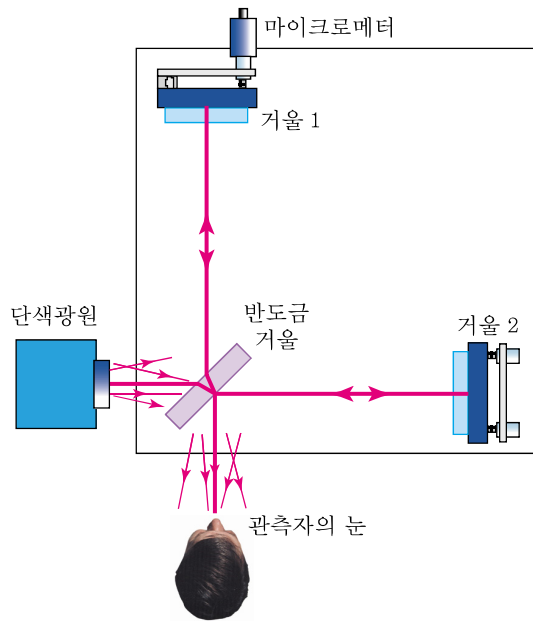
절율을 측정하거나, 그로부터 여러 가지 다른 물리량들을 정확하게 측정하는데 두루 쓰이고 있다. (실제 마이켈슨은 이 간섭계를 이용하여 표준 1 m가 카드늄을 포함하는 광원에서 방출되는 단일 적색광의 1,553,163.5 파장과 같음을 보였고 이 업적으로 1907년 노벨 물리학상을 받았다. 또한 meter 원기와의 비교에 의한 길이의 측정표준도 1961년 빛의 파장과 비교하는 그러한 방법으로 바뀌게 되었다)

1) 마이켈슨 간섭계의 원리

마이켈슨 간섭계는 한 점광원을 반은(銀)도금된 거울을 통하여 둘로 나누어 위치 차이가 나게 하여 다시 만나게 하는 구조로 되어 있다. 이렇게 하는 이유는 이것이 서로 간섭성이 있는 두 빛을 만들어 내는 간단한 방법의 하나이기 때문이다. 학생들은 고등학교에서의 물결통 실험을 기억할 것이다. 그 실험에서 원형으로 퍼져나가는 물결파는 모터에 의하여 같이 진동하는 막대기에 의하여 만들어지므로 완벽하게 결이 맞아있고 그래서 간섭현상을 관측할 수 있었다. 그러나 만일에 두 물결파가 서로 관계없이 회전하는 두개의 모터에 의하여 발생하는 것이라면 간섭현상이 일어나지 않았을 것이다. 빛의 경우 서로 다른 광원에서 나오는 빛은 전혀 결이 맞아있지 않기 때문에 이 경우처럼 간섭현상이 역시 일어나지 않는다.

나트륨등처럼 공간간섭성이 없는 빛이 넓은 면을 통하여 방출되는 것을 광원으로 사용한다면 거울 1과 2를 거의 같은 거리로 하여 두개가 수직에서 미세한 각을 벗어나게 해둔다. 그리고 반은거울을 통하여 들여다 보면(그림 1에서는 아래 부분에서 위로 향하여) 거울 두개에 의한 광원의 두 상이 거의 겹쳐 보인다. 그러나 광원의 두 상은 원래 같은 지점에서 나온 것이기 때문에 간섭성이 있어서, 그 거리차이가 파장의 정수배가 되면 밝게 보이고 파장의 $1/2$, $3/2$, $5/2$ 등의 차이가 되면 어둡게 보인다. 표면의 각 지점의 거리 차이가 각각 다르기 때문에 밝고 어두운 것들이 얼룩이 져서 간섭무늬가 나타나는 것이다. 광원의 표면과 각 거울들이 평평하다면 그 무늬는 보통 띠의 형태를 하게 된다. 거울 1이나 2중 하나를 앞으로 이동시키면 그 거울에 의한 광원의 허상이 이동하여 띠 무늬는 한쪽으로 흐를 것이다. 만일에 한 광로에서 빛의 속도가 늦어진다면 역시 무늬는 이동을 하는데 마이켈슨은 이 원리를 이용하여 에테르의 존재를 규명하고자 시도 하였다.

반은거울(half mirror)에 의해 나뉘어진 두 광선이 각각 거울 1과 2에서 반사된 후 다시 만난다. 이때 광원의 조건과 거울 1, 2가 기울어진 정도에 따라 간섭무늬가 다르게 나타난다. 원래는 광원으로서 나트륨등을 사용하였다.

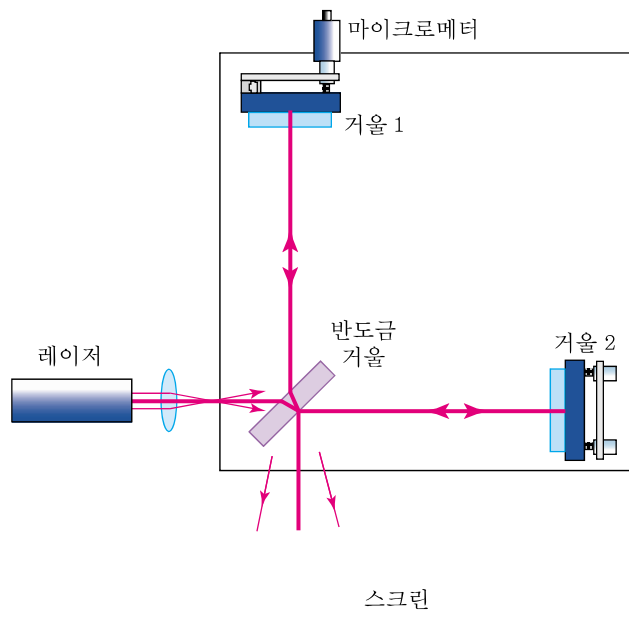


■ 그림 1 ■ 마이켈슨 간섭계

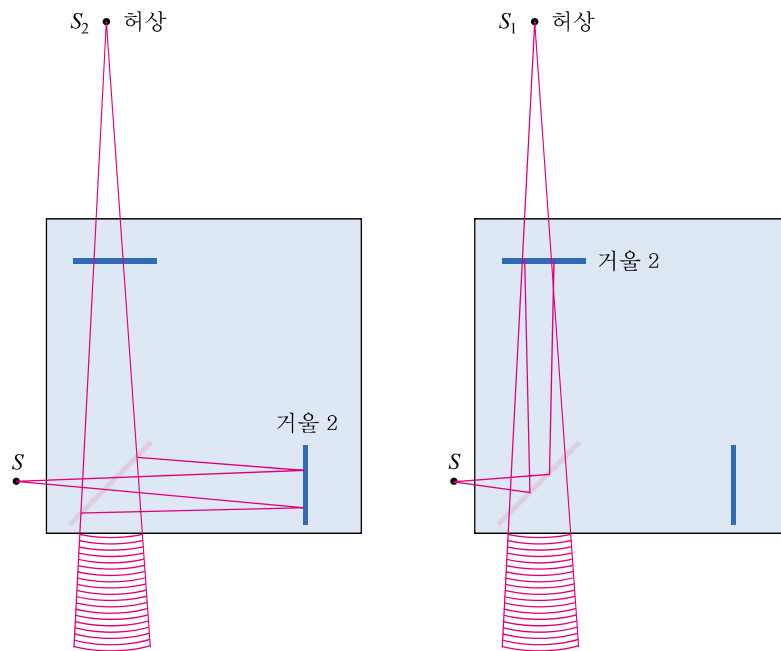
2) 레이저에 의한 간섭 무늬

레이저의 앞에 초점거리가 짧은 볼록렌즈를 설치하여 평행광선이 초점거리 지점에서 집속되도록 한다. 집속된 후에 다시 방사상으로 퍼져나간다. 원래의 레이저가 결이 잘 맞아 있는 평면파이기 때문에 방사상으로 퍼져 나가는 빛도 완전한 구면파를 이룬다. 이 구면파는 두 거울에 의해 광로차가 생긴 후에 다시 만나서 간섭이 일어 날 것이다. 이 경우에는 앞에 스크린을 설치하여 간섭이 일어나는 한 단면을 밝고 어두운 무늬로 관측한다.

본 실험에서는 원래의 마이켈슨에 의해 행해진 그대로의 방법을 쓰지 않고, 레이저를 볼록렌즈로 분산시켜 완벽한 구면파를 만들어서 그 구면파를 광원으로 한다. 레이저 빛이 볼록렌즈를 통과한 후에 일단 집속되어 한 점에 모였다가 다시 구면으로 퍼져 나가므로 집속된 지점에서 점광원이 있는 것과 같다. 이 점광원을 S라 하자. S에서 나온 구면파는 거울 1, 2와 반은거울에 의하여 반사되어 그림 3에서처럼 아래 방향으로 비추어진다. 만일에 두 광로가 완전하게 일치한다면 두 구면파는 완벽하게 서로 구면이 일치하여 아래쪽의 스크린에는 전체적으로 밝게 되어 간섭무늬는 관측되지 않을 것이다. 그러나 이러한 경우는 반은 거울에서 두 거울 사이의 거리가 완전하게 같고 두 거울이 서로 광선에 따라 수직으로 되어 있을 때에만 가능하다. 이런 상황을 만드는 것은 거의 불가능하다.



■ 그림 2 ■ 레이저에 의한 간섭무늬



■ 그림 3 ■ 두 거울에 의해서 반사되는 구면파

두 거울에 의해서 반사되는 구면파를 각각 따로 그렸다. (a)는 거울 2에 의해서 반사되는 구면파로 결국 거울 두개에 의한 점광원 S 의 허상은 위쪽에 형성되어(S_1) 거기에 점광원이 있는 것처럼 아래방향으로 비추어 진다. (b)의 경우에는 거울 1에 의한 허상을 그렸다(S_2). 두개의 허상의 위치는 약간 차이가 있다.

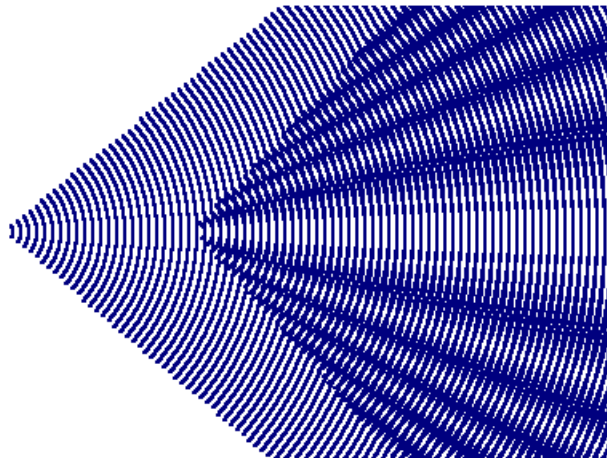
만일에 두 거울을 광로에 대해 수직에 가깝게 잘 조절하고 단지 두 광로가 약간의 차이가 있다면 아래의 스크린에 어떤 무늬를 볼 수 있을까? 그림 3을 보자. 그림 4에서 보이는 것처럼 앞뒤로 약간의 차이가 있는 두 지점에 간섭성이 있는 (이를 가간섭성의 빛이라 한다) 점광원이 있을 때 스크린에는 간섭무늬가 원형으로 나타날 것이다. (동심원으로 그려져 있는 파면이 실제 구면임을 상기하자)

한편 마이크로메터를 돌려서 거울 1을 앞뒤로 이동 시키면 스크린에 비추어지는 원형의 무늬는 안으로 오므라들든지 아니면 커지면서 밖으로 이동할 것이다. 마이크로메터의 움직인 거리를 눈금으로 측정하고 이때 오므라들어 소멸되는(혹은 가운데서 발생되는) 원형 무늬의 개수를 세어주면 이것들로부터 레이저의 파장을 구할 수 있을 것이다.

마이크로메터가 움직인 거리를 d 라 하고 무늬의 소멸(발생) 개수를 N 이라 하자. 그러면 허광원 S_1 의 이동거리는 거울의 이동거리의 2배가 되어서 $2d$ 이다.

$$2d = N\lambda \quad (1)$$

식 (1)로부터 레이저의 파장을 정확하게 측정할 수 있다.



■ 그림 4 ■ 간섭무늬

빛의 파장은 회절격자나 파브리-페로(Fabry-Perot)간섭계로 훨씬 더 정밀하게 측정할 수 있다. 그래서 마이켈슨 간섭계는 매질속에서 빛의 속도를 구하여 그 매질의 온도 분포를 측정하거나, 물체의 미소한 이동거리를 정밀하게 측정하는데 주로 쓰인다.

그림 3에서의 (a)와 (b)가 겹쳐서 간섭무늬가 형성되어 있다. 원형으로 퍼져나가는 파가 실제로는 구면파이기 때문에, 오른쪽에 스크린이 수직으로 놓여 있으면 가운데가 밝고 무늬가 동심원인 간섭무늬가 생긴다. 그러나 두 파원중 하나를 이동시켜 둘 사이의 거리를 변화시키면 무늬는 오무려 들거나 커져 나간다. 그림에서 두 파원사이의 거리가 파장의 정수 배이어서 가운데에 밝은 무늬가 생긴다.

3. 실험장치

1) 마이켈슨 간섭계

두 거울 중 한 거울에는 마이크로미터가 붙어있다. 마이크로미터는 거울을 지렛대를 통해서 이동시키므로 실제 마이크로미터의 이동거리의 지레비 만큼 거울이 이동한다. 1 : 30 으로 되어 있기도 하고 기구에 따라 마이크로미터의 눈금이 지레비를 감안하여 매겨져 있기도 하다.

2) 레이저

반도체 레이저 3.5 m W . 파장: (적색) 650 nm, (녹색) 532nm

3) 볼록 렌즈

레이저 부착용

4) 스크린

4. 실험 방법

- 1) 그림 2처럼 기구를 배치한다. 기구들을 제대로 정렬하기 위해서 우선 다이오드 레이저의 볼록렌즈를 떼어 내고 전원을 올려 레이저 빛이 나오도록 한다. (눈 속으로 레이

저광이 들어가지 않도록 주의할 것)

- 2) 거울의 방향, 레이저광의 방향등을 서로 수직이 되도록 적절히 조정하면 레이저에서 나오는 광선이 스크린에 두 점이 도달할 것이다. 이때 거울들에 붙어 있는 조절나사를 조절하여 두 점이 정확하게 일치되도록 한다.
- 3) 이 상태에서 레이저 앞에 볼록렌즈를 끼워 넣어 레이저광이 구면파를 이루도록 한다.
- 4) 과정이 정확하게 되었으면 스크린에는 원형의 간섭무늬가 나타날 것이다. 만일에 간섭 무늬가 찌그러 졌다든지 직선에 가까우면 거울등의 방향을 다시 미세 조정하여 원의 중심이 스크린의 가운데에 있는 원형이 되도록 하여야 한다.
- 5) 마이크로미터를 천천히 돌리면서 원형 무늬의 변화를 관측한다.
- 6) 마이크로미터를 계속 돌리면서 오프라드는(혹은 퍼져나가는) 무늬의 개수를 세어 준다. 시작할 때 마이크로미터의 눈금을 읽고, 끝날 때 읽어 거울의 이동거리도 구하도록 한다.
- 7) 그 개수와 거울의 움직인 거리로부터 레이저광의 파장을 계산한다.
- 8) 위의 과정을 반복하여 레이저광의 파장을 측정한다. 녹색과 적색의 레이저에 대해서 각각 3번씩 총 6번 측정한다.

5. 참고도서

탐구당 “현대물리 실험”