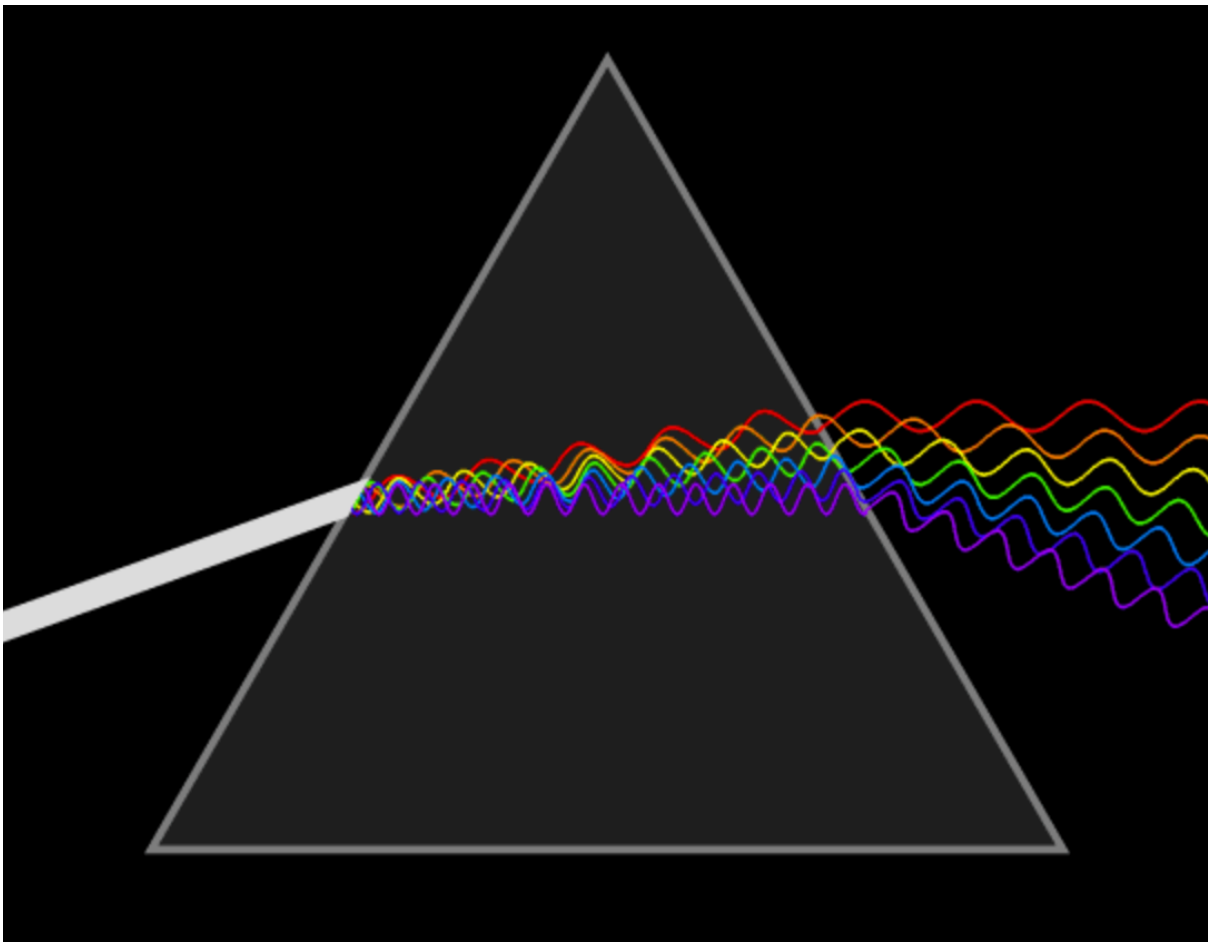
빛이란 무엇인가 (2)

Minjae Kim (김민재)

ITAP, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Germany (이론물리 및 천체물리학 연구소, 킬 대학교)
LSW, Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, Germany (주립 천문대, 하이델베르크 대학교)



프리즘을 통해서 분해되는 빛들

Credit: Lucas V. Barbosa

빛의 고유 성질

지난 칼럼 "빛이란 무엇인가(1)"에서 설명한대로, 빛은 두 가지 형태로 기술할 수 있습니다. 고전 물리학에서 말하는 빛은 맥스웰 방정식에서 알 수 있듯이 서로 직각을 이루고 있는 전기장(E)과 자기장(M)의 진동으로 이루어지며, 매질에서 항상 일정 속도로 이동하는 전자기파입니다. 이들은 “전기 또는 자기를 띄는 물질이 가속 운동하면 전자기파가 전파된다”고 알려져 있습니다. 이러한 빛은 “파동성”을 띄고 있습니다. 양자역학에서 말하는 빛은 “파동”뿐 아니라 “입자”로서 이중성을 갖습니다. 이처럼 빛이 “파동”인가 “입자”인가

하는 논란이 끊임없이 계속 되어오면서, 우리는 빛에 관해서 더 자세히 알 수 있었습니다. 빛의 성질을 자세히 알게된 것은, 이론물리학과 천체물리학의 역사와 함께합니다. 이론물리학자들은 에너지를 비롯한 모든 물리량이 양자화 되어 있으며, 모든 물질들이 파동과 입자의 성질을 가지는 원자보다 작은 세상을 탐구하였고, 반면 천체물리학자들은 상상할 수도 없이 큰 크기의 천체들을 연구하였는데, 한가지 재밌는 사실은 이들의 탐구 대상은 근본적으로 같았다는 점입니다. 다른 목적으로 같은 물질 "빛"을 연구하면서, 빛의 변하지 않는 고유 특성들을 밝혀냈습니다. 이들의 빛의 연구를 통해서 밝혀낸 그들의 고유 특성은 "직진성", "반사", "굴절", "분산", "합성", "산란", "간섭", "회절" 그리고 "편광" 등이었습니다. 이번 칼럼에서는 9가지 고유 특정에 관하여 알아보도록 하겠습니다.

빛은 직진한다

빛의 가장 기본적인 성질은 직진성입니다. 매질이 없는 진공 중에서나, 같은 매질내에서 빛은 무조건 직진을 합니다. 의문을 가지시는 분이 계실겁니다. 아인슈타인은 일반상대성 이론에 근거하여 무거운 중력등에 의한 빛이 휨을 예측했고, 우리는 이를 "아인슈타인의 반지"라는 형태로 이미 관측을 했기 때문입니다. 하지만 이 경우에도 시공간이 휘어질 뿐 빛은 이 휘어진 시공간을 직진한다고 보시면 됩니다. 우리 그림자의 길이는 태양의 고도에 따라서 달라집니다. 또한 우리는 달이 태양과 지구 사이에 놓여있을때 태양이 가려지는 일식현상이나 태양에 의해 생긴 지구의 그림자 속에 달이 들어와 결국 달이 보이지 않게 되는 월식현상등을 관측할 수 있습니다. 이들은 모두 빛의 직진성을 증명하는 자연계의 예시들입니다.



그림 1. 빛의 직진하는 성질 때문에 오른쪽의 소녀는 촛불을 볼 수 없습니다. **Credit:** Cfcpoland

빛은 반사하고 굴절하기에 분산한다

빛이 어떤 물체의 표면에 입사하게 되면 입사한 빛(입사 광선)의 일부분은 반사(반사 광선)하게 됩니다. 입사 광선과 법선이 이루는 각을 입사각, 반사 광선과 법선이 이루는 각을 반사각이라고 하는데, 이 둘의 각도는 항상 같습니다 (반사의 법칙). 만약 매끄러운 (예: 거울면)곳에 평행 입사 광선이 도달하면, 반사 광선도 평행 광선이 되는데 이를 정반사라고 부르지만, 사실 자연은 그리 호락호락하지 않습니다. 거의 모든 물체 표면은 울퉁불퉁하기에, 이러한 물체에 평행 광선이 비치면 반사 광선은 서로 제 각기의 다른 방향으로 진행하게 됩니다. 하지만 이러한 난반사 덕분에, 우리는 물체를 어느 방향에서나 볼 수 있습니다.

입사각과 반사각은 항상 같지만(반사의 법칙에 의해서), 반사되는 빛의 양은 물질의 특성에 따라 달라집니다. 빛이 어느 한 매질속에 있다가 다른 매질로 입사하게 되면 (광선이 경계면으로부터 수직이 아닌 각으로 입사하지 않는한) 입사한 빛의 일부는 경계면에서 반사되고 나머지는 새로운 매질 속으로 투과됩니다. 즉, 새로운 매질안에서 빛의 방향이 바뀌게 되는데, 우리는 이러한 현상을 굴절이라 합니다 (그림 2 참조). 굴절률이 서로 다른 두 매질이 맞닿아 있을 때 매질을 통과하는 빛의 경로는 매질마다 빛의 속도가 다르므로 결

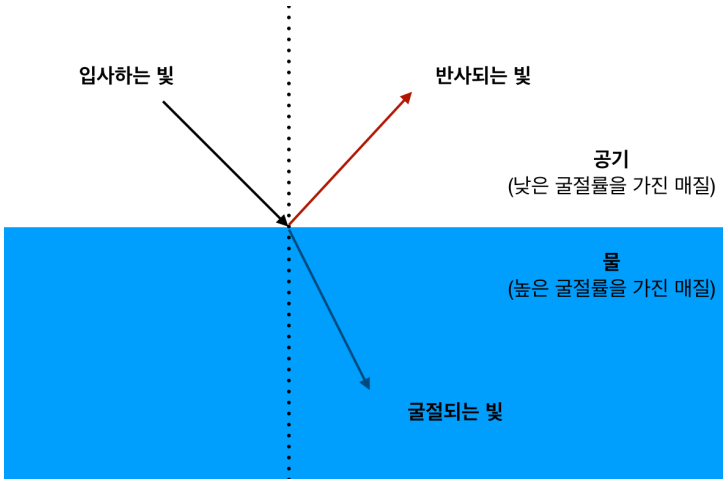


그림 2. 매질의 서로 다른 굴절률 때문에 빛은 굴절되고 결국 분산현상이 일어납니다.

국 휘게 됩니다. 그 휜 정도를 빛의 입사 평면 상에서 각도로 표현한 법칙을 스넬-데카르트의 법칙(la loi de Snell-Descartes)이라고 합니다.

빛이 반사하고 굴절하는데에 있어서 두 가지 모두를 수학적으로 나타낸 프레넬 방정식이 있습니다. 굴절률이 서로 다른 매질로 빛이 투과할 때 반사와 굴절이 동시에 일어남을 반사계수와 투과계수로 나누어 성분을 분석한 방정식이지만, 한편으로 위 방정식은 크게 단순화된 면이 있습니다. 먼저 입사면을 "균일하고 평평한 평면"으로 가정했으며, 파원 자체가 한 점이 아닌 직선 또는 평면이기에 파동 자체가 직선이나 평면으로 퍼져나가는 파동 (평면파) 만을 가정했습니다.

더 중요한 점은 바로 빛이 분산을 한다는 사실입니다. 예를 들어서, 프리즘에 의한 빛의 분산(표지 그림 참조) 혹은 비 온 뒤 하늘에서 볼 수 있는 무지개를 생각할 수 있습니다. 빛의 분산이 일어나는 이유는 간단합니다. 우리가 볼 수 있는 햇빛중 가시광선은 여러 가지 색이 합성된 백색광인데, 프리즘을 통과하면서 굴절률이 큰 보라색이 가장 많이 꺾이고(파장이 짧을 수록 굴절률이 큼), 굴절률이 작은 빨간색은 가장 적게 꺾이기 때문입니다. 즉, 다양한 빛의 다양한 굴절률에 의해서 나누어지게 되고 빛의 분산현상이 일어나게 됩니다. 빛의 분산은 결국 분광학이라는 한 분야를 만들어 낸만큼 중요한 성질 이기에, 다음 칼럼에서 더 자세히 다루도록 하겠습니다.

참고로, 빛의 분산과 반대로 두 가지 이상의 단색광이 합쳐져서 다른 색으로 보이는 현상을 우리는 빛의 합성이라고 부릅니다. 물감의 경우에는 여러 색깔을 섞을수록 검은색에 가까워지는 반면, 빛의 경우에는 정반대입니다. 섞으면 섞을수록 흰색에 가까워지기 때문입니다. 빛의 합성은 일반적으로 TV, 모니터, 카메라 등 픽셀 단위로 구성된 관측도구에 이용되곤 합니다.

빛은 산란한다

일반적으로 산란(scattering)현상이라 함은, 어떤 매질을 직선 경로로 통과하는 입자들이 (주로 빛이나 소리) "불균일한 입자"를 만나서 그들이 가던 경로를 벗어나는 현상을 가리키는 말입니다. 산란을 일으키는 물질들은 매우 다양한데, 우리가 생각하는 빛도 돌아다니면서 여러물질을 만나고 역시 산란을 합니다. 예를 들어서 태양에서 나오는 빛이 우리에게 오던 중 큰 미행성을 만나서 산란될 수도 있습니다. 빛(전자기파)의 산란은 크게 탄성 산란[1]과 (레일리 산란 Rayleigh Scattering과 미 산란; Mie Scattering) 비탄성 산란(라

[1] 빛과 입자가 부딪힐 때 충돌 전후 그들이 충돌하는 계의 운동에너지 총량이 일정한 충돌을 이르는 말입니다. 따라서 비탄성 산란에 비해 충돌 입자들 사이에서 에너지 교환이 거의 일어나지 않는 산란입니다.

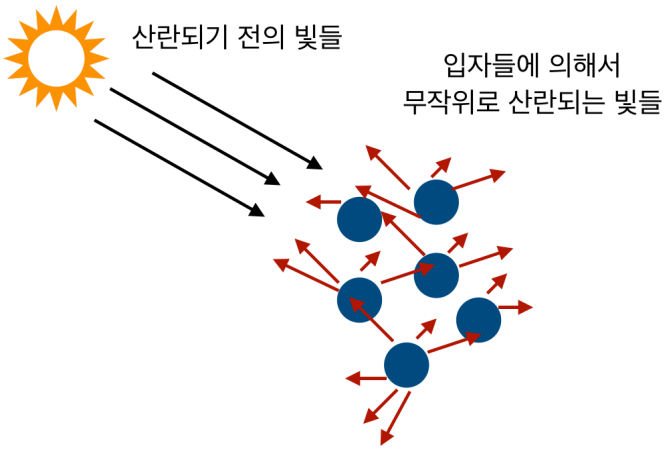


그림 3. 태양으로부터 나오는 빛들은 입자들에 의해서 무작위로 산란이 되곤 합니다.

만산란; Raman Scattering, 비탄성 X-ray 산란, 그리고 컴프턴 산란; Compton Scattering) 총 2가지로 나눌 수 있습니다.

태양빛이 지구의 대기에 도달하게 되면 자외선은 성층권의 오존층에서 대부분이 흡수 되어 버립니다. 그외 나머지 빛들은 대기를 통과해 들어오다가 공기안의 여러 산소나 질소 분자등의 입자를 만나면 사방으로 퍼지게 되는데, 이 현상이 대표적인 산란 현상입니다.

우리가 볼 수 있는 햇빛은 빨간색에서 보라색까지 모든 빛깔이 섞여 있는 전자기파의 일종, 즉 가시광선인데 이 가시광선의 파장은 공기중에 풍부한 산소나 질소 분자들 보다 크기가 훨씬 큽니다. 이 경우(빛의 파장이 만나는 입자들의 크기보다 클때)에는 레일리산란이 일어나게 됩니다. 이 레일리 산란을 수학적으로 표현한다면, 파장의 4제곱에 반비례하는데, 이 때문에 낮에는 짧은 파장의 파란색, 보라색의 가시광선이 훨씬 더 많이 산란되게 되는데 우리 눈이 파란색에 더 민감하기에 하늘이 파랗게 보입니다. 저녁 시간이 되면 대기중에서 빛의 이동경로가 길어져서 파란색, 보라색 빛은 이미 산란이다 되어버리고 남은 붉은 빛이 산란이 되기 시작하여 붉은 노을을 볼 수 있게 됩니다. 가시광선 파장이 공기중의 입자들보다 크기가 크거나 공기중의 입자들이 가시광선 파장들보다 클 경우 (이경우에는 미산란이 일어납니다), 하늘은 파란색이 아닐 수도 있습니다.

빛은 간섭하고 회절한다

가장 어렵고 생소한 개념인 빛의 회절현상과 간섭현상은 빛의 파동성을 보여주는 현상입니다. 회절이 무엇인지 이해하기 위해서는 먼저 파동의 정의가 무엇인지 알아야 합니다. 파동은 시간과 공간으로 주어지는 한 점에서 정의되는 물리량(시간과 공간의 함수)이 주기적으로 변하면서, 공간상으로 전파되는 것을 말합니다. 가장 유명한 예로는 음파, 수면파, 그리고 지진파 등이 있고, 이들은 공기, 물, 지각을 매질로 해당 분자들을 진동시켜서 멀리 전파되는 파동들 입니다. 파동은 매질의 진동 방향으로는 진폭과 파동의 진행 방향 1 주기인 파장(λ)의 특성값으로 표현하며, 양의 최대 진폭을 마루, 음의 최저 진폭을 골이라고 표현합니다. 파의 진행방향과 진동방향이 평행일 때는 종파(예를들면 음파, 지진파의 P파), 수직일 때는 횡파(예를 들면 수면파, 지진파의 S파)로 정의합니다. 실생활에서 쉽게 찾아볼 수 있는 예를 찾아보면, 호수 위 제

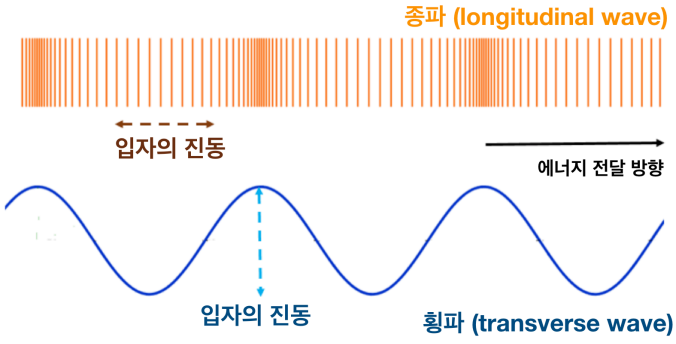


그림 4. 종파와 횡파의 차이점

자리에서 오르락 내리락 하듯이 움직이는 배를 생각할 수 있습니다 (그림 4 참조). 이는 파의 진행방향과 진동방향이 수직이기 때문에 일어나는 현상입니다. 우리의 주제인 빛도 진행방향과 진동방향이 수직이기에 바로 횡파입니다. 수면파(2차원 파동)는 호수에 돌을 던졌을 때 발생하는 구면파와 그 원형파가 멀리 퍼져 나갔을 때 마루나 골의 모양이 직선이 되는 평면파로 구분할 수 있습니다. 구면파는 중심에서 멀어질 수록 파의 높이가 줄어들고 시간이 지나면 물의 마찰열로 인한 그들의 에너지 발산으로 다시 고요한 호수의 모습으로 되돌아갑니다. 평면파의 단면은 1차원 파동인 줄의 파동과 동일한 형상을 가집니다. 음파는 사방으로 퍼지는 3차원 파동이라고 할 수 있습니다. 즉, 파동의 회절은 파동의 진행방향에 장애물을 만났을 때 파면이 휘어지는 현상을 말합니다.

지난 칼럼에서 설명한대로 (빛이란 무엇인가 (1), 3페이지) 호이겐스(Christiaan Huygens, 1629~ 1695)는 파면상의 모든 점들은 작은 파동을 만드는 파동의 근원이라 볼 수 있고, 이들 작은 파동들은 원래 파동의 전파속도로 전방으로 파급되어 간다는 이론으로 빛의 파동성을 주장했습니다. 이 때 새로운 파면(wave front)은 이들 작은 파면들의 접선으로 이루어지는 포괄면(envelope)이라 부르는데, 이러한 빛의 파동성을 2가지 실험으로 확인 할 수 있습니다.

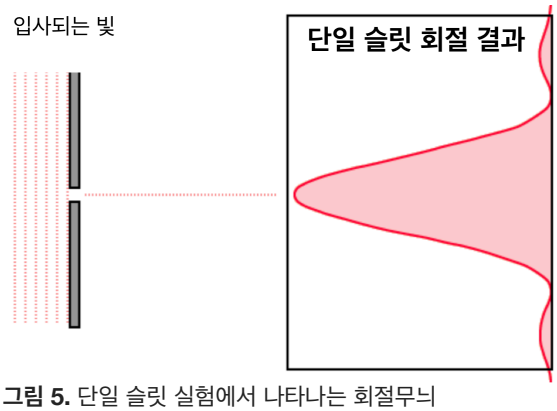


그림 5. 단일 슬릿 실험에서 나타나는 회절무늬

먼저 단일 슬릿실험이 있습니다. 단일 슬릿(구멍이 한개 있는판)에 빛을 쏘아보내서 스크린에 나타나는 무늬를 보면, 가운데는 밝고 점차 옆으로 퍼지면서 흐려지는 모양이 나옵니다. 슬릿을 빠져나간 파면은 무수히 많은 구면파를 형성하게 된다. 나타난 회절무늬의 간격이 넓을수록 더 넓게 퍼지게 된것이고, 이는 회절이 잘 일어났다고 말합니다. 수학적으로 나타내면, 슬릿의 폭이 좁을수록, 또는 긴 파장일수록 회절의 세기는 커지게 됩니다. 예를 들어서 빨간색빛은 파란색빛 레이저 보다 파장이 길기 때문에 회절이 더 잘 일어나고 더 넓게 퍼지게 됩니다. 또한 슬릿과 스크린의 거리가 멀수록 빛의 강도가 셀수록 회절이 잘 나타납니다. 단일 슬릿을 통과한 빛은 스크린의 가운데 부분(single Gaussian 모양, 그림 5 참조)에서 강도가 가장 센 걸로 보입니다.

하지만 이 현상은 빛이 파동이 아니라 입자여도 설명이 되는 사항입니다. 이러한 궁금증을 영국의 물리학자 영 (Thomas Young, 1773~1829)이 이중슬릿 실험을 통하여 풀었습니다. 이중 슬릿(얇고 긴 구멍이 두 개 있는 구조)에 빛을 쏘아보낸다면, 스크린에는 두 개의 단일 슬릿패턴이 합쳐진 모양이 관측될 것으로 예상되었지만, 실험 결과 스크린에 나타난 모양은 예상(단일 슬릿 실험시 관측된 패턴의 합)보다 더 넓고, 밝은 부분과 어두운 부분이 번갈아서 나오게 되었습니다 (그림 6, 7 참조). 두 슬릿을 통과한 파동은 같은 거리를 진행할 경우, 회절된 빛끼리 중첩하게 되기 때문입니다. 같은 위상의 두 파동(마루와 마루 혹은 골과 골이 만날때)이 중첩될 때의 “보강되는 간섭현상”을 일으키기 때문인데, 이로 인해서 중첩되는 순간 생기는 파동은 원래의 파동과 진동수는 같고 진폭이 2배가 되어 더 밝은 점처럼 보입니다. 또한 다른 위상의 두 파동(마루와 골이 만날때)이 중첩될 때의 "소멸되는 간섭현상”을 일으키는데, 이로 인해서 중첩되는 순간 합성파의 진폭이 0이되어서 완전히 상쇄되어서 소멸되어 버립니다. 이처럼 간섭현상(interference)은 파동이 위상을 지니기에 발생하는 현상으로서, 진폭의 보강이나 소멸을 말합니다. 즉, 두 개 이상의 파가 동시에 한 점에 도달했을 때 발생하는 현상인데, 이들의 파가 더 강하게 합쳐지거나 더 약하게 합쳐지는 현

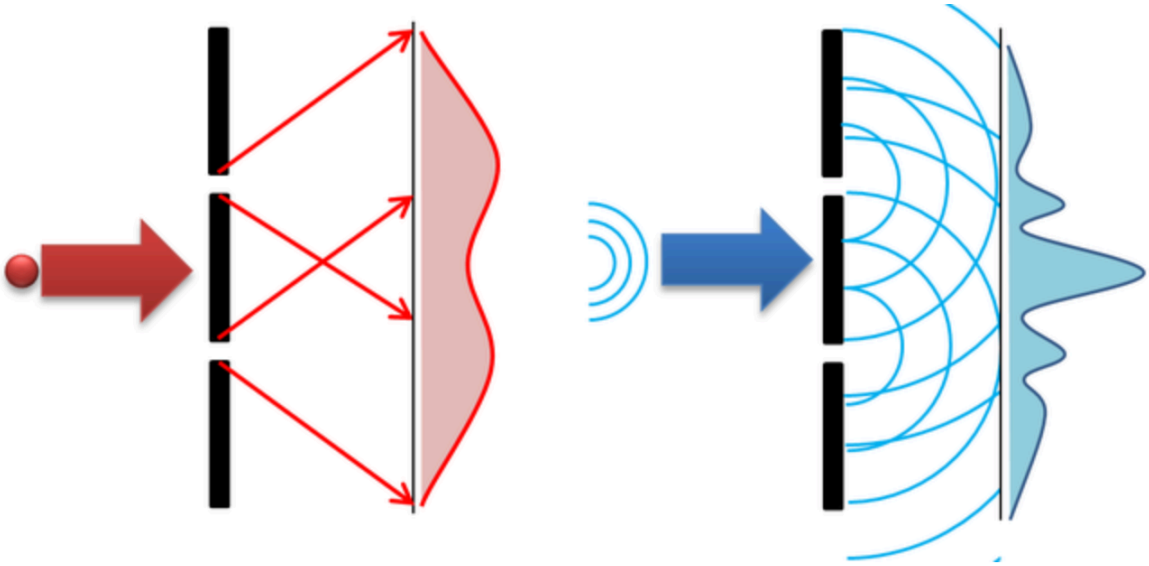


그림 6. 빛이 입자임을 가정했을시 (왼쪽), 빛이 파동임을 가정했을시 (오른쪽) **Credit:** soma0sd.com

상을 말합니다. 또한, 이중 슬릿에 아주 약한 빛을 쏘아 보낸다면 스크린에는 빛의 위치가 점과 같이 하나씩 표시가 되는데, 이 과정을 계속하면 전체 형태가 파동의 간섭무늬와 같아지는 현상을 볼 수 있게 됩니다. 이 두가지 간섭의 확인은 수면파를 이용한 결과와 일치하는 것이기에 빛이 파동이라는 확실한 증거가 되었습니다.

빛은 직진하는 성질을 지니고 있다고 했는데, 파동이 장애물의 가장자리에서 휘어져 나오는 회절현상은, 빛의 직진성으로는 설명할 수 없는 현상입니다. 이 회절은 수면파에서도 일어나듯이, 반드시 빛에만 국한된 현상이 아닙니다. 자연현상에서는 주로 음파에서 발견할 수 있는데, 벽이 있어도 우리는 벽 너머의 소리를 들을 수 있는 현상도 회절현상중 하나입니다. 앞서서 슬릿의 폭이 좁을수록, 또는 긴 파장일수록 회절의 세기는 커지게 된다고 명시했는데, 이를 직관적으로 이해하기 위해서 우리는 큰 강당의 스피커를 떠올리면 됩니다. 대부분의 강당 스피커는 비슷한 모양입니다. 가로로 길기보다는 세로 길게 생겼습니다. 강당같이 넓은곳에서는 소리가 좌우로 잘 퍼져야 하는데, 따라서 좌우길이는 작게 만들어서 회절이 잘 일어나도록 만든것입니다. 반대로 위아래로는 길게 만들어서 회절이 잘 일어나지 않도록 만들곤 합니다. 한가지 특이한 점은, 빛을 슬릿에 쏠때, 빛의 파장이 슬릿의 크기 정도가 될 때 회절 현상이 두드러지게 나타난다는 점입니다. 음파도 파동이기에 마찬가지 입니다.

그렇다면 담장 너머의 사람에게 소리가 회절되어 전달되듯이 빛도 담장을 넘어갈 수 있지 않을까요? 담장 너머로 소리는 회절되지만, 빛이 회절되지 않는 이유는 간단합니다. 우리가 볼 수 있는 대부분의 빛들(가시광선)은 파장이 아주 짧기 때문에 회절이 일어나기 힘들기 때문입니다. 파장이 짧은 극초단파를 사용하는 TV는 회절이 잘 안되기에 건물등이 많으면 수신상태가 나빠지게 됩니다. 하지만 긴 파장인 라디오파는 원거리 수신에 아주 유리합니다.

음파의 파장과 슬릿의 크기가 큰 관계가 있는것 처럼, 빛의 파장 역시 슬릿의 크기와 관련이 있다는 점을 알게되면서, 우리는 한 가지 재미있는 사실을 마주할 수 있었습니다. 슬릿을 만약 동그랗게 만들수 있다면, 이 동그란 틈새 를 통과한 빛은 회절현상 의해 동그란 빛이 아니라 “Airy disk" 라고 불리는 저런 과녁판 같은 이미지를 형성하게 되는데(그림 8 참조), 우리가 어떤 두 점을 식별할 때 그 두 점에서부터 출발한 빛이 만들어내는 각도가 작아지면 작아질수록 식별하기가 힘들어 집니다. 물체는 멀리 있을수록 눈으로 들

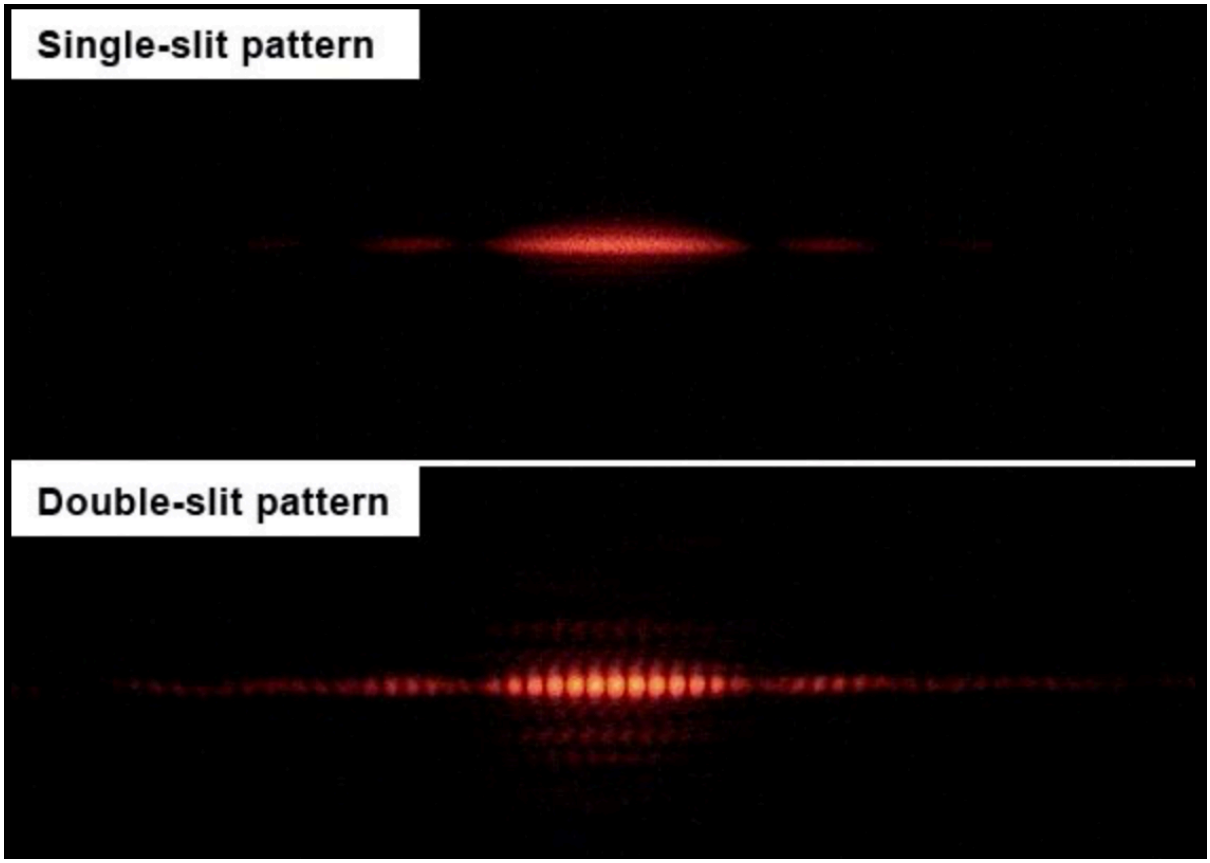


그림 7. 단일슬릿 결과 (위), 이중슬릿 결과 (아래) **Credit:** wikipedia

어오는 각도가 작아지기 때문에 식별하기 힘든점을 감안하면, 회절한계(diffraction limit)는 그림 9 처럼 Airy disk가 겹치게 되어 더 이상 두 점을 식별 불가능하게 되어 생기게 되는 한계를 말합니다. 이는 Airy disk가 겹친다면, 광학기계로는 식별이 더이상 불가능해진다는 말과도 같습니다. 따라서 우리는 천문학 관측에 근본적인 한계를 마주할 수 있는데, 바로 회절 한계, 즉, 빛의 회절 때문에 해상도가 흐려지는 현상입니다. 이러한 현상을 아베의 회절한계(Abbe diffraction limit)라고도 합니다.

위 Airy disk는 다름아닌, 오로지 회절 때문에 생기는 현상이므로 회절을 최대한 일어나지 않게 할 수 있다면, 분해능 값을 줄일 수 있습니다. 간단히 말해서 파장이 짧을수록 파동성이 나타나지 않기 때문에, 회절이 줄어들고 결과적으로 Airy disk가 작아져서 분해능이 좋아질 수 있는것입니다. 하지만 우리가 직접 볼 수 있는 가시광선은 아무리 짧아봐야 400nm 정도의 파장을 가지고 있습니다. 이를 수학적으로 계산을 한다면, Airy disk의 지름은 대략 2.44 x 파장/망원경의 구경 으로 나타낼 수 있습니다. 즉, 가시광선을 사용하여 물체를 관측한다면, 대략 0.2μm 정도 미만의 물체를 볼 수 없습니다. 생물학에서도 위와 같은 회절한계를 쉽게 접할 수 있습니다. 현미경으로 관측 할 수 있는 최대 물체 크기 또한 같기 때문입니다.

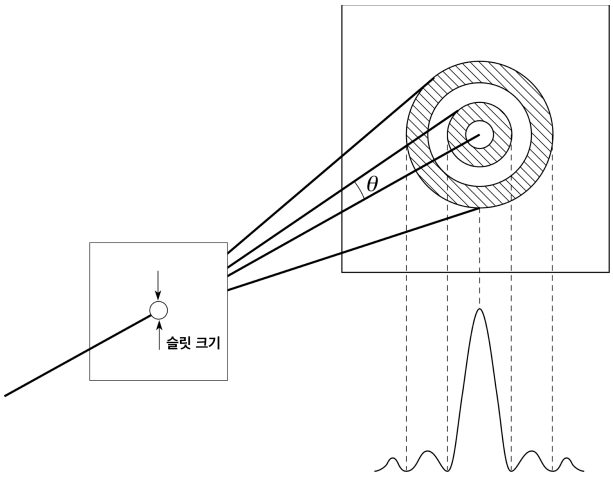


그림 8. 에어리 원반 (Airy disk) **Credit:** Gereeacarimek

더 강한 상대가 있어야 내가 강해지는 것처럼 빛의 회절현상은 모든 자연과학의 눈부신 발전을 강제로 이루게 하는 큰 제한 요소였습니다.

에어리 원반과 해상도

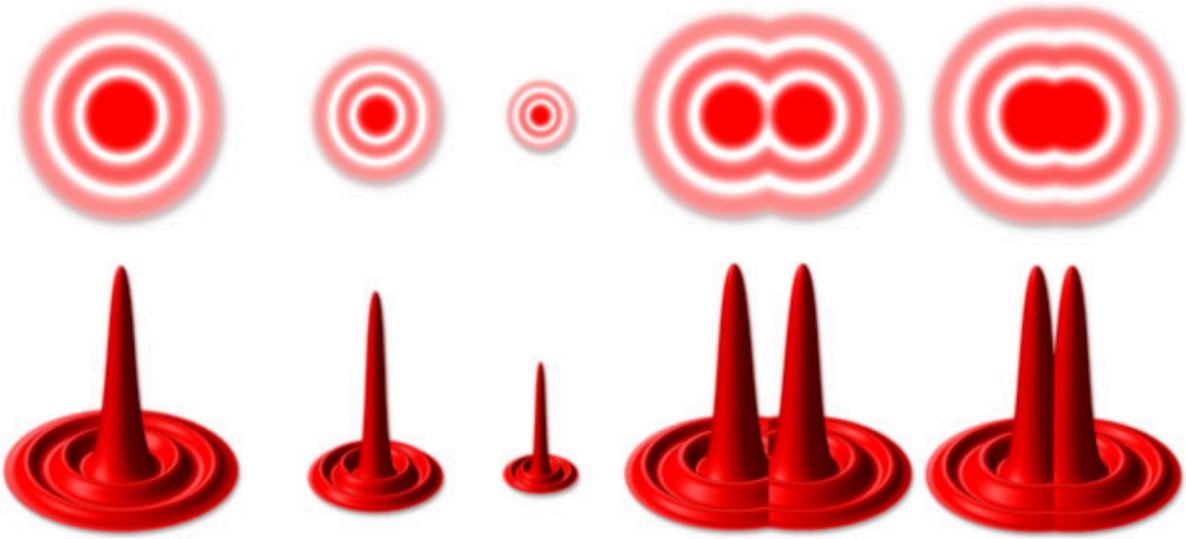


그림 9. 파장에 따른 에어리 원반 크기 변화 (1, 2, 3번 그림).
분해능이 낮다면 하나의 물체로 인식이 될 수도 있습니다 (4, 5번 그림) **Credit: Zeiss**

빛은 편광한다

앞서 설명한 대로, 빛은 횡파입니다. 그렇다면 과연 이를 어떻게 알았을까요? 빛의 또 다른 성질이 한 가지를 알게 되면서 과학자들은 빛이 횡파임을 알게 되었습니다. 더 있습니다. 빛은 전자기파의 일종이기에, 전기장의 진동면은 진행방향과 수직이고, 자기장의 진동면 역시 전기장과 진행방향에 수직입니다. 빛은 여러 방향의 진동면을 가진 많은 빛이 모인 것이며, 따라서 어느 방향으로나 같은 세기로 진동합니다. 이와 같은 빛을 (비편광된) 자연광이라 합니다. 모든 방향으로 진동하면서 진행하는 자연광과는 다르게 어느 특정한 몇가지 방향으로만 진동하면서 진행하는 빛을 우리는 편광(偏光, Polarization of light)이라고 합니다. 빛은 여러가지 이유로 인해서 편광되곤 하는데, 편광이 일어나는 정도는 입사각에 따라 다릅니다. 주로 자연광이 유리나 물과 같이 투명한 물체에 입사할 때, 반사광은 입사 평면에 수직하게 편광되지만, 이는 아주 일반적인 상황중 하나일 뿐입니다. 편광되지 않은 빛

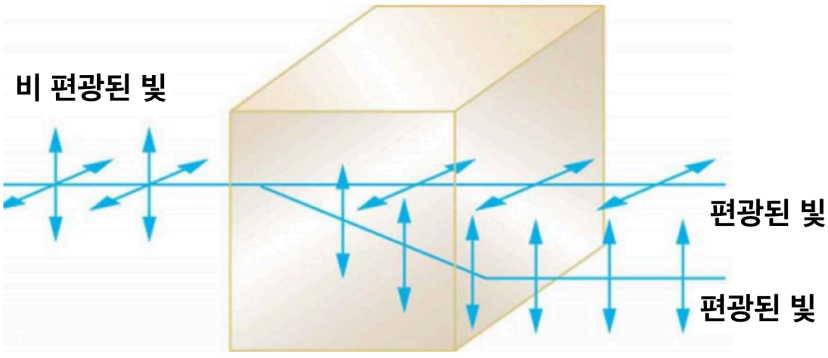


그림 10. 처음에는 비편광된 빛이지만 입자를 만난 후에 편광되는 모습을 볼 수 있습니다.

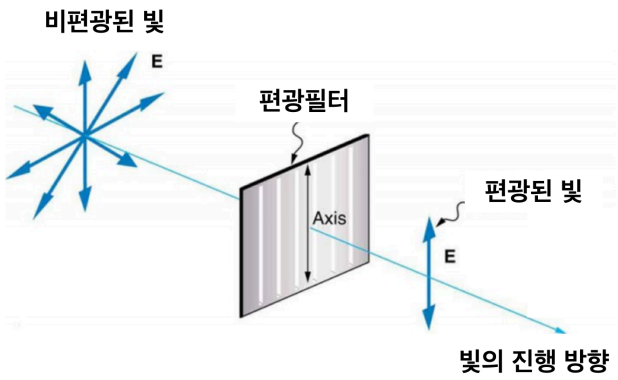


그림 11. 편광필터를 이용하여 빛을 편광시키는 모습입니다.

이 두 광학 물질사이의 반사면에 입사하게될 때, 대부분의 입사각에 대하여 입사된 전기장 벡터 중 입사면에 수직인 성분이 다른 성분들보다 더 강하게 반사되곤 합니다. 따라서 반사광은 입사면에 수직으로(반사면에 평행으로) 선평광되곤 합니다. 즉, 유리는 투과광의 전체적인 세기를 편광되지 않은 빛의 세기 즉 입사광의 50% 이하로 줄어들게 합니다.

어떤 특정한 방향으로만 진동하는 빛만 통과시키는 편광판을 만들었을시에, 이 편광판을 사용하여 빛이 횡파임을 깨달을 수 있습니다 (그림 10, 11 참조). 이 광파가 진행 방향에 대해 수직방향으로 진동하는 횡파라면 편광판을 만들었을시 강제로 빛 편광이 가능할것 입니다. 반면에 진행방향과 진동방향이 일치하는 종파라면 편광판을 만든다고해서 편광된 빛을 구할 순 없습니다. 따라서 편광성을 띠는 빛은 횡파임을 알 수 있습니다.

빛을 강제로 편광성을 띠게 만들어주는 필터는 선글라스나 모니터에 널리 사용되고 있습니다. 태양 빛이 수평면으로부터 반사될 때, 입사면은 수직면이 되고, 반사광은 주로 수평 방향으로 편광된 빛을 포함하고 있기에 선글라스 제조업자들은 렌즈 물질의 편광축이 수직이 되도록 만듭니다. 결과적으로 수평 편광 된 빛은 거의 눈으로 들어 오지 못합니다.

Minjae Kim (김민재)

mkim@astrophysik.uni-kiel.de

Institute of Theoretical physics and Astrophysics,
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Germany

- ***CARMENES*** scientific member
- FOR 2285 Research Unit "***Debris Disks in Planetary Systems***" member

References :

- Pictures

표지 그림 : Lucas V. Barbosa
그림 1: Cfcpoland
그림 2: 본인 작성
그림 3: 본인 작성
그림 4: 본인 작성
그림 5: 본인 작성
그림 6: soma0sd.com
그림 7: Wikipedia
그림 8: Gereeacarimek
그림 9: Zeiss
그림 10: 본인 작성
그림 11: 본인 작성

칼럼 설명

빛은 무엇인가 (1): 빛의 본질에 관해서 토론하고 빛이 입자인지 파동인지에 관한 이야기를 다룹니다.

빛은 무엇인가 (2): 빛의 고유 특성인 직진성, 반사, 굴절, 분산, 합성, 산란, 간섭, 회절 그리고 편광에 대해서 다룹니다.

빛은 무엇인가 (3): 빛의 분산현상을 이용한 스펙트럼은 결국 분광기를 만들었고, 분광학이라는 아주 중요한 분야를 이끌었습니다. 분광기의 원리와 응용에 관해서 다룹니다.