

## 문과도 물리할 수 있어! 9편. by 엘컴이

### 1. 서론

글을 쓰기에 앞서, 이번 컨텐츠는 물리를 접해보지 못한 문과분들, 혹은 생지선 택자분들을 위한 글이니 내용의 깊이가 물리 선택자들보단 깊진 않습니다. 이 점은 많은 분들께 양해 부탁드립니다. 또한, 이해를 돕기 위해 약간의 왜곡이 있을 수 있습니다.

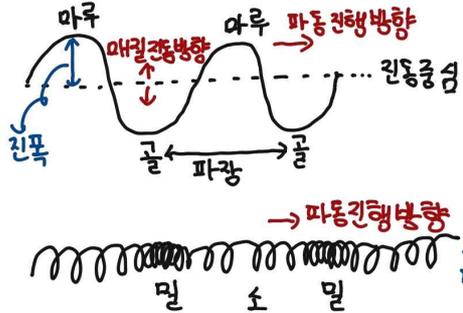
### 2. 고양이도 파동이었어

슈뢰딩거의 고양이. 물리에 관심이 없는 분들이라도 한번은 들어봤을 이야기입니다. 사실 고양이는 파동이었고...죽어있거나 살아있는 상태이며..하면서 마음으로 쓰이는 소재기도 하죠. 근데 이 고양이가 실제로 물리학에서 큰 논란거리였다면 믿으시나요? 고양이가 도대체 어떻게래 논란이 되었을까요? 파동은 뭘까요? 오늘 우리는 파동에 대해, 그리고 이중성에 대해 전반적으로 알아보겠습니다.

### 3. 파동은 하나의 현상이다.

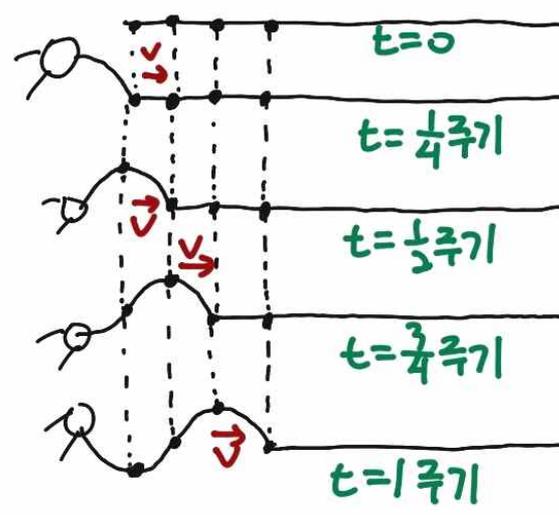
파동. 여러분들에게도 꽤 친숙할 단어입니다. 강가에 돌을 던졌을 때 원형 무늬가 퍼지는 것을 보고, 우리는 파동이라고 불렀죠. 이처럼 파동은 한 지점에서 생긴 진동이 주위로 퍼져나가는 현상을 이야기합니다. 강가에 돌을 던졌을 때 생기는 진동이 원형 무늬의 형태로 주위로 퍼져 나간 것이죠. 파동의 특징은 물질의 이동 없이 에너지를 전달한다는 것입니다. 강가에 작은 종이배를 하나 두고 그 옆에 돌을 던지면 종이배가 파동을 타고 떠내려갈 것 같지만, 실제로는 잠잠해지면 종이배가 원래 있던 위치에 그대로 있는 것을 알 수 있습니다. 이는 실제로 물이 이동하지 않았다는 증거겠죠? 이런식으로 파동은 물질의 이동 없이 전달될 수 있습니다. 이렇게 파동을 전달하는 물질을 매질이라고 합니다. 위 예시에서는 물이 매질이 될 것입니다. 그리고 파동이 발생한 지점(=우리가 돌을 던졌을 때 돌이 물에 닿은 지점)을 우리는 파원이라 부릅니다. 매질과 파원은 각각 파동의 속도와 진동수를 결정하는 역할도 합니다.

파동의 대표적인 종류로는 횡파와 종파가 있습니다. 횡파는 매질의 진동 방향과 파동의 진행 방향이 수직인 파동을, 종파는 나란한 파동을 의미합니다. 횡파의 예시로는 전자기파나 지진파의 S파 등이 있으며 반대로 소리나 초음파 등은 종파의 예시입니다. 아래 그림과 함께 다시 설명드리겠습니다.



왼쪽 그림에서 사인함수처럼 보이는 그림이 횡파, 용수철처럼 보이는 그림이 종파의 모습입니다. 보이시는대로 매질의 진동방향과 파동의 진행방향이 수직이나, 수평이냐에 따라서 횡파와 종파로 나눌 수 있습니다.

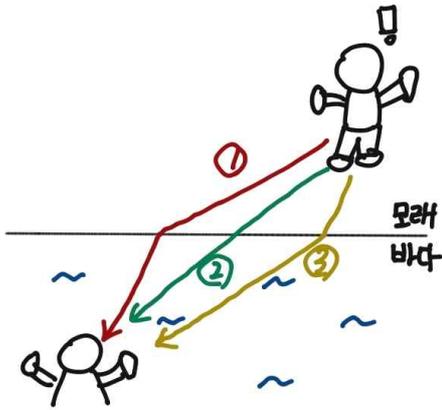
이때, 횡파에서 파동이 가장 높은 혹은 낮은 곳을 각각 마루와 골이라 부릅니다. 진폭은 진동 중심에서 마루 또는 골까지의 거리를 의미하며, 주로  $A$ 로 표기합니다. 파장은  $\lambda$ (람다)로 표현하며 횡파에서 이웃한 마루끼리, 혹은 골끼리의 거리를 의미하며 종파는 밀한 지점끼리 혹은 소한 지점끼리를 의미합니다. 여기서 밀은 뽁뽁한 지점, 소는 헐렁한 지점이라 생각하시면 좋을 것 같습니다. 주기( $T$ )는 매질이 한번 진동하는데 걸리는 시간이며, 진동수( $f$ )는 매질이 1초 동안 진동하는 횟수를 의미합니다. 정의에서 아시다시피 둘은 역수 관계입니다( $T = \frac{1}{f}$ ). 여기서 진동수는 파원의 진동에 따라 정해지는 값이므로 중간에 매질이 달라지더라도 변하지 않습니다. 위 용어들은 그림과 함께 보시면 이해가 편하실 듯 합니다.



왼쪽 그림과 같이 파동은 매질이 한 번 진동하는 동안(=한 주기 동안) 한 파장만큼 진행합니다. 이때 파동의 속력  $v$ 는 파장에 비례하고 주기에 반비례하는 성질을 가지고 있습니다. 여기서 주기와 진동수는 서로 반비례이니 속력은 진동수에 비례하겠네요. 이를 수식으로 나타내면 다음과 같습니다( $v = \frac{\lambda}{T} = f\lambda$ ). 이때 파동은 동일한 매질에서는 속력이 일정합니다. 파동의 대표적인 예시로는 빛이나 소리가 있습니다. 이때 매질에 따른 빛의 속력은 진공>기체>액체>고체 순이며

진공에서 가장 빠릅니다. 소리는 반대로 고체>액체>기체이며, 공기의 온도가 높을수록 빠릅니다. 물가에서도 수심이 깊을수록 물결파의 속력이 크다는걸 우리는 발견했습니다. 이런식으로 매질에 따라 파동의 속력이 모두 다릅니다. 그럼 과연 파동이 진행할 때 매질이 바뀌게 된다면 어떻게 될까요? 그 결과를 한번 같이 알아보도록 합시다.

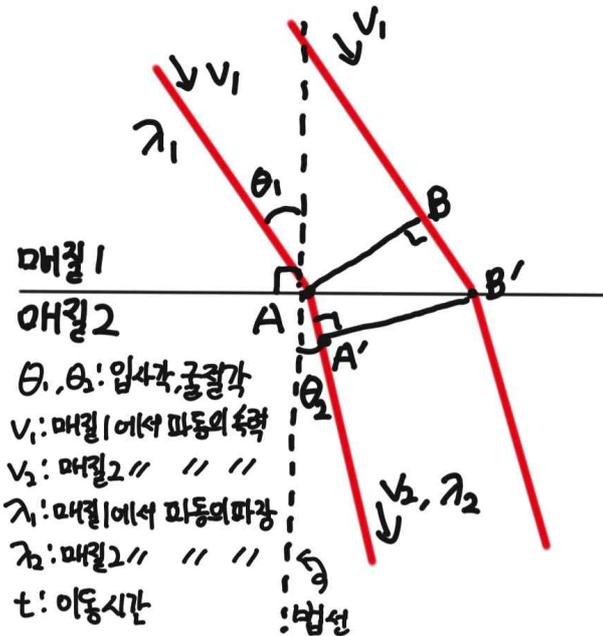
#### 4. 환경이 바뀌면 모든게 바뀐다.



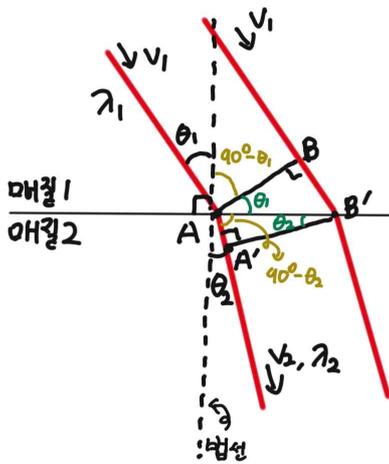
여러분이 모래사장에서 놀다가 바다에 빠진 사람을 발견했습니다. 이때 여러분은 위험에 처한 사람을 구하기 위해 몇 번 루트로 가는게 제일 빠를까요? 켈 짧은 거리(=직선 거리)인 2번 루트를 고르시는 분들이 많을텐데요. 정답은 1번 루트입니다. 여러분이 물고기나 박태환 선수가 아닌 이상 당연히 육지에서 더 빠를 것입니다. ㅎㅎ 따라서 더 빨리 달릴 수 있는 곳에서 최대한 많이 간 다음, 바다로 뛰어들겠죠. 즉, 환경에 따라 여러분의 속력이 다르니

굴절하듯이 이동할 것입니다. 이는 파동도 마찬가지입니다. 파동도 매질이 달라지면 속도가 변하기 때문에 진행 방향이 바뀌게 됩니다. 이런 현상을 우리는 파동의 굴절이라 부릅니다. 이때, 파동은 속력과 파장이 변하게 되지만, 진동수는 변하지 않습니다. 위에서 말씀드렸듯이 진동수는 파원의 진동에 따라 결정되는 값이기 때문이죠. 그러면 두 매질 사이의 관계를 어떻게 표현할 수 있을까요?

파동이 진행하다가 속력이 다른 매질의 경계면에 비스듬히 입사할 때, 두 매질 사이의 관계와 파동에 대해서 나타낸 법칙을 우리는 스넬법칙(혹은 굴절법칙)이라 합니다. 사실 이 내용은 조금 어려울 수 있습니다..만! 그래도 지금까지 오신 분들이라면 천천히 읽었을 때 이해가 가실 내용이라 믿습니다. 정 이해가 안되신다면 결과만 받아들이셔도 좋은 내용이니 너무 걱정마시길 바랍니다.

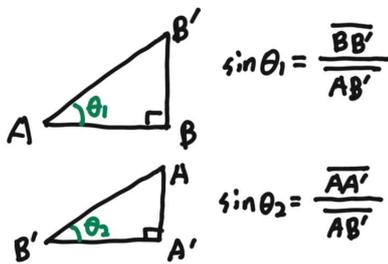


왼쪽 그림은 특정 파장이 매질 1에서 매질 2로 진행할 때의 모습을 나타낸 그림입니다. 각각 용어들은 그림에 쓰여있으나 몇가지 용어를 추가적으로 더 알려드리겠습니다. 우선 법선은 서로 다른 매질의 경계면의 수직으로 그은 선을 이야기합니다. 그림을 보시면 이해가 가능하실 것 같습니다. 입사각과 굴절각은 각각 파동의 진행 방향과 법선이 이루는 각을 이야기합니다. 입사할 때는 입사각, 굴절되고 나서는 굴절각이라 부르지요. 이제 굴절법칙을 유도해봅시다.



우선 전제조건은 실험을 통해 임의의  $\theta_1$ 에 대하여  $\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}$ 가 일정하다는 사실입니다.

이제 노란색 각도를 이용해 각도를 나타내면  $\angle BAB' = \theta_1$ ,  $\angle A'B'A = \theta_2$ 임을 알 수 있습니다. 그러면 우리는 이제  $\sin\theta_1$ 과  $\sin\theta_2$ 를 각각 표현할 수 있겠죠? 왼쪽 그림에서 삼각형  $ABB'$ 과 삼각형  $AA'B'$ 을 이용하면 됩니다! 각각 삼각비를 사용하여 삼각함수를 나타내보면



$$\sin\theta_1 = \frac{\overline{BB'}}{\overline{AB'}}$$

$$\sin\theta_2 = \frac{\overline{AA'}}{\overline{AB'}}$$

왼쪽 그림과 같이  $\sin\theta_1 = \frac{\overline{BB'}}{\overline{AB'}}$ ,  $\sin\theta_2 = \frac{\overline{AA'}}{\overline{AB'}}$ 로 나오게 됩니다. 이때 첫 그림에서 표현하였듯이 파장의  $\overline{AB}$ 에서  $\overline{A'B'}$ 로 진행할 때 걸린 시간을  $t$ 라고 한다면  $\overline{BB'} = v_1 t$ ,  $\overline{AA'} = v_2 t$ 로 나타낼 수 있겠죠? 역학 편에서 배운 등속도운동 공식을 생각하시면 좋을 것 같습니다. 이때 파동은 매질이 변해도 진동수는 변하지 않으므로 위 파동의 속

력 공식에 따라  $v_1 = f\lambda_1$ ,  $v_2 = f\lambda_2$ 로 표현할 수 있을 것입니다. 이제 거의 다 왔네요.

요. 지금까지 나온 공식들을 다 정리해봅시다.  $\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}$ 가 일정하니 이를 이용하면

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{\overline{BB'}}{\overline{AA'}} = \frac{v_1 t}{v_2 t} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{f\lambda_1}{f\lambda_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

로 정리 할 수 있습니다. 이해하기 힘든 분들을 위해 천천히 얘기해보겠습니다. 우선 우리는 입사각과 굴절각에 대한 삼각비를 구했습니다. 이를  $\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}$ 에 대입해보면  $\overline{AB'}$ 이 약분되면서 위 식과 동일하게 나

온 것을 알 수 있습니다. 남은 길이는 우리가 위에서 속력과 시간의 곱으로 표현하였고, 이를 나타내게 되면 시간끼리 약분이 되며 속력의 비로 나타나게 됩니다.

속력 또한 우리가 진동수와 각 파장의 곱으로 표현할 수 있으므로 이를 다시 나타

내면  $\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}$ 를 최종적으로 파장의 비로 표현할 수 있게 되는 것입니다. 여기까지

조금 힘든 길이였죠? 우리 딱 한번만 더 고생해봅시다. ㅎㅎ

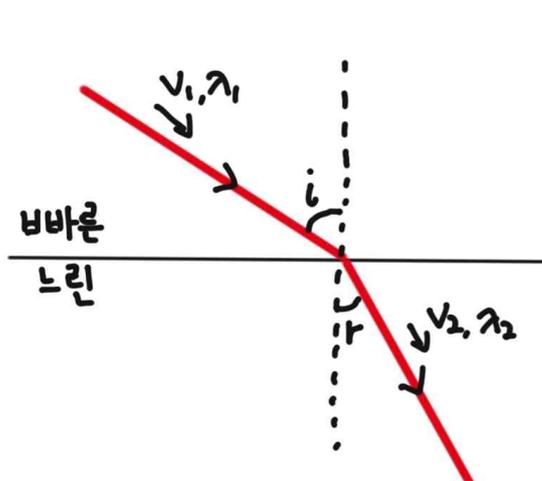
물리학에서는 매질에서 빛의 속력( $v$ )에 대한 진공에서 빛의 속력( $c$ )의 비를 굴절률( $n$ )이라고 부릅니다. 이를 수식으로 표현하면  $n = \frac{c}{v}$ 로 나옵니다.

위 파동의 진행과 연관지어봅시다. 매질 1, 2의 굴절률을 각각  $n_1, n_2$ 라고 할 때, 매질 내에서 빛의 속력은 각각  $\frac{c}{n_1}, \frac{c}{n_2}$ 로 표현 할 수 있습니다. 이를 위 정리에

넣게 되면  $\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\frac{c}{n_1}}{\frac{c}{n_2}} = \frac{n_2}{n_1}$ 로 표현이 가능하게 됩니다. 이제 모두 끝났습

니다. 이해가 잘 안되신 분들은  $\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{n_2}{n_1}$ 만 기억하셔도 좋습니다.

위 공식을 통해 속력이 빠른 매질에서 느린 매질로 진행할 때 모습을 살펴봅시다.



왼쪽 그림은 파동이 속력이 빠른 매질에서 느린 매질( $v_1 > v_2$ )로 입사할 때의 모습입니

다. 위에서 배운  $\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{n_2}{n_1}$  정

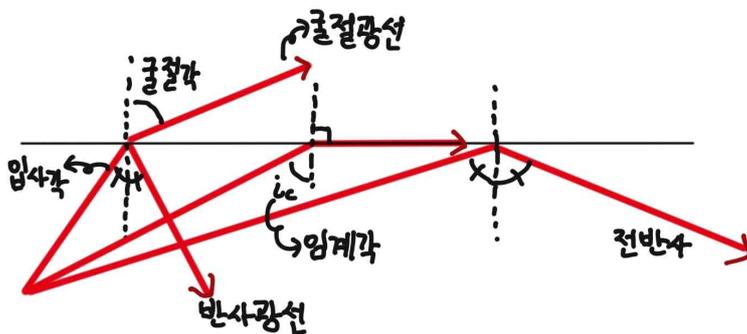
리에 따라 파장과 입사각/굴절각의 대소비교도 가능합니다. 각각  $\lambda_1 > \lambda_2$ ,  $i > r$ (입사각 > 굴절각)으로 나타낼 수 있을 것입니다. 반대로 굴절률은  $n_2 > n_1$ 으로 비교가 가능할 것입니다. 속력이 느린 매질에서 빠른 매질로 진행할 때는 위 대소비교가 모두 반

대로 나타날 것입니다. 이번엔 굴절각이 입사각보다 크게 나타나겠죠?

최종적으로 속력이 빠른 매질일수록 파동이 진행할 때 입사각, 파장, 속력이 모두 크며 굴절률은 작다! 만 기억하셔도 좋습니다.

### 5. 그 경계만 넘어선다면

중학교에서 우리는 빛이 반사되는 상황에 대해서 배워봤을 것입니다. 그러면 고등학교에서 배우는 빛의 반사는 어떤 상황일까요?



왼쪽 그림은 빛이 속력이 느린 매질에서 속력이 빠른 매질로 진행하다가 매질의 경계면에 닿았을 때 세가지 상황을 표현한 그림입니다. 첫 번째 상황(왼쪽)은 우리가 중학교에서 배웠던 반사인데요. 일부

는 입사각과 같은 크기의 반사각으로 반사하게 되며, 나머지는 굴절을 하는 모습입니다. 근데, 사실은 굴절이 일어나지 않는 경우가 있습니다.

이런 식으로 빛이 진행하다가 매질의 경계면에서 굴절 없이 반사만 일어나는 현상(위 그림에서 오른쪽 상황)을 우리는 전반사라고 합니다. 보시면 입사각과 같은 크기의 반사각으로 모두 반사되는 것을 알 수 있죠. 그러면 굴절이 있다가 없게 만드는, 즉 그 경계가 되는 입사각이 있을 것입니다. 그 경계가 되는 기준은 무엇 일까요?

임계각( $i_c$ )은 속력이 느린 매질(=굴절률이 큰 매질)에서 빠른 매질(=굴절률이 작은 매질)로 입사할 때, 굴절각이  $90^\circ$ 가 될 때의 입사각을 의미합니다(위 그림에서 가운데 상황). 즉, 입사각이 임계각보다 커지게 되면 전반사를 하게 되는 것이죠.

이 임계각은  $\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$ 를 통해 구할 수 있습니다.  $\theta_1 = i_c$ ,  $\theta_2 = 90^\circ$ (굴절각),

$n_1, n_2$ 를 각각 속력이 느린/빠른 매질의 굴절률이라고 두면  $\sin i_c = \frac{n_2}{n_1}$ 임이 나오게

되고 임계각을 구할 수 있겠죠.

하지만, 이처럼 입사각이 임계각보다 크다고 해서 무조건 전반사가 발생하는 것은 아닙니다. 제가 이번 파트에서 계속 이야기 하는 조건이 있죠? 네! 맞습니다. 바로 파동이 속력이 느린(=굴절률이 큰) 매질에서 속력이 빠른(=굴절률이 작은) 매질로 진행해야 한다는 것입니다. 이 두가지 조건을 모두 만족하여야 전반사가 일어나게 되는 것입니다.

## 6. 전자기파

우리는 지난 시간에 전기와 자기가 서로 관련되어있다는 사실을 배웠습니다. 이 때 큰 공헌을 한 맥스웰이 1864년, 전자기파의 존재를 예언하면서 빛(가시광선)도 전자기파의 한 종류일 것이라고 예측하였는데요. 이를 1886년 헤르츠가 실험을 통해 확인하면서 전자기파의 존재가 세상에 알려지게 됩니다.

여기서 전자기파란 전기장과 자기장의 세기가 시간에 따라 변하면서 진행되는 파동을 이야기합니다. 잘 이해가 안가신다면 그냥 빛=전자기파라고 생각해주시면 좋을 것 같습니다. 전자기파의 속력은 진공에서 약 30만 km/s로 빛의 속력과 정확히 일치하면서 매질이 없는 진공에서도 진행할 수 있다는 특징이 있습니다. 또한 전자기파의 에너지( $E$ )는 우리가 에너지 준위 시간에 배운  $E=hf$ ( $h$ 는 플랑크 상수)로 나타냅니다. 따라서 에너지는 파동의 진동수의 비례함을 알 수 있습니다.

위에서 제가 빛을 이야기하면서 하나는 '빛(가시광선)도 전자기파의 한 종류이다.' 나머지는 '빛=전자기파다.' 라고 이야기했는데요. 둘 중 뭐가 맞는 이야기일까요? 사실은 둘 다 올바른 표현입니다. 우리가 일상에서 이야기 하는 빛은 주로 가

시광선을 이야기합니다. 여기서 가시광선은 우리 눈으로 볼 수 있는 빛입니다. 또한, 물리학에서는 가시광선을 넘어 적외선, 자외선, 전파 등등을 모두 통합하여 빛이라 이야기합니다. 따라서 '빛=전자기파다'에서 이야기한 빛은 후자에 해당하겠죠? 그러면 이 전자기파에는 어떤 종류가 있을까요?

전자기파는  $\gamma$ 선(감마선), X선, 자외선, 가시광선, 적외선, 마이크로파, 라디오파로 구분할 수 있습니다. 이 순서대로 하였을 때, 감마선에 가까운 전자기파일수록 진동수가 큰(=에너지가 큰) 빛이며 라디오파에 가까울수록 진동수가 작은(=에너지가 작은) 빛입니다. 우리는 위에서 파동의 속력을  $v=f\lambda$ 로 표현하였는데요. 이를 통해 속력이 일정할 경우, 진동수가 클수록 파장이 짧다는 사실을 알 수 있습니다. 즉, 감마선에 가까울수록 파장이 짧은, 라디오파에 가까울수록 파장이 긴 빛이라 할 수 있겠죠? 참고로 마이크로파와 라디오파를 합쳐서 우리는 전파라고 부릅니다. 아래 표와 그림은 전자기파를 정리한 내용입니다.

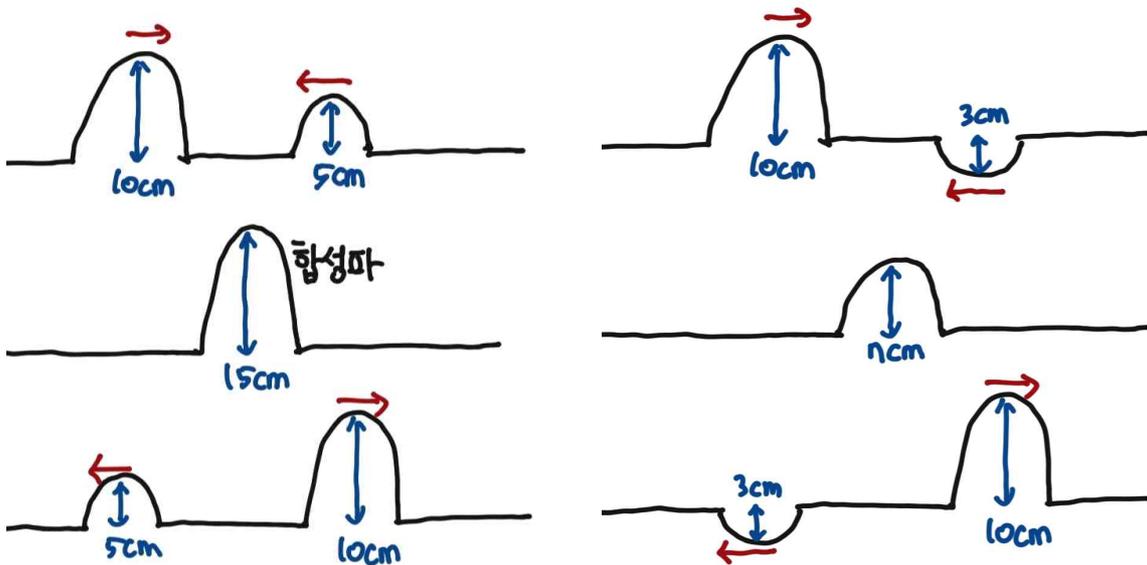
종류	특징	이용
$\gamma$ 선	①방사선의 한 종류이다 ②투과력이 매우 강하다	항암 치료 등
X선	①투과력이 강하다 ②고속의 전자가 금속과 충돌할 때 발생한다.	X선 사진, 공항 수하물 검색 등
자외선	①살균 작용을 한다 ②세포기반 생명체(ex.사람)에게 유해하다 ③사람의 피부를 그을리게 한다	식기 소독기, 위조지폐 검사 등
가시광선	①사람의 눈으로 관찰 할 수 있는 영역이다 ②파장에 따라 다른 색을 나타내며 보통 푸른 계열일수록 파장이 짧고, 붉은 계열일수록 파장이 길다.	영상 장치 등
적외선	①열선이라고도 부른다 ②물체에 접촉하지 않고도 물체의 온도를 측정할 수 있다.	리모컨, 적외선 온도계, 적외선 카메라 등
마이크로파	①전자의 진동으로 발생한다 ②음식물 속에 포함된 물 분자를 진동시켜 열이 발생하게 한다	전자레인지, 휴대전화, 위성 통신 등
라디오파	①전자기파 중 파장이 가장 길다 ②회절이 잘 일어난다	라디오, TV등의 무선 통신 등



## 7. 파동을 합쳐보자

요즘 이어폰에는 노이즈 캔슬링 기술이 상당히 잘 되어있습니다. 주변 소음이 전혀 들리지 않고, 세상에 나 혼자만 있는 기분을 느끼게 하죠. 근데 이 기술은 어떤 원리로 작동하는걸까요? 한번 같이 배워보도록 합시다.

한 매질에서 두 개의 파동이 서로 이동하다가 겹치게 되는 현상을 우리는 중첩했다. 라고 이야기합니다. 이때 파동의 변위끼리 더한 값이 합성파의 변위라는 중첩의 원리가 작용하는데요. 중첩 이후 각 파동은 중첩되기 이전의 파동으로 분리되어 원래처럼 진행한다는게 파동의 독립성입니다. 이해가 안가신 분들을 위해 예시를 들어보겠습니다.

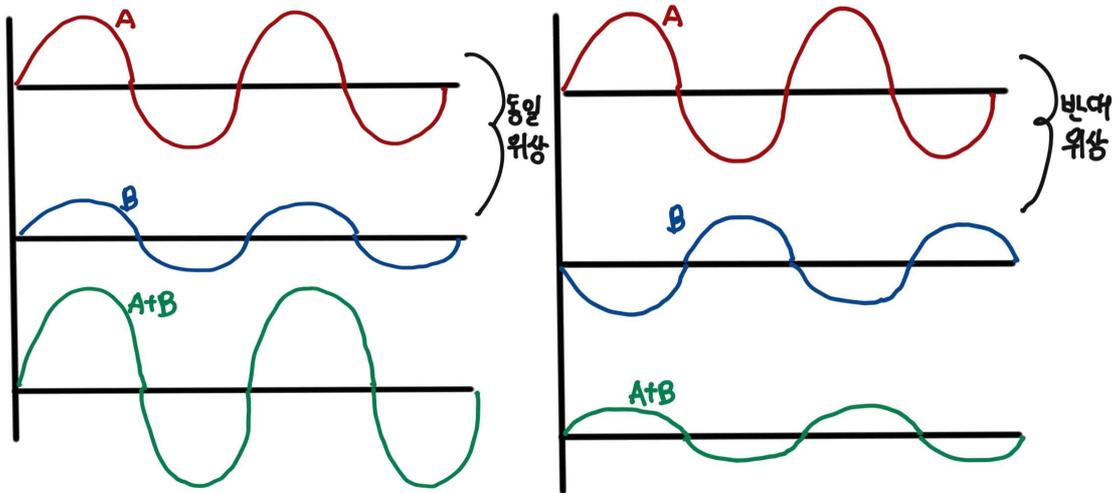


왼쪽 그림과 같이 두 개의 파동이 가까워지고 있습니다. 이 두 파동이 완전히 중첩된 순간에 각 마루끼리 변위의 합이 합성파(중첩된 파동)의 변위가 됨을 알 수 있죠. 이것이 중첩의 원리입니다. 그 이후 다시 원래 파동으로 분리되어 제 갈길 가는 모습도 보이실겁니다. 우리는 이를 파동의 독립성이라 부릅니다. 물론 오른쪽 그림처럼 마루와 골끼리도 더할 수 있습니다. 이때는 그림대로 방향을 고려하여 더하시면 됩니다.

이렇게 둘 이상의 파동이 중첩되어 진폭이 변하는 현상을 우리는 파동의 간섭이라 부릅니다. 왼쪽 그림처럼 진폭이 커지면 보강 간섭, 반대로 진폭이 작아지면 상쇄 간섭으로 나눌 수 있습니다.

이 보강간섭이 일어날 때 두 파동은 위상이 일치하다고 이야기하는데요. 여기서 위상이란 파동이 퍼져나갈 때 진동하는 각 지점의 변위와 진동 상태를 이야기합니다. 이해가 잘 안되신다면 그냥 한 파동이 마루의 모습을 할 때, 동일 위치에서 다른 파동도 똑같이 마루의 모습을 하는구나 라고 생각하시면 될 것 같습니다. 반대로 상쇄간섭이 일어날 때는 두 파동의 위상이 반대다. 라고 이야기합니다.

아래 그림은 각각 보강간섭(왼)과 상쇄간섭(오)을 나타내는 그림입니다.



그러면 이제 노이즈 캔슬링이 어떤 원리로 작동되는지 감이 오시나요? 네! 맞습니다. 외부 소음을 감지하면 그 소음과 위상이 반대인 소리를 발생시켜 상쇄간섭을 통해 소음을 줄이거나 없애는 원리입니다. 이외에 CD에도 파동의 간섭이 작용하는데요. CD나 DVD에 기록된 정보를 읽을 때, 표면의 돌기에서 반사된 두 빛이 상쇄 또는 보강간섭을 하면서 기록된 정보를 읽을 수 있게 하는 원리입니다.

## 8. 빛의 두가지 얼굴

뉴턴 역학이 정립된 이후로, 물리학계에서는 수백년간 큰 난제가 있어왔습니다. 바로 빛이 입자냐, 파동이냐에 대한 이야기였죠. 뉴턴은 빛의 입자설을 주장했고, 이는 수백년동안 정설로 받아들여졌습니다. 하지만, 맥스웰이 전자기파의 존재를 예측하고 이를 나중에 발견하면서 '빛=전자기파'가 받아들여졌고, 이에 따라 빛은 파동이다. 라는 주장이 힘을 얻게 됩니다. 하지만 이를 아인슈타인이 반박하게 되며, 또 다시 난제에 빠지게 되죠. 빛은 파동일까요 입자일까요. 같이 알아가봅시다.

우선 빛은 파동성을 지닙니다. 우리는 전반사 파트에서 파동이 반사와 굴절이 동시에 일어날 수 있다고 배웠습니다. 이는 빛에도 해당이 되는 얘기였죠. 또한 방금 배운 파동의 간섭 파트도 빛에 해당하는 이야기였습니다.

하지만 뉴턴은 빛이 직진하는 성질을 지니고 있으며, 그림자가 생기므로 빛은 입자라고 주장했습니다. 이에 더불어 아인슈타인이 광양자설을 발표하면서 광전 효과 실험을 통해 빛의 입자성을 주장하게 됩니다.

여기서 광전 효과란 금속 표면에 빛을 비추었을 때 금속 표면에서 전자가 튀어나오는 현상으로, 이때 튀어나온 전자를 우리는 광전자라고 이야기합니다. 이 광전 효과를 설명하기 위해 아인슈타인은 광양자설을 주장하는데요. 여기서 광양자란

양자화된 에너지를 갖는 빛 입자를 의미합니다. 즉, 빛은 입자다. 라는 뜻이지요. 광양자설에서는 빛은 진동수에 비례하는 에너지를 갖는 광양자의 흐름이며, 광양자 한 개의 에너지는 진동수에 비례하고( $E = hf = \frac{hc}{\lambda}$ ), 광전 효과가 나타날 때 빛의 세기가 더 클수록 더 많은 전자가 방출된다는 주장을 하게 됩니다.

이 가설은 금속마다 금속으로부터 전자를 떼어내기 위한(=광전자를 방출시키기 위한) 최소한의 에너지가 있고 이 에너지보다 더 큰 에너지를 가지고 있는 빛을 금속 표면에 쬐게 되면, 광전자가 방출될 것이라는 내용을 담고 있습니다. 이때 이 최소한의 에너지를 우리는 일함수( $w$ )라고 표현하며, 금속에서 광전자를 방출시킬 수 있는 빛의 최소 진동수를 우리는 문턱 진동수( $f_0$ )라고 부릅니다. 이는 위 에너지 공식에 의해  $w = hf_0$ 으로 표현할 수 있습니다. 즉, 방출 조건은 진동수이며, 방출되는 전자의 수는 빛의 세기와 관련이 되어있다는 것입니다.

이때 만약 빛이 파동이라면, 빛의 진동수와 상관없이 빛을 오래 쬐어주면 광전자가 방출된다는 결론에 도달합니다. 하지만 실험을 진행한 결과, 빛의 진동수가 문턱 진동수보다 작다면 오랜 시간을 들이더라도 광전자가 방출되지 않는다는 결과를 얻게 되었고, 광양자설이 받아들여짐에 따라 빛이 입자다. 라는 사실도 받아들여지게 됩니다.

이런 과정을 거치게 되면서 빛은 입자성과 파동성을 모두 가지며, 특정한 순간에 특정 조건에 의해 입자 혹은 파동의 성질 중 하나만 측정할 수 있다는 빛의 이중성을 발견하게 되었습니다. 즉, 빛은 입자이며 동시에 파동이라는 뜻이죠.

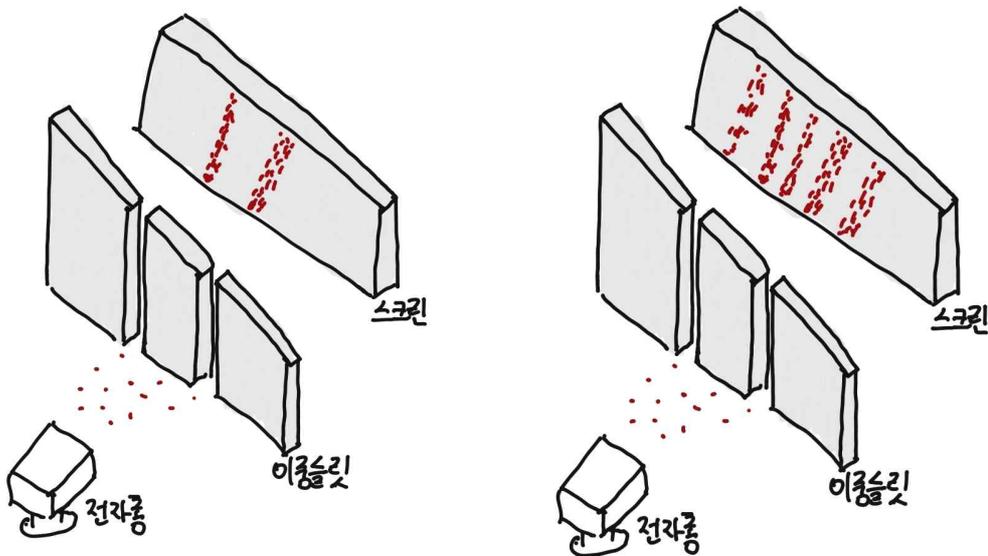
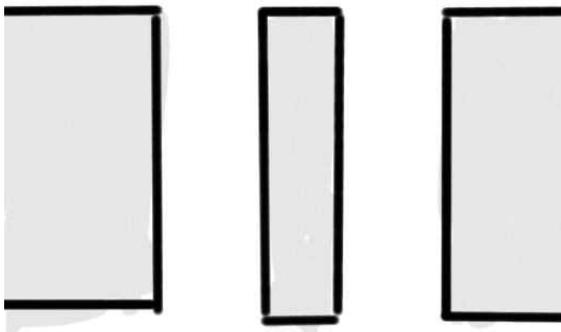
## 9. 물질도 빛따라

하지만 1924년, 드브로이가 “광자가 입자와 파동의 성질을 모두 가지고 있다면, 입자들로 구성된 물질도 파동의 성질을 가질 것이다.”라고 하면서 빛뿐만이 아닌 물질 또한 이중성을 띤다는 주장을 하게 됩니다. 이는 나중에 양자역학으로 가는 열쇠가 되었으며, 양자역학은 이 이론 없이 기술될 수 없었을 정도로 중요한 발표였죠. 물론, 교육과정에서 양자역학을 다루는건 불가능하기에.. ㅎㅎ 우리는 이 이론이 무엇인지, 그리고 결론이 뭔지만 간단하게 알아보도록 하겠습니다.

드브로이는 이러한 주장을 하며 물질파라는 새로운 개념을 제시합니다. 물질파란 파동의 성질이 나타나는 물질 입자의 파동을 의미하며, 빛 뿐만이 아닌 전자같은 입자가 움직일 때도 이런 물질파가 발생한다고 주장하였습니다. 또한 이때 파장을 우리는 물질파 파장이라고 하며, 이 물질파 파장은 물체의 운동량  $p$ 에 반비례한다는 성질을 가지고 있습니다( $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$ ). 어 근데 우리는 방금 파동의 속력은 파장에 비례한다고 배웠습니다( $v = f\lambda$ ). 근데 왜 여기서는 속력과 파장이 반비례하죠? 역시 입자가 파동이라는게 말이 안되는 소리네요. 고양이파동이라니.

사실은 두가지 공식 모두 맞는 말입니다. 고등학교에서는 그냥 통합하여 속도라 부르지만, 사실은 두 속도의 의미가 조금 다릅니다. 물론, 여러분들이 알기에는 조금은 깊은 내용이라 그냥 두 공식 모두 맞는 소리다. 정도로만 이해해주시면 감사하겠습니다. 결국, 이 이론은 데이비슨-거머 실험, 톰슨의 전자선 회절 실험, 전자선을 이용한 이중 슬릿 실험을 통해 받아들여졌는데요. 우리는 이 중에서 이중 슬릿 실험만 알아보고 이야기를 마무리짓도록 하겠습니다.

왼쪽 그림은 이중 슬릿을 나타낸 그림입니다. 슬릿은 그림에서 보이는 저 사이를 의미하는데요. 이중 슬릿은 말 그대로 저 사이가 두 개가 있는 형태를 의미합니다. 이제 우리는 저 이중슬릿에 전자총을 이용해서 전자들을 엄청 쏘볼겁니다. 여러분들은 결과가 어떻게 나올거 같나요? 한번 같이 알아보시다.



위 그림은 두 가지 결과를 나타낸 그림입니다. 이중슬릿을 향해 전자총을 쏘았을 때, 상식적으로는 왼쪽 그림처럼 스크린에 틈 사이를 통과한 전자만 나타나는 두 줄로 표현될 것 같지만, 특정 조건에서는 오른쪽 그림처럼 여러 줄로 표현된다는 것인데요. 왼쪽은 전자가 입자처럼 행동할 때 관측되는 결과고, 오른쪽은 전자가 파동처럼 행동할 때 관측되는 결과입니다. 이런 식으로 전자가 입자와 파동의 성질을 모두 띠게 되면서 물질 또한 빛처럼 이중성을 지닌다는 사실이 밝혀지게 되었습니다. 이를 통해 양자역학이 탄생하게 되었고, 현대 물리학에서 제일 치열했던 논쟁이 솔베이 회의에서 펼쳐지게 됩니다. 관련 내용은 외전에서 다룰 수 있으

면 다뤄보도록 하겠습니다.

## 10. 마침표를 찍으며.

문과도 물리할 수 있어!는 여기서 글을 마치게 되었습니다. 물론, 외전으로 3~4편 정도는 더 올릴 생각이지만, 정규적인 콘텐츠는 여기서 끝입니다. 여러분은 지난 아홉 편 동안, 수능 물리학 선택자들이 배우게 되는 내용을 아주 알게나마 배웠습니다. 그동안 글을 읽으시며 어떤 생각이 드셨는지, 어떤 내용이 신기했는지 여쭙보고 싶은게 많습니다. 개인적으로, 저는 이 물리학이 상당히 어려운 학문이라고 생각합니다. 물리학과를 다니며 여러 이론 등을 찾아보고 또 수업 때 배우지만 이해가 되지 않는 이론들이 상당히 많았고, 이를 친절하게 가르치는 책들은 찾기 어려웠습니다. 하지만, 다행히도 대중에게 다가가는 물리는 재밌고 친절한 편입니다. 어떤 이론의 해석, 검증 등등을 시키지 않고, 물리학자의 생각이나 논쟁 등등을 그대로 이야기해주는 편이니까요. 물리의 친절한 모습을 소개시켜드리고 싶어 쓴 글이 이렇게까지 이어질 줄은 몰랐네요. 많은 관심 덕분에 제가 끝까지 이어갈 수 있었던 것 같습니다. 감사합니다.

마지막 편이라 생각하니 하고 싶은 이야기가 많고, 여쭙고 싶은 내용이 많아서 글이 길어지네요. 말이 길면 재미가 없으니 하나만 여쭙보고 글을 마치려 합니다.

여러분의 물리는 어떻습니까. 이 글을 마치면서까지 아직 다가갈 수조차 없는 먼 나라의 이야기인가요. 아니면 이제 막 친해지려고 하는 어색한 같은 반 친구인가요. 뭐가 되든, 물리는 항상 여러분들 곁에 있을겁니다. 세상을 움직이는 열쇠를 찾으신 것을 축하합니다. 여러분들이 앞으로 나아가 대학 그리고 사회에 나가서 그럴 황홀한 미래에 걸맞는 열쇠가 되었기를 바랍니다. 엘کم이었습시다. 감사합니다.

“공간의 광막함과 시간의 영겁에서 행성 하나와 순간 하나를 공유할 수 있었음은 나에게서 하나의 기쁨이었다.” -칼 세이건