

문과도 물리할 수 있어! 6편. by 엘컴이

1. 서론

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

2. 뉴턴은 틀렸다

절대적인 시간과 공간 사이에서 우리는 물체의 운동에 대해 공부했습니다. 어떤 상황에서도 흐르는 시간은 누구에게나 동일했고, 공간의 크기 또한 바뀌지 않았죠. 뉴턴의 이 가정은 항상 성립했고, 절대 변하지 않는 진리였습니다. 뉴턴의 세계에서는 시간과 공간 대신 변하는 건 속력이었습니다.

하지만 19세기에 맥스웰이 전자기와 관련된 방정식을 만들어내며 빛의 속력은 항상 일정하다는 결론에 도달합니다. 이는 뉴턴의 말을 거스르는 것이었고, 뉴턴을 따랐던 사람들은 이 방정식과 뉴턴역학을 모두 만족시키는 물질을 찾아나설 뿐이었습니다.

그러던 도중 1905년, 아인슈타인이 처음으로 뉴턴에 반기를 듭니다. 특수 상대성 이론을 발표하며 아인슈타인은 '광속은 항상 불변하며 변하는 것은 시공간이다.'라는 주장을 하였고 많은 연구와 검토 끝에 결국 과학자들은 상대성 이론을 따르게 됩니다. 뉴턴과 갈릴레이의 오랜 가정이 깨지게 되는 순간이었습니다. 물론, 여전히 보편적인 상황에서는 뉴턴 역학의 가정이 틀리지 않았습니다. 앞서 배운 내용들이 거짓이었어! 하면서 원망하지 않으셔도 됩니다 ㅎㅎ.

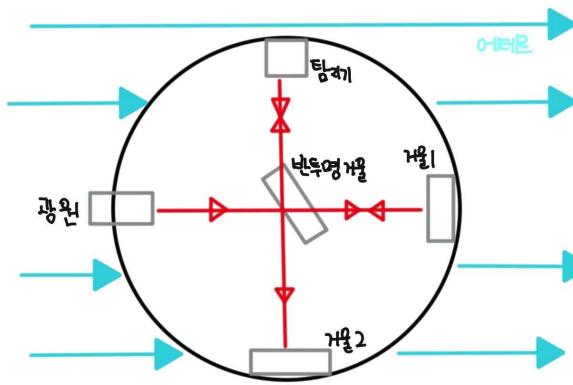
과학에서 제일 흥미로운 주제를 고르라고 하면 아마 상대성이론과 양자역학을 많이 고르실겁니다. 우리는 둘 중 특수 상대성 이론에 대해 오늘 간단히 배워보겠습니다.

3. 제 5원소 에테르를 찾아서

조금 더 자세히 들어가보겠습니다. 19세기, 영국의 과학자 맥스웰은 전기와 자기를 하나로 통합해서 설명하는 '맥스웰 방정식'을 만들었습니다. 그리고 이 방정식을 통해 전자기파의 속력을 계산해보니 광속과 거의 일치하였고요. 따라서 '빛은 전자기파'라는 생각이 과학자들 사이에 퍼지게 되었고, 소리가 공기라는 매질을

통해 전달되듯이 빛도 ‘에테르’라는 매질을 통해 전달된다고 생각하였습니다.

여기서 ‘앨버트 마이컬슨’과 ‘에드워드 몰리’는 한가지 생각을 떠올립니다.



만약 에테르가 존재한다면, 광원에서 방출되어 반투명 거울에 의해 서로 다른 두 경로를 지나가는 빛은 에테르에 의해 약간의 속도차이가 생겨 탐지기에 서로 다르게 도달할 것이라고 말이죠.

두 사람은 실험을 진행하였고, 두 빛의 속도에는 아무런 차이도 없었습니다.

빛의 방향을 이래저래 바꿔보아도 결과는 똑같았을 뿐이었죠. 이 실험을 통해 에테르는 없다는 결과에 다다르게 됩니다.

하지만, 맥스웰 방정식에 의하면 빛은 갈릴레이의 상대성 원리에 따르지 않았습니다. 갈릴레이는 절대적인 속력은 없다고 단정지었지만, 맥스웰 방정식에 의하면 빛의 속력은 분명히 절대적이었죠. 결국 과학자들은 혼란에 빠지게 되었고, 1905년. 아인슈타인이 특수 상대성 이론을 발표하면서 새로운 역학체계를 이끌어 나갑니다.

4. 아인슈타인의 가정

아인슈타인은 특수 상대성 이론을 발표하면서 두가지의 가정을 하게 됩니다.

첫째로는 ‘모든 관성 좌표계에서 물리 법칙은 동일하게 성립한다’는 상대성 원리, 그리고 두 번째로는 ‘모든 관성계에서 보았을 때, 진공에서 진행하는 빛의 속도는 항상 변하지 않는다는’ 광속 불변 원리를 말이죠. 처음 보는 단어가 막 튀어나와 이해하기 힘드실겁니다.. ㅎㅎ 하나하나 차근차근 설명하도록 하겠습니다.

우선 관성 좌표계는 관성의 법칙(뉴턴 제 1법칙)이 성립되는 좌표계로 그냥 정지 혹은 등속도 운동하는 관찰자를 기준으로 하는 좌표계라 생각하시면 됩니다. 만약 트럭이 항상 일정하게 시속 30km로 달리고 있다면 트럭을 기준으로 하는 관성좌표계가 있는 것이죠.

이 트럭 위에서 사과를 한번 위로 던져보겠습니다.



보이시는 것처럼 트럭 위에서 봤을 때는 사과가 위로 올라갔다 내려오는 연직 운동을 하는 것처럼 보입니다. 하지만 밖에서 봤을 때는 포물선 운동을 하는 것처럼 보이죠. 하지만 이 두 관성좌표계에서 바라본 사과의 물리법칙은 $F=ma$ 로 동일합니다. 이처럼 관찰자에 따라 공의 운동은 다르게 보이지만 설명하는 물리법칙은 어떤 좌표계에서든지 동일하다는 것이 아인슈타인의 ‘상대성 원리’입니다.

5. 세상은 상대적이다. 속도마저도

아인슈타인의 상대성 원리에 따르면 관찰자는 자신의 속도를 정확하게 구별하거나 알 수 없습니다. 즉 본인이 정지한 상태라고 믿고 있다는 것입니다. 여러분들은 이제 무엇을 하시든지 본인이 기준이고 정지해있다고 생각하셔야 합니다.

배기범 선생님이 항상 하시는 농담이 있습니다. ‘ 쌤은 정지해있으나 항상 학원이 본인한테 다가오고, 또 멀어진다.’ 여러분들도 마찬가지입니다. 여러분들은 항상 가만히 있었는데, 일어나면 침대가 스스로 멀어지고 학교가 스스로 다가오며 4시가 되면 학교가 멀어지고 학원이 가까워지는 겁니다. ㅎㅎ

물론 농담이지만, 이제 여러분들은 특수 상대성 이론을 배우신 분들이니 이렇게 생각하시면 더 좋습니다. 여기서 상대속도의 개념이 나오거든요.

상대속도는 관측자가 바라봤을 때 물체의 속도를 의미합니다. 관측자 A가 봤을 때 B의 속도를 우리는 v_{AB} 라 표기합니다. B의 속도에서 A의 속도를 뺀 값입니다. 예를 들어 철수가 오른쪽으로 시속 10km의 속도로 달리고 있을 때 반대편에서 영희가 시속 5km의 속도로 달려온다고 생각해보겠습니다. 이때 철수가 본 영희의 상대속도는 왼쪽으로 시속 15km가 되겠죠. 이것이 상대속도의 개념입니다.

6. 시간 지연

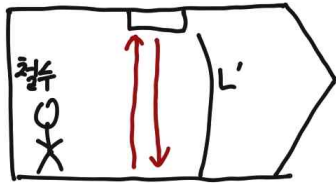
특수 상대성 이론은 뉴턴역학에서 굳게 믿었던 절대적인 시간과 절대적인 공간을 부정하였습니다. 이제 어떻게 부정하였는지 간단히 알아가봅시다.

우리는 사건의 시작과 끝이 같은 위치에서 일어난 것으로 보는 관찰자가 측정한 시간을 ‘고유시간’이라 부릅니다. 이해하기 어렵죠? 이과생들도 처음엔 보고 뭐라 말하는거지 싶을정도니 너무 걱정하지 않으셔도 됩니다 ㅎㅎ. 간단히 예시를 들어 보도록 하죠.

이번엔 버스가 시속 70km로 등속도 운동을 하고 있습니다. 이 버스에서 사과를 한번 위로 던져보도록 하죠. 여기서 사건은 ‘사과의 운동’입니다. 버스 안에 철수가 타고 있습니다. 철수의 입장에서 보면 사건의 시작인 ‘사과를 던진 것’은 버스 안에서 일어납니다. 사건의 끝인 ‘사과가 땅에 떨어진 것’도 버스 안에서 일어나고요. 상대성 원리에 따르면 철수의 입장에서 버스는 정지하여있으니 사건의 시작과

끝은 같은 위치에서 일어났습니다. 결국 철수가 측정한 시간이 고유시간이 되는 것이죠.

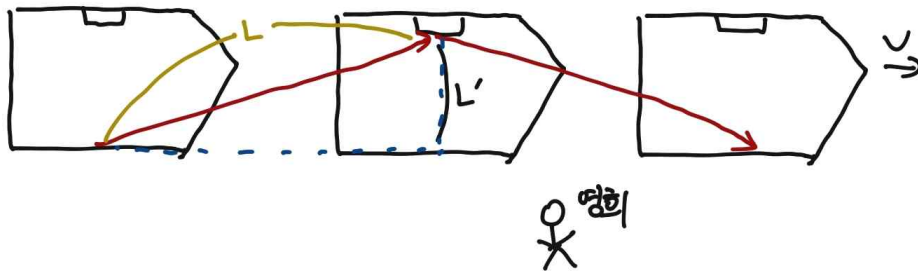
시간 지연은 관측자가 볼 때 운동하는 상대방의 시간이 느리게 흐른다는 내용입니다. 따라서 항상 고유시간보다 짧게 측정되는 시간은 없습니다. 이해를 돕기 위해 한가지의 예를 들어보겠습니다.



일정한 속도 v 로 움직이는 우주선이 있습니다. 우주선 안에서 연직으로 빛을 썩 거울에 반사되어 되 돌아오는 시간을 측정해보도록 하겠습니다.

우주선 안에 있는 철수는 빛이 연직방향으로만 이동한 것으로 보입니다. 철수가 측정한 빛의 이동거리는 $2L'$ 이 되는 것이죠. 여기서 광속은 항상 일정하니 등속도 운동식인 $s=vt$ 를 이용하면 빛의 왕복

주기는 $T_{\text{고유}} = \frac{2L'}{c}$ 가 됩니다.(1편 참조)

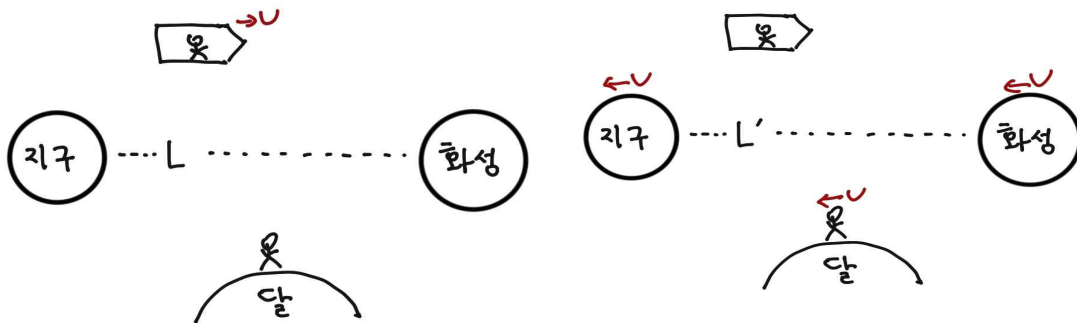


이번에는 우주선 밖 관찰자인 영희가 있습니다. 만약 우주선이 아주 빠른 속도로 운동중이라면 영희의 입장에서 빛의 경로는 빨간색 선으로 보일겁니다. 즉, $2L$ 만큼 움직인 것으로 보이겠죠. 따라서 영희가 특정한 빛의 왕복 주기는 $T = \frac{2L}{c}$ 가

됩니다. 여기서 $L > L'$ 이므로 $T > T_{\text{고유}}$ 가 되는 것입니다. 즉, 항상 고유시간보다 짧게 측정되는 시간은 없으며, 상대방의 시간이 본인의 시간보다 느리게 흘러간다고 생각합니다. 여기서 철수는 영희의 시간이, 영희는 철수의 시간이 본인의 시간보다 더 느리게 흘러간다고 생각하는 것이죠. 영희는 왜 그러냐고요? 앞에서 말했듯이 항상 본인을 기준으로 생각해야 합니다! 사실 이해하기 힘드실겁니다. 우리가 알던 상식이랑은 조금 괴리감이 있는 내용이거든요. 하지만 우리는 깊게 배우는 전문가가 아니잖아요? 가볍게 아 그렇구나! 하고 받아들이시면 좋을 것 같습니다
ㅎㅎ

7. 길이 수축

시간에서는 고유 시간이 있었으면..공간에서는 뭐가 있을까요? 네! 맞습니다. 바로 관찰자에 대하여 상대적으로 정지해있는 물체의 길이인 고유 길이라는 개념이 존재합니다. 간단히 생각해보겠습니다. 여러분들은 의자에 앉아있고, 책상에 연필이 가만히 있습니다. 여러분들에 대하여 연필이 정지해있는 상태죠? 따라서 여러분들이 측정한 길이가 고유 길이가 되는 것입니다. 만약 여러분들 뒤로 친구들이 달리고 있다고 가정해볼게요. 그럼 그 친구분들에 대하여 연필은 운동하고 있는 상태입니다. 이 길이는 고유 길이보다 짧게 측정되겠죠. 이것이 바로 길이수축입니다. 그래도 어딜가서 배웠다! 라고 말하려면 예시는 좀 더 거창한게 좋겠죠? 우주로 넘어가봅시다.



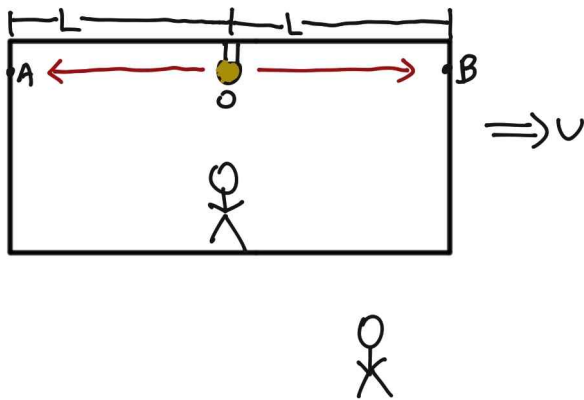
철수가 우주선을 타고 지구에서 화성까지 가는 것을 지구와 화성에 대해 정지해있는 달에서 영희가 바라보고 있다고 가정해보겠습니다. 영희의 입장에서 보면 왼쪽 사진처럼 보일거고 지구와 화성 사이의 거리인 L 이 고유 길이일 것입니다. 하지만 철수 입장에서 보면 지구와 화성 달은 본인의 뒤쪽 방향으로 v 만큼의 속도로 움직이고 있으며 철수가 측정한 두 행성 사이의 거리는 L' 이 됩니다.

우주선은 일정한 속도로 움직이므로 이번에도 등속도 운동식인 $s=vt$ 를 이용해보겠습니다. 영희의 입장에서 식은 $L=v\Delta t$ 로 나옵니다. 여기서 사건은 우주선이 지구에서부터 출발하여 화성에 도착하는 것이죠. 철수의 입장에서 보면 사건의 시작인 우주선이 지구에서 출발하는(=지구가 우주선에서 멀어지는)것과 사건의 끝인 우주선이 화성에 도착하는(=화성이 우주선을 지나는)것은 같은 위치에서 일어났습니다. 앞선 시간지연 파트에서 나왔던 내용이죠. 따라서 철수의 입장에서 식은 $L'=v\Delta t_{\text{고유}}$ 가 됩니다. 당연히 고유시간이 더 짧으므로($\Delta t > \Delta t_{\text{고유}}$) $L > L'$ 가 성립하게 됩니다. 따라서 길이 수축이 일어나는 것이죠.

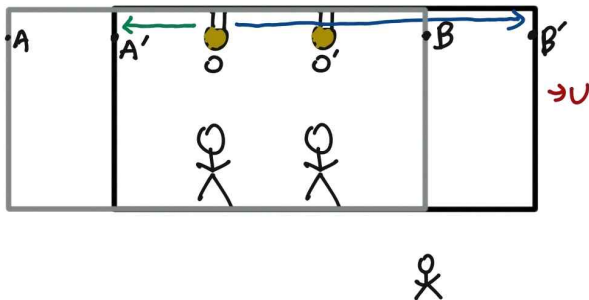
이는 물체에 대해서도 똑같이 적용됩니다. 철수가 측정하였을 때 우주선의 길이가 S 라면 영희가 측정한 우주선의 길이는 S 보다 짧게 나오겠죠.

8. 동시성의 상대성

여기서 끝내면 조금은 아쉽겠죠 ㅎㅎ. 약간만 더 어려운 내용으로 들어가봅시다. 이번 특수 상대성 이론에서 중요한 내용은 '시공간은 절대적이지 않고 상대적이다.'라는 것이었습니다. 여기서 시간이 상대적이라는 결론을 제공한 핵심 아이디어는 바로 '동시성의 상대성'입니다. 조금만 더 의미있게 말해볼까요? 공간 상에서 떨어져서 발생한 사건의 '동시성'은 절대적인게 아니라 관찰자의 기준계에 의존한다는 내용입니다. 많이 복잡한 말이죠. 간단히 설명해보겠습니다.



왼쪽 그림처럼 철수가 타고 있는 우주선이 있습니다. 가운데 위치한 광원 O에서 벽 A,B를 향해 빛이 동시에 방출되었다고 해봅시다. 철수의 입장에서는 두 빛이 광원 O에서 '동시에' 방출되었으며 A,B에서 '동시에' 도달하였습니다. 하지만 우주선 밖 관찰자인 영희의 입장에서는 어떨까요?



영희의 기준에서의 모습입니다. 보기 힘들으신 분들을 위해 조금 더 설명하자면 우주선이 오른쪽으로 움직였을 때 모습을 그림으로 표현한거라 생각하시면 됩니다. 회색 우주선은 상대적인 과거의 모습을, 검정색 우주선은 상대적인 미래의 모습을 나타낸 것입니다. 이때 벽의 위치를 A', B'이라 하겠습니다.

광원에서 동시에 출발하였지만 우주선이 빨리 움직이면서 벽 A는 가까워지고 벽 B는 멀어지면서 A'에 더 먼저 도달하는 것을 알 수 있습니다. 이처럼 한 관성계에서 동시인 사건(예를 들면 A,B에 빛이 동시에 도달한 사건)이 다른 관성계에서는 동시가 아닐 수 있다는 것이 동시성의 상대성입니다. 여기서 중요한 것은 한 장소에서 일어난 동시성은 절대적이라는 것입니다. 철수의 관성계이든, 영희의 관성계이든 광원 O에서 동시에 빛이 방출되었다는 것(한 장소 동시성)은 변하지 않

습니다!

9. 위대한 실패

우리는 이 상대성 이론이 나오기전에 에테르를 찾기 위해 했던 실험인 마이컬슨-몰리 실험에 대해 배웠습니다. 이 실험은 에테르를 굳게 믿었고, 눈으로 확인하기 위해 진행하였던 실험이었지만 결국 실패하였죠. 하지만 이 실험은 상대성이론의 틀을 잡아주는 실험이 되었고, 역사상 가장 위대하게 실패했던 실험으로 기록되었습니다. 아마 이 글을 보시는 분들의 대부분은 올해 수능을 치른 수험생일겁니다. 이 글을 마음 편히 읽는 분들도 계시겠지만, 지금까지 살면서 가장 차가운 결과를 맞이했을 수도 있습니다. 그동안 본인이 믿어왔던, 그리고 상상해왔던 결과가 아 님에 상실한 분들도 계실겁니다. 에테르를 믿었던 수많은 과학자처럼요. 하지만 에테르가 결국 역사상 위대한 이론의 발판이 되었듯, 여러분들의 이 쓰라린 경험도 결국 더 나은, 더 눈부실 여러분들을 위한 발판임이 분명한 것은 사실입니다. 여러분들의 첫 도전은 그 누구보다 위대하였고, 그 어떤 발걸음보다 굳세었습니다. 실험에는 실패가 있지만, 도전에는 실패가 없습니다. 지금 실패라 믿는 이 경험도 나중엔 발판이 되어 하나의 과정이 되기를 바라고 또 응원합니다. 모두 위대한 한 해였습니다.

오늘은 수능이 끝난지 얼마 안되어 문제가 없습니다. 긴 글 읽어주셔서 감사합니다. 이상으로 글을 마치겠습니다. 엘کم이였습니다!