만약에 시간여행이 가능하다면 어느 때로 가서 무얼 하고 싶니?

오늘의 이야기는 한 소셜미디어 영상에서 시작해. 그럼 시간여행은 진짜로 가능한 것일까?

지금 우리에게는 과거에서 현재 그리고 미래로 시간이 흘러간다. 시간 여행을 하게 된다면 미래로 가는 것과 과거로 가는 것, 두 가지 방법으로 나눌 수 있을 것이다.

두 경우에 대해 생각해보기 이전에 우선 시간과 공간의 관계에 대해 알아야 한다. 화면에 점이 보인다. 점은 우리가 보통 0차원이라고 부른다. 만약 무수히 많은 점이 모이면 어떻게 될까?

바로 선이 된다. 선은 우리가 1차원이라고 부른다. 이 선을 또 무수히 모은다면

평면이 되고, 우리는 이를 2차원이라고 부른다. 이렇게 하나씩 차원을 늘여가면서 무수히 모은다면 또 다른 차원으로 갈 수 있을 것이다. 또 평면을 무수히 모은다면

우리는 입체, 즉 공간을 만들 수 있으며, 3차원이라고 부른다. 우리 세상은 3차원 공간으로 이루어져 있고, 우리는 3차원에 살고 있기 때문에 3차원보다 낮은 차수의 것들을 볼 수 있는 것이다. 2차원 생명체라면 한 눈에 볼 수 있는 것은 점과 선밖에 없을 것이다. 여기서 더 차원을 늘이려고 한다면 어떻게 해야할까?

우리는 3차원 공간에 1차원인 것을 더해 4차원을 만들 수 있는데, 우리는 그 1차원을 시간이라고 부른다. 그리고 이 4차원을 시공간이라고도 부른다. 시간 여행을 하기 위해서는 이 시공간의 변화에 대해서 이해할 수 있어야 한다.

우선 미래로 가는 경우부터 생각해보자. 미래로의 시간 여행은 단지 나의 시간보다 주변의 시간이 빠르게 흐르기만 하면 되는 문제이다.

주변의 시간이 빠르게 흐르도록 하려면 어떻게 해야할까? 다음과 같은 상황을 가정해보자. 어떤 사람이 우주선에 타고 있고 이 우주선은 빛에 가까운 속도로 달리고 있다. 우주선에 탄 사람이 우주선 바닥에서 천장으로 빛을 쏜다면, 이 빛은 바닥과 천장을 왕복할 것이다. 이때 빛이 한 번 왕복하는데 걸리는 시간을 측정한다고 하자. 예를 들어, 우주선에 탄 사람이 측정한 시간은 1초라고 하자.

우주선 안에서 빛이 바닥과 천장을 왕복하는 것을 지구에 있는 사람이 바라본다고 하자. 지구는 우주선에 비해 정지해있는 상태라고 볼 수 있다. 지구의 사람이 본 우주선은 오른쪽으로 매우 빠른 속도로 움직이고 있다. 이때, 지구에 있는 사람 또한 빛이 바닥과 천장을 한 번 왕복하는데 걸리는 시간을 측정한다고 해보자. 어떻게 될까?

우주선은 오른쪽으로 빠르게 움직이고 있고 그 안에서 쏜 빛 또한 오른쪽으로 같이 이동하고 있는 것처럼 보일 것이다. 그렇다면 빛이 이동한 경로를 그려보면 다음과 같이 대각선 경로가 그려질 것이다. 아까 우주선 내부에서는 직선으로 왕복했지만, 지구에서 바라본다면 2번의 대각선 경로가 그려진다. 빛의 속도는 동일한데, 이동한 경로가 대각선이 길게 되므로, 지구에서 왕복 시간을 측정하면 어떻게 될까?

놀랍게도 같은 현상을 관측했는데, 사람이 어디에서 사건을 바라보느냐에 따라서 측정한 시간의 길이가 달라진다. 빠른 속도로 움직이고 있는 사람보다 지구에 있는 사람의 시간이 더 오래 걸렸다. 즉, 지구에 있는 사람의 시간이 더 빠르게 흘러간 것이라고 볼 수 있다. 우주선의 사람은 1초밖에 안 늙었지만 지구의 사람은 3초나 늙어버린 것이니까.

이게 가능한 일이긴 한 것일까? 놀랍게도 이러한 생각은 실제로도 일어나며 관측할 수도 있다. 우주에서 날아오다가 대기 상층부에서 생성되어 지표면으로 날아오는 아주 작은 입자 중 하나인 뮤온 입자라는 것이 있다. 이 입자는 수명이 매우 짧아 금방 소멸되고, 지표면으로 빛의 속도로 날아온다. 이 입자는 대기에서 지표면으로는 날아오지만 수명이 짧고 대기와 지표면 사이의 거리가 먼 탓에 원래는 지표면에 도달할 수 없는, 도달하기 이전에 소멸되는 입자이다.

하지만 이 입자는 지표면에서 관측이 가능하다. 어떻게 이런 일이 가능할까? 앞에서 살펴본 예시와 동일한 상황이라고 볼 수 있다. 입자가 빛의 속도로 날아오면서 입자의 시간은 상대적으로 느리게, 지구의 시간은 빠르게 흘러간다고 볼 수 있다. 이로 인해, 입자의 시간이 느리게 흘러 수명이 지구에서 봤을 때 증가한 것으로 보이고, 그 결과 입자가 지표면에 도달할 때까지 입자가 소멸하지 않을 수 있었던 것이다.

우리는 이러한 현상을 시간 팽창이라고 부르고, 이를 설명한 이론을 특수 상대성이론이라고 부른다. 상대성이론이라는 것은 언젠가 한번쯤은 들어본 적이 있을 것이다. 특수라는 것은 특수한 상황에서만 적용할 수 있는 이론이라는 것이고, 여기서 특수한 상황이라는 것은 빠르게 움직이는 물체의 속도는 변하지 않는다는 것이다. 즉, 한 번 빛의 속도로 나아가면 쭉 빛의 속도로 가는 것이고 중간에 더 빨라지거나 멈추거나 하지 않는다는 것이다. 그럼 특수한 상황이 아닌 경우도 있지 않을까?

특수상대성이론 말고도 현재에서 미래로 시간 이동을 할 수 있는 방법이 또 있다. 이번에는 다음과 같은 상황을 고려해보자. 어떤 사람이 중력이 없는 우주에서 엘리베이터를 탔다고 가정하자. 이 때 엘리베이터에서 공을 떨어뜨리면 엘리베이터가 위로 올라가면서 공이 바닥에 닿게 될 것이다.

그런데 만약 지구에 있는 다른 사람이 지구에서 공을 떨어뜨렸다면, 공은 당연이 아래로 바닥으로 떨어질 것이다.

그럼 만약 두 사람이 밖을 볼 수 없는 상황에서 공을 떨어뜨린다면, 자신이 우주 엘리베이터를 탔는지 아님 지구에 있는지 알 수 있을까? 답은 구분할 수 없다이다. 가속에 의한 관성력과 중력은 구별할 수 없다.

그럼 이번에는 같은 방법으로 우주 엘리베이터에서 빛을 수평으로 쏴보았다. 빛은 앞으로 직진하는 성질이 있는데 엘리베이터가 위로 올라가니, 빛 또한 언젠가는 엘리베이터 바닥에 닿게 될 것이다(엘리베이터 안에 있는 사람이 보았을 때 기준).

엘리베이터에서의 빛의 경로를 그려보면 다음과 같은 대각선이 나올 것이다. 만약 여기서 앞의 경우처럼 구별할 수 없는, 빛이 동일하게 대각선으로 내려가게 하기 위해서는 어떻게 해야할까?

아래쪽에 중력이 작용하면 동일한 결과를 관측할 수 있게 될 것이다. 이 때 여기서 알 수 있는 점은 빛은 원래대로라면(관성력이 없을 때) 오른쪽으로 수평하게 이동해야 했지만, 관성력이나 중력에 의해 빛이 이동하는 거리가 증가했음을 알 수 있다. 엘리베이터에서의 시간이 팽창된 것이라고 볼 수 있는 것이다.

이를 정리하면, 질량이 큰 물체에 가까울수록 강한 중력장을 만들어 시공간을 휘게 만들기 때문에 시간이 느리게 흐른다는 것을 알 수 있다. 엄청나게 질량이 큰 물체가 있다면 시공간이 엄청나게 휘어질 것이고 심지어 빛도 영향을 받아 휘게 될 것이다. 이렇게 시간이 팽창하는 것을 설명하는 이론은 일반상대성이론이라고 한다.

영화 인터스텔라에서 보면 중력이 높은 별에서 3시간을 보내고 돌아오니, 우주선에 있던 동료는 23년이나 늙어버린 상황을 볼 수 있다.

앞에서의 내용들을 정리해보면, 빛에 가까운 속도로 빠르게 이동하거나 중력이 큰 곳으로 가면 시간이 팽창해 시간이 느리게 감을 알 수 있다. 이를 정리한 사람은 바로 아인슈타인이며, 상대성이론은 시간이 흐르는 속도가 모두에게 동일하지 않다는 것을 발견한 것이다. 이러한 내용을 통해 우리는 이를 이용하면 미래로의 시간여행이 가능할 것임을 알 수 있다.

그렇다면 과거로의 시간여행은 어떨까? 스티븐 호킹은 이를 입증하기 위해 파티 초대장을 하나 만들었다. 초대장에는 파티의 장소와 시간이 적혀 있다. 하지만 이 초대장은 파티가 끝날 때까지 아무에게도 전달되지 않았다. 왜냐하면 이 파티는 미래의 시간 여행자들을 위한 파티였기 때문이다. 초대장의 메시지가 충분히 먼 미래까지 존재할 수 있다면, 그리고 미래에 인류의 시간 여행이 가능해진다면 누군가는 초대장에 적힌 메시지를 보고 파티에 참석할 가능성이 있다고 생각했다. 그럼 파티에 누군가 온 사람이 있을까? 파티에는 아무도 오지 않았다. 호킹은 이러한 실험을 통해 과거로의 시간여행은 불가능하다는 결론을 내렸다. 하지만 이러한 결론을 내리기에는 반증사례를 생각하기 쉽다. 시간여행자가 바쁘거나 가기 싫어서 안 갔을 수도 있지 않을까. 하지만 엄청나게 먼 미래에 무한히 많은 인류 중 단 한 사람이라도 올 가능성은 있지 않은가.

과거로의 시간여행이 불가능하다는 근본적인 이유를 ‘시간 순서 보호 가설＇로 설명할 수 있다. 자연은 원인이 있으면 결과가 존재한다는 인과율의 법칙의 지배를 받는다. 하지만 시간여행이 가능해지면 수많은 모순들이 생겨난다. 대표적으로는 할아버지 역설이라는 것이 있다. 시간여행자가 과거로 돌아가서 자신의 할아버지를 죽이면 자신이 태어나지도 않기 때문에 애초에 할아버지를 죽이는 것도 불가능할 것이라는 내용이다. 이 역설의 핵심은 현재의 내가 과거에 영향을 끼치고 그로 인해 바뀐 과거가 다시 현재 영향을 끼친다는 것이다. 즉, 과거로의 시간여행은 닫힌 시간 곡선-루프 형태인데, 인과율은 선형이므로 자연에서는 이와 같은 경우가 애초에 존재할 수 없다는 것이다.

그럼 진짜 과거로의 시간 여행이 불가능할까? 답은 아직 모른다. 아직 불가능하다고 증명된 것이 아니기 때문이다.

그럼 시간은 왜 한 방향으로만 흐르는 것일까?

이에 대해 살펴보기 위해서는 열역학 제 2법칙에 대해 알아야 한다. 열역학 법칙은 열과 일에 관련된 법칙을 말한다. 열역학 제 2법칙에 따르면 고립된 계에서 엔트로피는 감소하지 않는다. 이는 과거와 미래를 구분하는 법칙이라고도 볼 수 있다. 그럼 엔트로피는 무엇일까?

엔트로피는 유용하지 않은, 일로 변환할 수 없는 에너지의 흐름을 말하며, 무질서한 정도라고도 표현한다. 즉, 세상은 무질서도, 엔트로피가 높아지는 방향으로 흐르고 있다는 것이다.

두 컵 중에서 무질서한 정도가 더 큰 것은 무엇일까? 바로 깨진 컵이다. 컵이 깨지면, 컵을 이루고 있던 도자기들은 불규칙한 파편들이 되어 여기저기로 흩어질 것이다. 이렇게 우리 세상은 엔트로피가 높아지는 방향으로 흐르고 있다. 우리 세상에서 깨진 컵이 스스로 원래상태의 컵으로 돌아가는 것은 불가능하다. 엔트로피는 감소하지 않으니까. 같은 이유로 상한 음식이 원래대로 돌아오는 것을 불가능하다. 만약 어지럽힌 방을 깨끗이 청소한다면, 방은 깨끗해지겠지만 청소를 하면서 에너지가 쓰이고, 이로 인해 다른 곳에 엔트로피는 높아지므로, 전체 엔트로피 자체도 높아지게 된다. 우리는 무질서해지는 방향을 시간의 방향으로 알고 있다. 그렇기 때문에 엔트로피가 시간을 흐르게 한다. 무질서한 방향으로 시간이 흐르는 것이 자연 현상. 그러므로 무질서함 자체가 시간을 흐르게 하는 것.

시간은 왜 흐를까? 우주의 현재 엔트로피가 굉장히 낮기 때문이다. 우주가 탄생할 때에는 엔트로피가 매우 낮았다가 점차 현재로 오면서 엔트로피가 높아지게 된 것이다. 언젠가 훨씬 더 무질서한 상태가 된다면 시간이 멈출지도 모른다. 하지만 그런 일은 우리가 경험할 수는 없을 것이다. 그러한 일이 생기려면 적어도 몇 백, 몇 천억년이 걸릴지도 모르니까.

오늘의 이야기는 여기까지야. 어땠어?

상대성이론 – 시간은 절대적인 물리량이 아니다. 즉, 시간의 흐름은 각 관성계에 따라 달라지는 상대적인 물리량이다

특수상대성이론: 속도가 빠를수록 시간이 느리게 흐름

쌍둥이 패러독스: 쌍둥이 중 한 명은 지구에, 한 명은 우주선에 타고 갔다가 돌아오면 누가 더 나이가 많을까? 특수상대성이론에 의하면 서로의 시간이 상대적으로 느리게 흐른다고 생각한다. 하지만 우주선을 탄 쌍둥이가 더 젊게 보이게 된다. 우주선이 지구로 다시 돌아오려면 우주선은 가속을 해서 방향을 바꿔야 하는데, 이 과정에서 적색편이에 의해 느리게 보였던 지구가 순식간에 미래로 점프하는 것처럼 보이게 된다. 하지만 실제로는 거리가 너무 멀어서 관측할 수는 없다.

사건의 지평선: 블랙홀이 될 수 있는 반경. 사건의 지평선을 넘어가는 물질은 다시는 빠져나오지 못하고 빛조차도 이를 빠져나오지 못함. 즉, 내부에서 일어난 사건이 외부에 영향을 줄 수 없는 경계면으로, 블랙홀에 들어온 빛은 탈출하려는 속도보다 중력에 의해 붕괴되는 속도가 빠르기 때문에 외부로 빠져나갈 수 없다.

빅뱅에서 처음 한 점은 질량이 무한대이므로 시간이 정지해있었다가, 빅뱅 후 시간이 흐르기 시작함

열역학 제 0법칙: 열평형. A, B가 열평형, B, C가 열평형이면 A랑 C로 열평형상태

열역학 제 1법칙: 에너지 보존 법칙. 고립게의 에너지 총합은 일정하다. 열과 일은 서로 변환이 가능하다. dU=dQ-dW. 계의 내부 에너지=계의 외부에서 내부로 가해진 열 에너지 – 외부에 행한 일 에너지

열역학 제 2법칙: 고립계의 엔트로피는 감소하지 않는다.

고립계: 주변과 물질 및 에너지 교환이 단절됨. 계의 범위는 상대적