

The theory of relativity

Class: Newton's apple

김민석

2022. 7

Dreamy School

Abstract

아인슈타인은 1905년 특수상대성이론을 발표하고 10년후인 1915년에 일반상대성이론을 발표하였다. 특수상대성이론은 등속직선운동, 광속불변의법칙 두 가지 공준으로 여러가지 현상을 설명한다. 광속불변의 법칙을 이해하려면 빛의 역사와 빛의 특색을 알아야한다. 아인슈타인이 나타나기 전까지 빛은 빛이 입자라는 입자설과 파동이라는 파동설이 있었다. 많은 과학자들이 이 논쟁을 두고 많이 싸웠는데 현재 과학계는 빛은 입자이며 파동, 파동이며 입자인 두 양면성을 가지고 있다는 것을 인정하였다. 빛은 진공상태에서 약30만km속력을 가지고 있다. 이 속도를 쉽게나마 체감을 해보자면 1초에 지구를 7바퀴 반이나 돌 수 있는 속도이다. 빛은 또한 누가 봐도 속도가 변하지 않는 절대적인 모습을 가지고 있다. 특수상대성이론이 발표되기 전까지 시간과 공간은 바뀌지않는 절대적인 것이라고 생각했었다. 하지만 이 이론의 출현으로 모든 것이 바뀌었다. 절대적으로 생각했던 것이 상대적으로 변하면서 시공간 변화가 일어나 흐름에 이상이 생겨 여러 현상이 일어난다. 앞으로 이 현상에 대해 알아볼 것이다.

Contents

Abstract	1
General introduction	3
1. The theory of relativity	4
1.1 Introduction	4
1.2 The light	5
2. The theory of special relativity	9
2.1 Introduction	9
2.2 Characteristics of the theory of special relativity	9
2.3 Application of the theory of special relativity	15
2.4 Limitations of the theory of special relativity	15
2.5 Theory and law	15
2.6 Evaluation	15
References	16

General Introduction

물리는 머리로 외우는 것이 아니라 이해를 하고 생각을 해야지 상대성이론을 포함한 물리 현상, 물리법칙들을 이해할 수 있다.

상대성이론은 관측자에 따라 모든 현상이 다르게 느껴진다.

* 빛

- 빛의 속력은 진공 속에서 항상 약 30만km(약30만m/s)
- 광속 = 빛의 속도 = 약 30만km(초속 30만m/s)
- 광년 = 빛이 1년동안 갈 수 있는 거리

* 시간과 공간

- 시공간 = 시간과 공간은 다른 개념이 아닌 하나의 개념이다.
- 시간과 공간은 속도에 따라 상대적이다,

제 1법칙: 관성의 법칙

물체가 밖의 힘을 받지 않는 한 정지 또는 등속도 운동의 상태를 유지하려는 법칙으로, 물체가 외부로부터 힘이 작용하지 않는 한 정지해 있던 물체는 계속 정지 상태로 있고, 움직이던 물체는 계속 일직선 위를 똑같은 속도로 운동하려는 성질이다. 보통 질량이 클수록 물체의 관성이 크다.

“ $F(\text{힘}) = 0, \rightarrow a(\text{가속도}) = 0$ ”

ex) 정지하고 있던 버스가 갑자기 출발하게 되면, 우리의 몸은 순간적으로 뒤로 쏠리게 되는 현상.

달리던 버스가 갑자기 정지하게 되면, 우리의 몸은 순간적으로 앞으로 쏠리게 되는 현상.

- 관성계: 정지 혹은 등속직선운동을 하고 있는 장소

1. The theory of relativity

1.1 Introduction

철학은 인간과 세계에 대한 근본 원리와 삶의 본질 따위를 연구하는 학문이라고 설명한다¹. 철학은 고대로부터 근현대까지 자연 철학과 윤리 철학으로 나뉘어 있었다. 자연 철학이라는 명칭은 1800년대에 서서히 자연 과학이라는 명칭으로 대체되었고 자연과학은 점차 물리학과 생물학 등의 현재 존재하는 분야들로 세분화되었다. 내가 공부한 상대성이론은 양자역학, 열역학, 고전역학 등과 함께 물리학의 핵심 이론이다. 물리학(physics)은 자연이라는 뜻을 가진 그리스어 physis와 학문(학)을 뜻하는 -ics의 합성어다. 즉 물리학은 어느 특정 분야라기보다 자연에 대한 보편적 앎을 추구하는 학문이다. 그래서 우리가 살고 있는 세상 어디에서나 물리는 발견된다. 물리학의 법칙들은 단순히 실험실의 칠판에만 머무르는 것이 아니라, 지금 여기, 내가 먹고 마시고 자는 공간에도 동일하게 적용된다. 따라서 물리는 ‘삶’이고, 물리의 법칙들은 ‘삶이 따르는 규칙’이라고 할 수 있다². 또한 물리는 물리적 성질과 그것이 나타내는 모든 현상, 그리고 그들 사이의 관계나 법칙을 연구하는 학문이다³. 물리학의 목표는 우주 또는 자연이 어떤 식으로 운동하는가를 논리적으로 이해하는 것 즉, 신의 물리적 창조와 그것이 어떻게 작용하는지에 대한 체계적인 연구하며 모든 물체의 운동 원리를 규명하는 것이다. 물리학은 인간이 과거 철학을 통해 자연법칙에 대해 물어왔던 근본적인 질문들이 오늘날 물리학을 통해 해결되고 있다⁴.

2022 봄학기가 시작되기 전 겨울 방학 때 나는 집에서 인터스텔라 영화를 보았다. 영화에서 상대성이론이 나왔는데 당시 이 이론에 대해서 많이 알지 못해 내용 이해는 잘 되지 않았지만 당시 너무 충격적이고 상대성이론을 통하여 하나님의 창조하심에 대한 놀라움과 아름다움을 크게 느껴 소름이 돋았다. 드리미학교 2022 봄학기가 시작되어 Newton's apple이 열렸고 나는 이 전에 느꼈던 큰 충격과 아름다움을 다시 느끼기 위해 도전을 하며 상대성이론에 대해 공부를 시작하였다.

혹시 어린 시절을 기억하는가. 어린 시절 자연에 대한 호기심과 아름다움을 느끼며 살아왔다. 또한 자연의 신비와 아름다움에 매료되어 시간이 지나가는 줄 모르고 관찰했던 적도 있고 자연을 느끼는 활동도 많이 했을 것이다. 자연의 사전 의미를 보면 사람의 힘이 더해지지 아니하고 세상에 스스로 존재하거나 우주에 저절로 이루어지는 모든 존재나 상태라고 말한다⁵.

1. 태초에 하나님이 천지를 창조하셨다.
2. 땅이 혼돈하고 공허하며, 어둠이 깊음 위에 있고, 하나님의 영은 물 위에 움직이고 계셨다.
3. 하나님이 말씀하시기를 "빛이 생거라" 하시니, 빛이 생겼다.
4. 그 빛이 하나님 보시기에 좋았다. 하나님이 빛과 어둠을 나누셔서,
5. 빛을 낮이라고 하시고, 어둠을 밤이라고 하셨다. 저녁이 되고 아침이 되니, 하루가 지났다.

새번역 성경 창세기 1장 1~5절

창세기 말씀을 보면 하나님께서 이 세상을 창조하시는 것과 자연, 사람, 생물 등을 창조하시면서 시간과 공간 또한 창조하시는 것을 볼 수 있다. 성경적으로 바라보았을 때 모든 것은 하나님의 창조물이다. 또한

하나님께서서는 우리가 볼 수 없는 것들인 추상적인 것들을 만드셨다. 나는 어린시절부터 자연과 자연현상에서 흥미를 가지는 것이 하나님 존재에 대한 갈망이라고 생각한다. 그렇기에 사람들은 아름다움을 갈망하고 하나님께서 만드신 창조물에 대해 호기심이 생겨 관찰하고 분석하고 실험을 하며 창조물들을 알아가는 것이라 생각한다. 상대성이론과 물리를 공부하는 것은 하나님께서 이 세상을 창조하셨다는 것을 알아가는 것과 그 안에서 아름다움과 신비를 느끼는 것이다.

상대성이론은 알베르트 아인슈타인과 여러 과학자, 수학자들에 완성된 이론이며 갈릴레이 갈릴레오의 상대성원리를 기초하여 만들어진 이론이다. 아인슈타인의 상대성이론은 1905년에 발표한 특수이론과 1905에 발표한 일반이론 둘로 나누어진다. 특수상대성이론은 광속불변의 법칙과 등속직선운동이란 두 공준으로 특수상대성이론은 시간과 공간의 상대성을 설명하는 이론이다. 일반상대성이론은 중력과 관성력이 같다는 등가원리를 가정으로 이론이 만들어지게 되었다. 상대성이론은 관측자에 따라서 다른 현상이 일어나기 때문에 누가 보는가?(누가 관측하는가?)가 매우 중요하다.

1.2 The light

빛의 특성을 알아야지 특수상대성이론과 일반상대성이론에서 나오는 여러 현상과 사건이 이해되기 때문에 빛에 대해서 알아야한다. 빛의 속력은 $299,792,458 \text{ m/s}$ 이므로 약 초속 30만km이다. 빛은 1초에 지구 7바퀴 반을 돌 수 있으며 지구에서 달까지 1.3초 만에 갈 수 있는 속도이다.

1.2.1 History of the light

기원전부터 빛의 입자설과 파동설은 존재했었다. 17세기 아이작 뉴턴은 당시 물리과학의 대명사였으며 인류 최고의 천재 소리를 듣던 인물이었다. 뉴턴은 프리즘을 이용해 빛을 빨주노초파남보로 분리하고 빛의 여러 색을 합쳐 흰 빛을 만드는 실험으로 빛은 복합광임을 증명하였고 빛을 미립자라고 가정하여 프리즘에 의한 빛의 반사, 굴절, 분산을 설명으로 빛의 입자설을 주장하였다. 이때 여러 과학자들이 빛의 파동설을 주장하였는데 당시엔 뉴턴을 존경하던 시대였기에 빛이 입자라는 의견은 곧 정설의 학계로 받아들여졌고 약 180년인 거의 2세기동안 사람들은 모두 빛은 입자다라고 생각하였다.

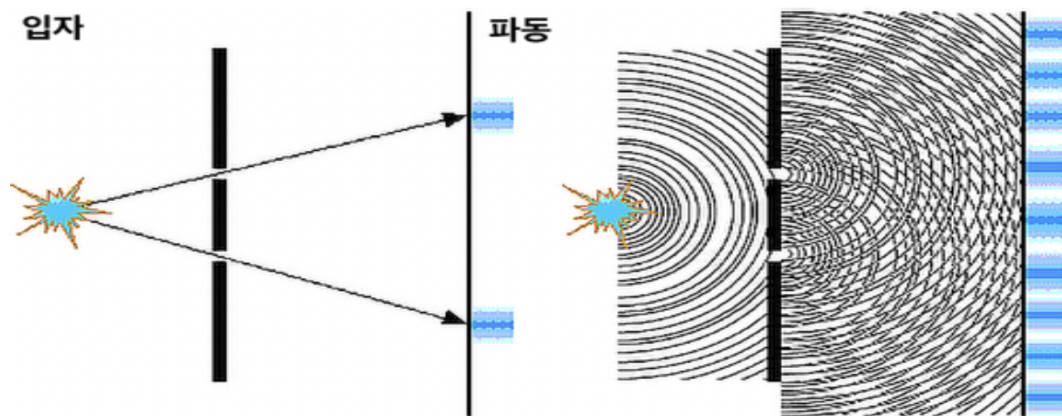


Fig 1.1⁷ 이중슬릿 실험

19세기 빛은 입자라는 생각이 지배적일 때 토마스 영이라는 과학자가 등장하였다. 토마스 영은 이중슬릿 실험으로 빛의 정체를 밝히려려고 하였다. 이중슬릿 실험은 구멍이 2개 뚫린 판자 뒤에 판자를 놓고 빛을 쏘아 빛의 정체를 밝히는 실험이다 (Fig.1.1). 토마스 영은 빛의 입자설을 믿고 있으므로 어떤 빛은 벽에 맞고 튕겨져 나올 것이고 또 어떤 빛은 구멍을 통과해 벽 뒤 판자에 도착해 2개의 줄무늬가 생길 것으로 예상하였다. 하지만 두 줄이 아니라 여러 줄이 나와 예상과는 다른 결과가 나왔으며 이는 빛은 파동이라는 결론에 이르렀다. 이 실험으로 인해 뉴턴의 입자설은 힘을 잃게 되었고 빛의 파동설이 우세하게 되었다.

물리학 혹은 수학에서 파동은 공간 상에서 평형 상태로부터의 변화 혹은 진동이 전달되는 현상이다⁸. 파동이 전해지려면 파동 또는 물리적 작용을 한 곳에서 다른 곳으로 옮겨 주는 매개물인 매질이 필요하다. 매질이란 예를들면 소리의 매질은 공기, 지진파의 매질은 땅, 수면파의 매질은 물 등이 있다. 19세기 토마스 영의 이중슬릿 실험으로 파동설이 주름잡게 되어 당시 사람들은 빛도 파동이므로 빛이 전달되려면 빛의 매질이 있어야한다고 생각했다. 당시 과학자들은 발견되지 않는 빛의 매질을 에테르라고 불렀으며 우주 공간에 에테르라는 매질이 가득 채워져있다고 생각했다. 그러나 이후에 나올 마이컬슨과 몰리 실험에 의해, '우주 공간을 채우고 있는 빛의 매질인 에테르는 존재하지 않음이 밝혀지면서 그 존재가 부정되었다.

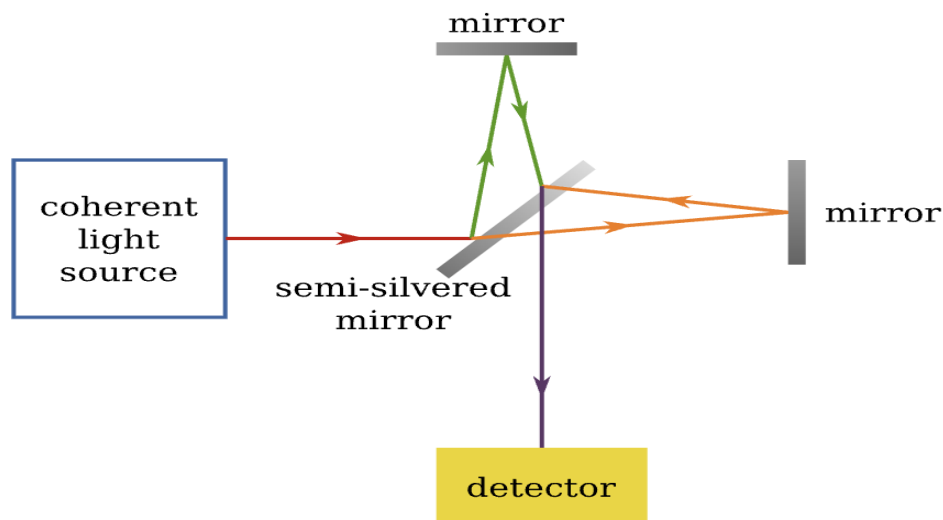


Fig 1.2⁹ 마이컬슨과 몰리 실험

마이컬슨과 몰리 실험은 광원(레이저)에서 나온 빛(RED)을 반거울에 접촉시켜 빛을 두 경로(ORANGE, GREEN) 나뉘게 한다. 나뉘어진 빛은 거리가 같은 2개의 경로를 거쳐, 최종적으로 빛 검출기(detector)에 도달한다. 에테르는 수수께끼가 참 많았는데 당시 사람들은 에테르가 존재한다면 우리가 바람이 불지 않는 날 자전거를 탈 때 바람을 맞는 것처럼 빛은 파동이라고 믿었기에 에테르 바람에 영향을 받아 빛의 속도가 더욱 빨라지거나 더욱 느려질 것이라는 예상을 하였다. 에테르가 정말 있었다면 위 실험의 두 빛의 도착 시간의 차이가 있었을 것이다. 이 실험은 지구가 움직이는 방향으로 나아가는 빛과 수직 방향으로 나아가는 2개의 빛의 속도를 비교함으로써, 지구가 우주 공간을 움직일 때 생기는 에테르 바람을 찾아내려고 한

것이다. 하지만 결과는 두 경로로 나누어진 빛(ORANGE, GREEN)은 동시에 빛 검출기(detector)에 도달하였다. 이 실험으로 인해 에테르의 존재여부에 대해서 학자들은 크게 흔들렸으며 아인슈타인은 에테르의 존재를 부정하였다. 또한 특수상대성이론의 핵심인 광속불변 법칙이 증명되었다.

* 반거울: 발사된 빛이 빛의 절반은 통과시키고 나머지 절반의 빛은 반사시키는 거울

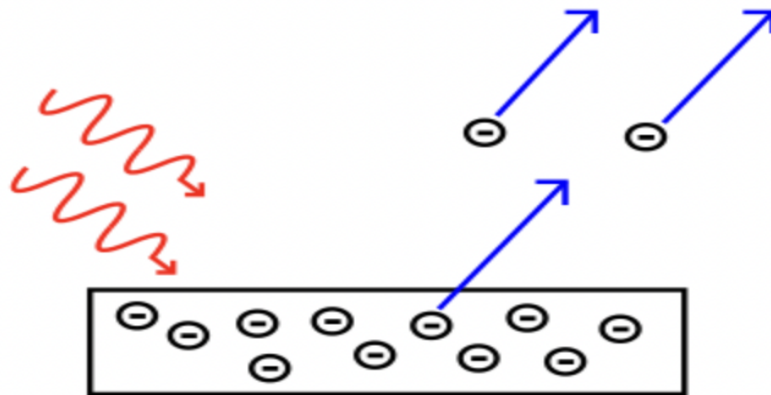


Fig 1.3¹⁰ 광전효과

19세기 토마스 영의 이중슬릿으로 인해 빛은 파동이라고 믿는 하인리히 헤르츠 과학자는 어느 한 실험을 하다가 우연히 광전효과를 발견하게 되었다. 광전효과란 금속 표면이 특정 진동수보다 더 큰 진동수의 빛을 비추었을 때 금속에서 전자가 튀어나오는 현상이다. 이 당시 과학자들은 빛의 파동설로 이 현상을 설명하지 못하였다. 이런 와중에 아인슈타인이 등장하여 빛의 입자설로 광전효과의 모든 원리를 설명하였다. 이 입자설로 아인슈타인은 빛이 파동이라는 학계의 정설을 완전히 뒤집어 댔고 노벨물리학상을 타는데 성공하였다. 이로인해서 다시 빛의 입자설이 우세해지기 시작하였다.

1.2.2 Characteristics of light

- 빛의 이중성(파동과 입자)

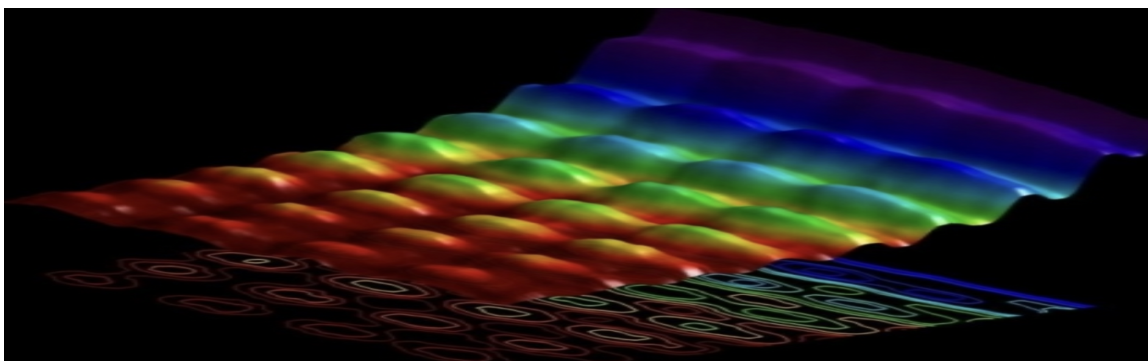


Fig 1.4¹¹ 빛의 이중성

빛의 파동-입자 이중성은 역사적으로 빛이 과연 입자인지, 아니면 파동인지에 대한 논란으로부터 비롯되었다. 많은 실험을 통해 빛은 두 가지 성질을 모두 지닌다는 사실이 증명되었고, 이후 빛 뿐만이 아니라 다른 모든 물질도 입자와 파동의 성질을 둘 다 지닌다는 사실이 발견되었다.

1.2.3 Principle of Constancy of Light Velocity

빛의 속도는 자연계의 최고 속도로 빛의 속도를 뛰어넘은 것은 아직까지 밝혀지지 않았다. 빛의 속도는 299,792,458 m/s 속도로 약 초속 30만km 를 내고있다. 시간과 공간은 속도에 따라 달라지지만 빛의 속도는 진공상태에서 절대적으로 속도가 바뀌지 않는다. 예를 들어 내가 20만km로 빛(30만km)과 함께 나란히 뛰라고 가정하면 상식적인 계산으로 속도차이는 10만km가 차이가 날 것이다. 하지만 이것은 틀린 계산이다. 빛은 내가 정지해있던지 빛의 방향으로 뛰던지 빛의 반대 방향으로 뛰던지 빛은 항상 30만km로 나아가고 누가 보던지 어디에서 보던지 약 30만km로 나아간다. 이것이 광속불변의법칙이다. 이 법칙은 항상 진공속에서만 성립이 된다. 빛은 입자와 파동 두가지 성질을 가지고 있기 때문에 진공 속이 아닌 빛의 매질이 공기, 물, 유리라면 빛의 굴절로 인해 빛의 속도가 줄어든다. 매질마다 속도가 달라지는 이유는 빛이 매질 속을 지날 때 매질을 이루고 있는 분자와 상호 작용하며 지나가기 때문이다¹².

2. The theory of special relativity

2.1 Introduction

아인슈타인의 상대성이론 중 하나인 특수상대성이론은 광속불변의 법칙과 등속직선운동이라는 두 공준으로 만들어진 이론이다. 등속직선운동은 일정한 속력과 일정한 방향, 즉 일정한 속도로 운동하는 것을 이른다¹³. 특수상대성이론의 ‘특수’라는 단어가 들어간 이유는 등속직선운동이 일상생활에서 잘 나타나지 않을 뿐더러 ‘속도가 일정한 계’라는 특수한 조건에서만 적용되는 이론이기 때문에 특수상대성이론이라는 이름을 가지게 되었다. 특수상대성이론으로 많은 현상을 설명하지만 나는 ‘시간의 느려짐’, ‘길이(공간)의 줄어듦’, ‘질량의 증대’를 설명할 것이다.

2.2 Characteristics of the theory of special relativity

2.2.1 시간의 변화

2.2.1.1 동시성의 불일치

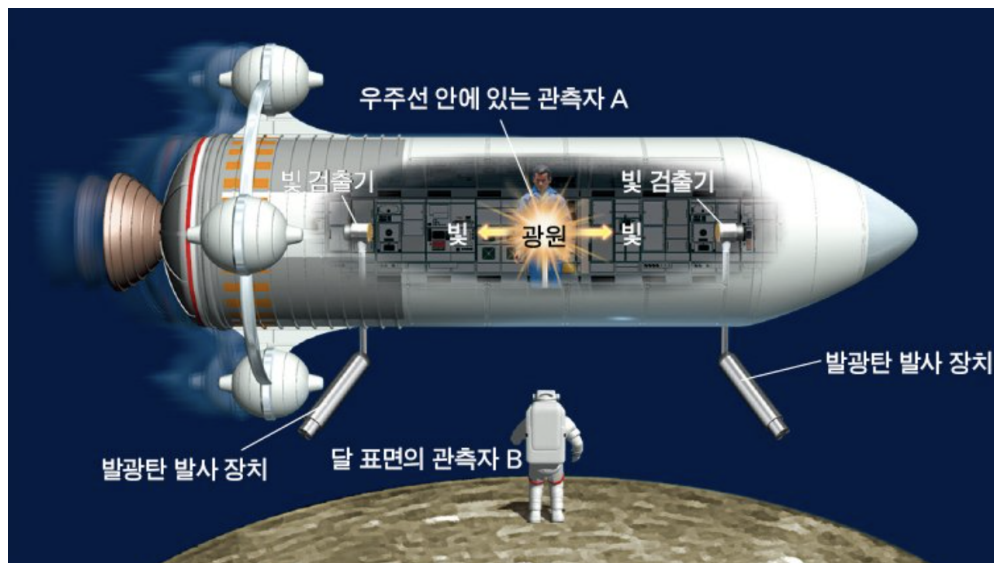


Fig. 2.1¹⁴ 동시성의 불일치 (1)

* 특수상대성이론의 시공간의 상대성을 이해하려면 동시성의 불일치 현상을 알아야한다.

달표면에서 보면 우주선은 오른쪽으로 광속과 가까운 일정한 속도로 날아가고 있다. 우주선 중앙에는 빛이 나오는 광원이 있고 양옆에는 빛 검출기가 있다. 광원에서 나온 빛이 빛 검출기하면 발광탄 발사 장치에서 발광탄이 나오게 된다.



Fig. 2.2¹⁵ 동시성의 불일치 (2)

관측자A가 있는 우주선 안은 광속과 비슷한 속도로 등속직선운동을 하고 있는 관성계이다. 우주선 안에 있는 관측자A의 입장에서 보면 광원에서 나온 빛은 약30만km로 거리가 같은 두 빛 검출기에 동시에 도달하여 발광탄은 동시에 발사된다.

* 관성계: 관성의 법칙이 성립되는 좌표계

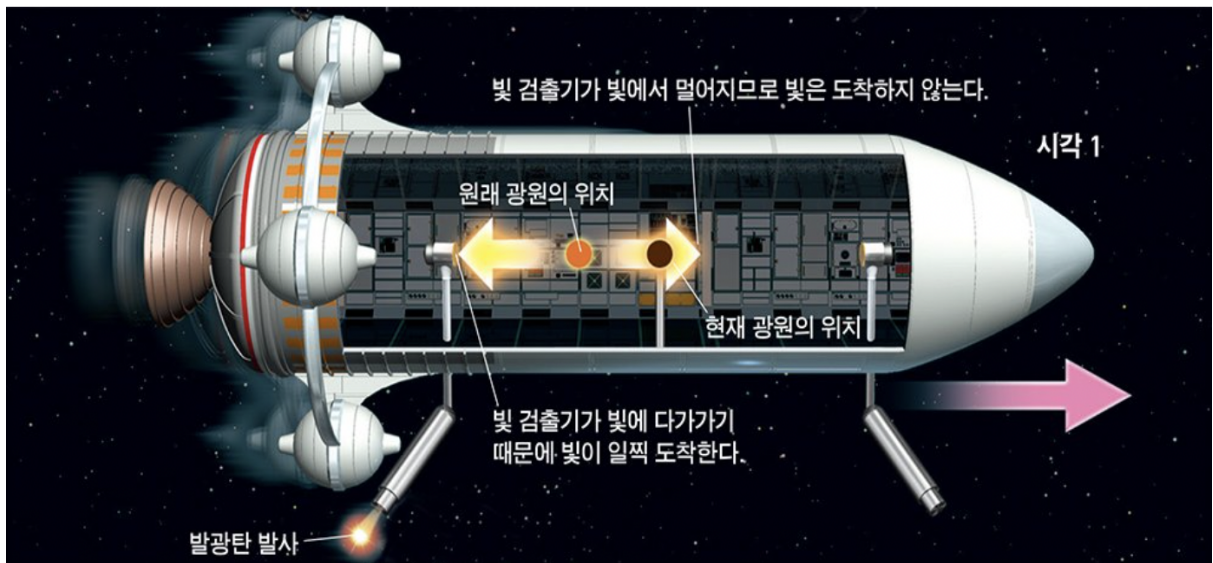


Fig. 2.3¹⁶ 동시성의 불일치 (3)

달 표면에서 보는 관측자B의 입장에서 보면 우주선이 광속과 비슷한 속도로 오른쪽으로 이동하고 있음으로 광원에서 빛을 발사하면 공간이 이동하기 때문에 좌측 빛 검출기에 먼저 도착해 왼쪽 발광탄이 발사가 되고 후에 우측 빛이 빛 검출기 도달해 발광탄이 발사된다.

우주선 안에 있던 관측자A에게는 발광탄이 동시에 발사되었지만 달 표면에 있던 관측자B는 좌측 발광탄이 먼저 발사 되었다. 이 현상으로 인해 서로의 동시가 일치 하지 않다는 것을 볼 수 있다. 즉, 관측자마다 ‘다른 시간’을 가지고 있는 것이다. 예를 들어 지구에 두 번개가 친다고 하면 지구에서는 두 번개가 동시에 치는 것으로 보인다. 하지만 우주선에 타고 있는 우주인이 보기엔 서로 다른 시간에 번개가 치는 것으로 보이는 것과 같다.

2.2.1.2 느려지는 시간의 흐름

느려지는 시간의 흐름을 알기위해선 동시성의 불일치 상황과 같은 조건으로 시작한다. 하지만 이번엔 광원과 빛 검출기, 발광탄이 아닌 빛 시계가 있다고 생각해보자. 빛시계란 세로 1m로 빛이 시계의 윗쪽을 달는 순간이 1초가 지나가는 것이다. 우주선 안에 있는 관측자A는 관성계에 있으므로 우주선안의 빛시계를 보면 1초가 지나가는 것으로 보인다.

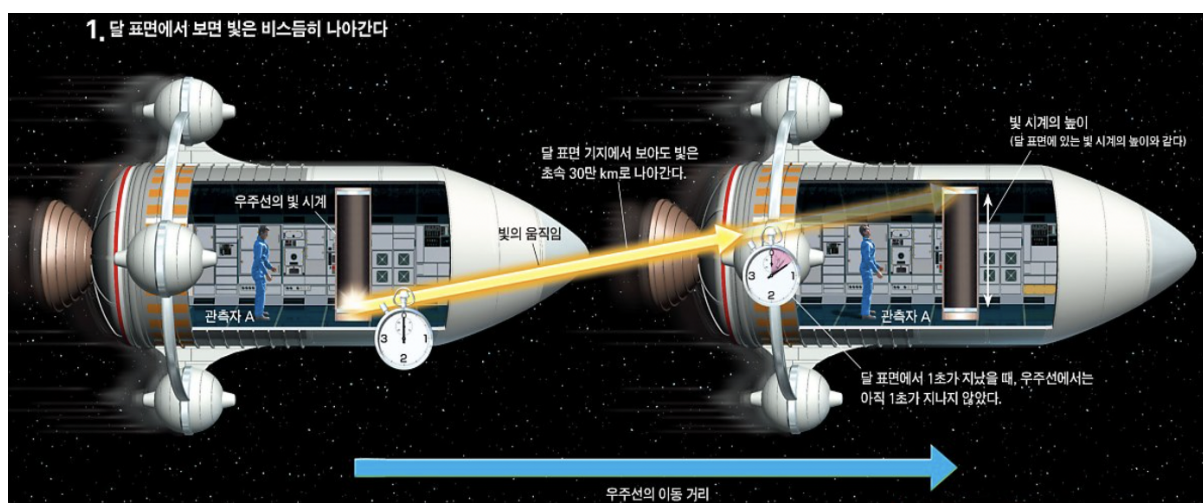


Fig. 2.4¹⁷ 느려지는 시간의 흐름1 - 달 표면에서 관측

관측자를 바꿔 달 표면에 있는 관측자B로 이 현상을 보자. 우주선(공간)이 빠르게(광속과 비슷한 속도) 이동하고 있음으로 달 표면에서 보면 우주선 안에 있는 빛시계의 빛은 비스듬히 나아간다. 이 현상을 보면 달표면에서 1초가 우주선안에서는 1초가 지나지 않는 것을 볼 수 있어 우주선안의 시간흐름이 바뀌어 시간이 늘어난 것을 볼 수 있다. 이로 인해 관측자에 따라서 시간의 흐름은 느려지는 것을 알 수 있다. 관측자B가 보았을 때 관측자A의 시간의 흐름은 느려지지만 관측자A 자기자신은 느려진 시간의 흐름을 느낄 수 없다. 시간의 흐름이 느려질 때 시간만 느려지는 것이 아니라 우주선 안에 있는 사람의 속도, 생각의 속도, 원자 하나하나 움직임까지 느려진다. 나를 포함해서 주변에 있는 것 모두 다 상대적으로 느려지기 때문에 A는 A의 시간의 흐름이 느려진 것을 느낄 수가 없는 것이다.

우리가 빠르다고 생각하고 가장 빠른 운행수단인 여객기에서 시간의 흐름이 달라지는 것을 못 느끼는 이유는 여객기의 속도는 빛의 속도인 약 30만km에 비해 터무니 없는 속도이기 때문에 시간의 변화를 거의 느낄 수가 없다.

시간의 흐름이 느려지는 현상을 동시성의 불일치로 알 수 있다. 우주선안의 관측자A와 달 표면에 있는 관측자B의 동시는 서로 일치하지 않기 때문에 서로 다른 시간을 비교하고 있는 것이 됨으로 오차가 생겨 시간의 느려짐 현상이 나타난다.



Fig. 2.5¹⁸ 느려지는 시간의 흐름 - 우주선 안 관측

지금까지 관측자A의 상황을 관측자A가 보고 관측자B로 A의 상황을 보았다. 기준을 바꾸어 반대로 관측자B의 상황을 관측자 A가 보고 B의 상황을 관측자 B가 보도록 해보면 관측자A,B는 등속직선운동을 하고 있거나 정지한 상태에 있는 관성계 안에 있기에 서로 자신의 속도를 모르고 기준이 없으면 서로 누가 움직이는지 모르는 상태가 되어버린다. 즉, 관측자A가 보면 움직이고 있는 것은 달이고 달 표면에 있는 빛 시계가 움직이는 것으로 보여 달 표면의 B시계의 시간이 느리게 흐르는 것을 볼 수 있다. 결론은 서로의 시간이 느려지는 것을 볼 수 있어 둘다 맞고 시간은 피장파장이다.

2.2.2 속도의 덧셈

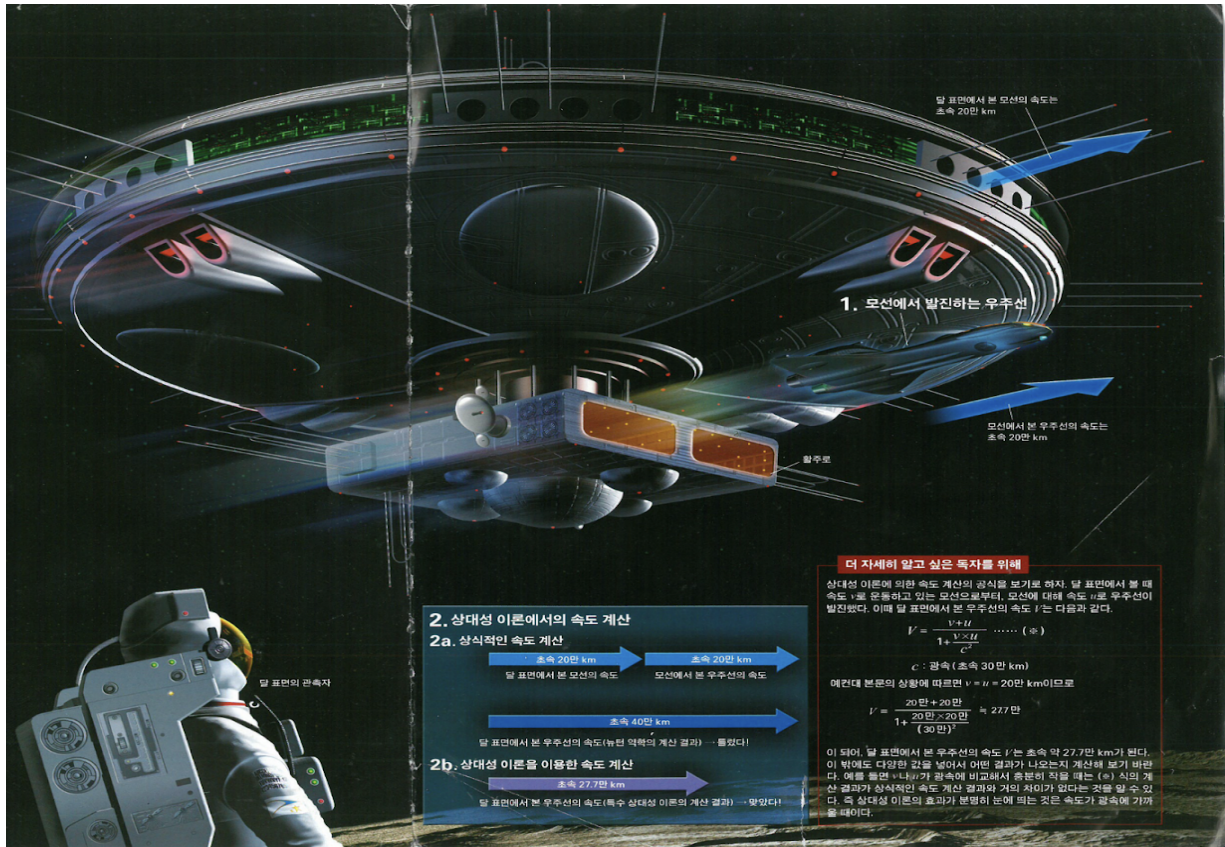


Fig. 2.6¹⁹ 속도의 덧셈

달 표면에서 관측자가 모선과 모선에서 날라가는 우주선을 바라보고 있다. 달 표면에서 본 모선의 속도는 초속 20만km이고 모선에서 본 우주선의 속도는 초속 20만km이다. 상식적인 계산 뉴턴 역학으로 계산을 하면 초속 20만km(달 표면에서 본 모선의 속도) + 초속 20만km(모선에서 본 우주선의 속도) = 초속 40만km(달 표면에서 본 우주선의 속도)로 계산 될 것이다. 달 표면에 보면 이 계산은 틀린 계산이다. 서로 다른 동시를 인식하지 못했는 것이다. 올바른 속도를 구하려면 관측자가 누구인지를 알아야한다. 관측자를 파악하면 달에서 본 시간과 거리로 고쳐 다시 계산해야한다. 모선과 우주선을 보는 관측자는 달 표면의 관측자이기 때문에 우주선의 속도를 알기 위해서는 모선에서 발진하여 보는 우주선의 속도가 아닌 달 표면에서 본 우주선의 속도를 구해야한다. 결론적으로 상대성이론을 이용한 속도 계산을 하면 27.7만km의 계산이 나오게 되는데 이 계산은 미분을 사용하여 계산을 해야함으로 계산도 어렵고 이해하는데도 매우 어렵다.

2.2.3 길이(공간)의 줄어듦

시공간은 물리학에서 시공간 혹은 시공이란 3차원 공간과 제4차원으로서의 시간을 하나의 구조로 묶은 4차원 수학적 모델로, 상대성이론과 양자장론에서 중요하게 사용되는 개념이다²⁰. 쉽게 말해 4차원은 시간

+ 공간으로 되어있다. 동시성의 불일치로 시간의 흐름이 느려진 것은 다시 말해 공간도 함께 줄어든다는 것을 의미한다. 시간과 공간은 하나의 개념이기 때문에 일어날 수 있는 현상이다. 또한 시간이 줄어드는 것은 피장파장이었기 때문에 공간이 줄어드는 것도 피장파장이다. 우주선이 모선을 향해 광속과 비슷한 속도로 날아간다고 보면 우주선 안에 있는 관측자 A가 보면 우주선의 운동방향 반대방향으로 자신을 제외한 온 우주가 줄어들고 모선 안에 있는 관측자 B가 보면 우주선이 운동방향과 반대방향으로 줄어드는 것을 볼 수 있다.

2.2.4 뮤온

뮤온이라는 입자는 특수상대성이론의 효과에 영향을 받는 입자이다. 뮤온은 전자의 '무거운 형제' 같은 입자로 고에너지 양성자 입자를 충돌시킬 때 생성된다. 우주선이 공기분자와 충돌하면 뮤온이 생성되고 엄청나게 빠른 속도로 지구로 쏟아져 내린다. 뮤온의 본래 수명은 100만 분의 2초인데, 그 이상의 시간이 지나면 붕괴해버린다. 계산을 해보면 뮤온이 도달할 수 있는 거리는 0.594인 약 0.6km(30만km x 0.99x 100만/2초)가 나온다. 뮤온의 입장에서 보면, 자신을 제외한 모든 우주가 뮤온의 운동방향과 반대 방향으로 줄어들고 시간팽창을 경험을 경험하게 되어 뮤온은 수명이 다하기 전에 지상에 도달해 우리가 뮤온 입자를 발견할 수 있는 것이다.

2.2.5 질량의 증가

$E=mc^2$ 공식은 에너지 = 질량, 질량 = 에너지이다. 정지해 있는 전자에 에너지E를 가해 전자를 광속의 86.6% 비슷한 속도로 가속시켜보았다. 하지만 실제로 에너지E를 받은 전자는 광속의 7.7%속도 밖에 내지 못한다. 특수상대성이론에 따르면 광속과 가까워질 수록 가속하기 어려워지기 때문이다. 가속하는데 사용된 에너지는 어디로 갔을까? 가속하는데 사용되는 에너지E는 에너지 보존 법칙에 의해 어딘가에 보존되어 있다. 에너지는 곧 질량이므로 가속하는데 사용된 에너지는 전자의 질량으로 바뀐 것이다. 속도가 느릴 속릴 때는 투입되는 에너지의 많은 부분이 전자의 속도를 증가시키는데 사용된다. 하지만 속도가 빨라지면 투입되는 에너지는 전자의 질량(움직이기 어려움)을 늘리는데 사용되기 시작한다(속도의 증가량은 처음보다도 작아짐). 속도가 광속에 가까워지면 투입되는 에너지의 거의 대부분이 전자의 질량을 늘리는데 사용된다(속도의 증가량은 더욱 작아짐). 즉, 같은 에너지를 계속 넣어도 광속과 비슷한 속도가 될 수록 그 에너지는 전자의 속도의 올리는데 사용되기 보다 질량을 높이는데 사용된다.

질량은 물리학에서 물질이 가지고 있는 고유한 양을 일컫는 말이다²². 무게는 질량과 혼동하기 쉬운 개념으로 질량을 기본적 물리량으로 볼 때는 질량에 중력가속도가 곱해진 양만큼으로 정의된다. 쉽게 말해 물체의 무게 = 질량 x 중력가속도이다. 질량은 일반적으로 어느 곳에서도 동일한 양인 반면 무게는 측정 장소의 영향을 받는다. 무게의 예를 들면 지구에서의 몸무게와 달에서의 몸무게가 달라지는 현상과 같은 것이다. 지구에서 봤을 때 광속과 비슷한 속도로 날아가는 우주선 안의 사람의 질량이 커보이는 것은 사실이다. 하지만 사람이 뚱뚱해지는 것은 다른 의미이다. 뚱뚱해질때는 지방이 늘어나 몸을 구성하는 물질의 총량(부피나 원자 수)이 늘어나는 것인데 상대성이론에 설명하는 것은 원자 하나하나에 이르기까지 몸을 구성하는 모든 요소의 질량이 한꺼번에 커지는 것이다. 부피나 원자 수가 늘어나는 것은 아니므로 뚱뚱해진다고 할 수 없다.

2.3. Application of the theory of special relativity

특수상대성이론은 우주에 진출하려면 필요로 알아야하는 이론이다. 내비게이션에 있는 GPS 수신기는 위성으로부터 시각과 위치정보를 빛의 속도로 받는다²³. GPS위성은 빠른 속도로 이동하는 관성계이기 때문에 특수상대성이론이 적용되어 인공위성의 시간과 지상의 시간이 달라진다. 지구와 인공위성의 시간의 흐름이 다르기에 서로 보정해주지 않으면 하루에 약 11km씩 오차가나 GPS나 통신에 심각한 문제가 될 수 있다.

특수상대성이론은 두가지 가정에 딱 맞아 떨어져야지 성립되는 이론이다 보니 규모가 작아 공학적으로 적용하는 일은 많지 않다.

2.4. Limitation of the theory of special relativity

특수상대성이론은 광속불변의법칙과 등속직선운동이란 공준안에서만 이론이 적용된다. 아인슈타인은 특수상대성이론은 비관성계인 속도가 변화하는 기준계에서는 사용할 수 없고 중력에 대한 논의가 빠져있어 이 두 가지 사건의 한계가 있다고 파악해. 특수상대성이론의 관성계를 비관성계로 바꾸어 일반상대성이론을 발표하였다.

2.5. Theory and law

Q. 상대성이론이 법칙이 아니라 이론인 이유

A. 법칙과 이론은 상하관계가 아니라 서로 완전히 다른 것이다. 과학에서 법칙은 자연계에서 작동하는 원리가 어떻게 일어나는지 수학적으로 자세하게 설명한 것이다. 법칙은 '어떻게'에 관해서는 설명할 수 있지만 '왜'에 대해서는 말해주지 않는다. 이론은 사실, 검증된 가설, 법칙으로 입증한 자연계의 특정 현상 설명이다²⁴. 그러므로 아인슈타인의 상대성이론은 여러 사실, 여러 검증된 가설, 여러 법칙으로 시간과 공간의 상대성을 설명한 이론이다.

2.6. Evaluation

이번 학기 3p 선택활동 C block 수업인 Newton's apple 수업을 들으며 상대성이론을 공부를 시작하였다. 물리를 처음 접하는 나는 뭐부터 시작해야하는지 뭐를 먼저 공부해야하는지 모르는 상태에서 막 Newton Highlight 잡지를 찾아보며 상대성이론을 공부하였다. 처음에는 이해도 되지 않아 답답한 마음이 있었지만 점점 공부할 수록 이해가 되며 공부에 재미를 느꼈다. 내가 이해한 것을 다른 사람들에게 설명을 해주니 사람들이 상대성이론에 대해 진정으로 궁금해하고 흥미로운 모습을 보였다. 나는 이번 학기 동안 내가 배운 것을 알려주면서 더 많은 것을 얻었고 그 안에서 진정한 기쁨까지 얻었다. 인터스텔라의 상대성이론에 매료되어 수업을 듣게 되었는데 정작 그 영화에 적용된 일반상대성이론에 대해서는 공부를 많이 하지 못한 점에서 매우 큰 아쉬움을 느낀다.

Reference

1. NAVER 지식백과,
https://dict.naver.com/search.dict?dicQuery=%EC%B2%A0%ED%95%99&query=%EC%B2%A0%ED%95%99&target=dic&ie=utf8&query_utf=&isOnlyViewEE=
2. [출처] 상대성이론은 몰라도 열역학 제 2법칙은 알아야 하는 이유|작성자 annie
3. NAVER 지식백과,
https://dict.naver.com/search.dict?dicQuery=%EB%AC%BC%EB%A6%AC%ED%95%99&query=%EB%AC%BC%EB%A6%AC%ED%95%99&target=dic&ie=utf8&query_utf=&isOnlyViewEE=
4. Wikipedia,
<https://ko.wikipedia.org/wiki/%EB%AC%BC%EB%A6%AC%ED%95%99>
5. NAVER 지식백과,
https://dict.naver.com/search.dict?dicQuery=%EC%9E%90%EC%97%B0&query=%EC%9E%90%EC%97%B0&target=dic&ie=utf8&query_utf=&isOnlyViewEE=
6. Holynet 성경
<http://www.holybible.or.kr/cgi/biblesrch.php?VR=99&QR=%C3%A2%BC%BC%B1%E2&OD=>
7. 이중슬릿 실험 <http://cs-exhibitions.uni-klu.ac.at/index.php?id=254>
8. 파동 <https://ko.wikipedia.org/wiki/%ED%8C%8C%EB%8F%99>
9. 마이컬슨과 몰리 실험 - Benjamin D. Esham (bdesham) - Created by bdesham in Inkscape.
10. 광전효과
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/f5/Photoelectric_effect.svg/320px-Photoelectric_effect.svg.png
11. 빛의 이중성
The work has been published in Nature Communications. Photo: Fabrizio Carbone/EPFL
(Fabrizio Carbone/EPFL)
12. 빛의 굴절 <https://if-blog.tistory.com/5468> [교육부 공식 블로그:티스토리]
13. 나무위키, 등속직선운동
<https://namu.wiki/w/%EB%93%B1%EC%86%8D%EC%A7%81%EC%84%A0%EC%9A%B4%EB%8F%99>
14. Newton's apple 누구나 이해할 수 있는 상대성이론 p.58
15. Newton's apple 누구나 이해할 수 있는 상대성이론 p.58~59

16. Newton's apple 누구나 이해할 수 있는 상대성이론 p.61
17. Newton's apple 누구나 이해할 수 있는 상대성이론 p.66~67
18. Newton's apple 누구나 이해할 수 있는 상대성이론 p.70~71
19. Newton's apple 누구나 이해할 수 있는 상대성이론 p.78~79
20. Wikipedia - 시공간
<https://ko.wikipedia.org/wiki/%EC%8B%9C%EA%B3%B5%EA%B0%84>
21. Newton Highlight-102, 누구나 이해할 수 있는 NEWTON HIGHLIGHT 뉴턴 하이라이트
상대성 이론
22. Wikipedia - 질량
<https://ko.wikipedia.org/wiki/%EC%A7%88%EB%9F%89>
23. <https://platonuniv.entinfo.net/414>
24. 이웃집과학자(<http://www.astronomer.rocks>)]