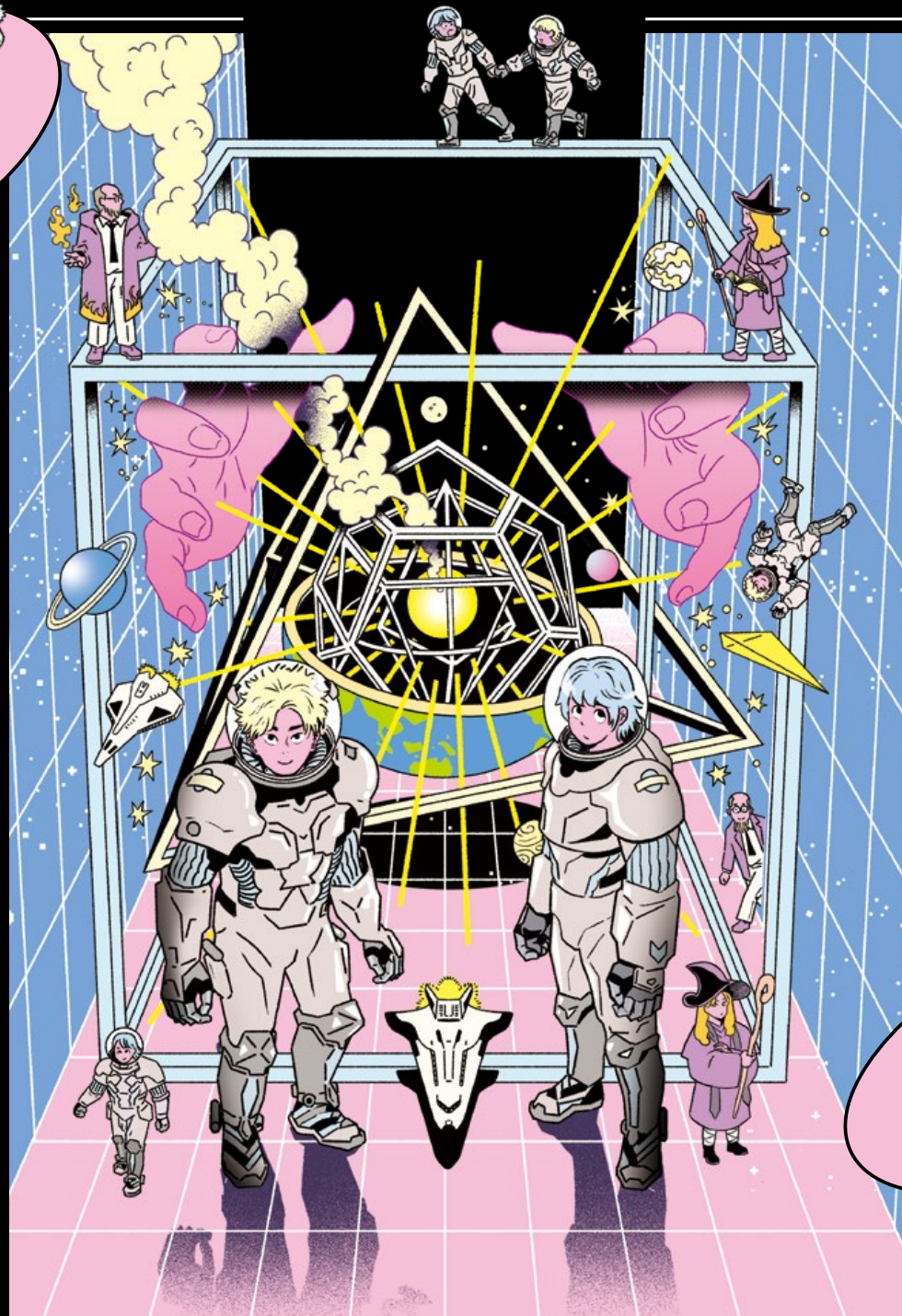


30세기 소년소녀

미래 과학과 고대 마법으로
두 세계를 구하라



『30세기 소년소녀』에 숨은 물리학 지식 찾기

고호관 지음

북트리거



초신성 폭발, 그리고...

★ 개념_ 중력, 블랙홀

★ 과목_ 중학교 과학 1 > 여러 가지 힘 > 중력

고등학교 통합과학 > 시스템과 상호작용 > 역학적 시스템 > 중력과 역학적 시스템

중력:

지구는 우리를,
우리는 지구를
끌어당기고 있다

블랙홀은 우주에서 가장 수수께끼 같은 천체일 겁니다. 이 수수께끼를 이해하려면 먼저 중력에 관해 알아야 합니다. 중력은 질량이 있는 두 물체 사이에 작용하는 인력을 말하죠. 17세기 영국의 과학자 아이작 뉴턴은 중력이 두 물체의 질량에 비례하고, 두 물체 사이의 거리의 제곱에 반비례한다는 이론을 제시했습니다. 식으로 나타내면 다음과 같습니다.

$$\text{만유인력 } F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

F : 중력의 힘(N)

m_1, m_2 : 두 물체의 질량(kg)

r : 두 물체 사이의 거리(m)

G : 중력 상수(Nm^2/kg^2)

$$G = (6.67384 \pm 0.0000080) \times 10^{-11}$$

이 식에 따르면, 물체가 무거울수록 중력이 크고 거리가 멀수록 중력이 작다는 사실을 알 수 있습니다. 우리가 지구 위에 발을 딛고 사는 것, 지구가 태양 주위를 공전하는 것 모두 중력 때문에 가능한 일입니다. 중력은 질량이 있는 모든 물체에 작용합니다. 그러니 지구가 우리를 끌어당기는 것과 마찬가지로 우리도 지구를 끌어당기고 있죠. 다만 질량의 차이가 너무 크기 때문에 우리가 일방적으로 끌려가는 것처럼 보일 뿐입니다.

블랙홀은

어떻게 생길까?

만약 질량이 매우 커서 중력이 엄청나게 크다면 어떻게 될까요? 18세기 영국의 천문학자 존 미첼은 중력이 너무 커서 빛조차도 빠져나올 수 없는 천체를 상상했습니다. 당시에는 빛이 중력의 영향을 받는다고 생각하지 못했기 때문에, 그의 가정은 별 관심을 받지 못했죠.

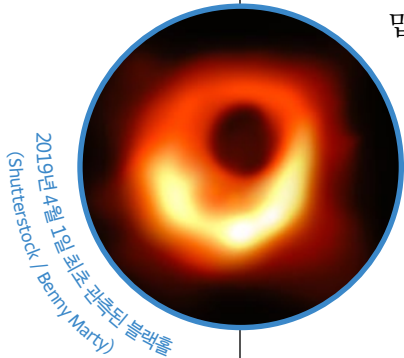
하지만 20세기 들어 알베르트 아인슈타인의 상대성이론이 나오고 나

서 그러한 천체가 과학적인 개념으로 자리를 잡기 시작했습니다. 블랙홀이라는 용어는 1967년 미국의 물리학자 존 휠러가 처음 사용한 뒤로 널리 쓰이기 시작했지요.

블랙홀은 물질의 밀도가 아주 높은 환경에서 생길 수 있습니다. 예를 들어, 고에너지 입자가 충돌할 때 아주 작은 블랙홀이 만들어질 수 있죠.

하지만 이런 작은 블랙홀은 생겨난다고 해도 금세 증발되어 사라지고 맙니다.

별이 최후를 맞이할 때도 블랙홀이 탄생할 수 있습니다. 별은 내부에서 핵융합반응을 일으켜 에너지를 만들어 냅니다. 별이 수명을 다해 더 이상 에너지를 만들지 못하면 자체 중력에 의해 수축하게 되죠. 이때 별의 질량이 충분히 크다면 엄청난 폭발을 일으키며 블랙홀이 생겨납니다.



사건의 지평선 너머

아쉽게도(?) 태양은 질량이 작아서 블랙홀이 될 수 없습니다. 태양 정도의 별은 핵융합 연료가 떨어지면 지름이 수천 킬로미터인 백색왜성이 되는 최후를 맞습니다. 질량이 태양의 1.4~3배인 별은 초신성 폭발을 일으킨 뒤 중성자별이 되고요. 중성자별은 지름이 수십 킬로미터에 불과하지만, 중력이 매우 커서 콩알만 한 물체 하나의 무게가 수억 톤에 달합니다.

그리고 중성자별보다 질량이 더 큰 별은 초신성 폭발을 일으킨 뒤 블랙홀이 됩니다. 블랙홀에는 '사건의 지평선'이라는 경계가 있는데, 이 안쪽으로 끌려 들어가면 절대 탈출할 수 없습니다. 따라서 그 안에서 무슨 일이 일어나는지를 관측할 방법은 전혀 없습니다.



너와 나의 언어가 만날 때

★ 개념- 전기 저항, 초전도

★ 과목- 중학교 과학 2 > 전기와 자기 > 전압, 전류, 저항 사이의 관계

고등학교 통합과학 > 환경과 에너지 > 발전과 신재생 에너지 > 전기에너지의 생산 / 전력 수송

전기의 효율적인 이동을 방해하는 ‘저항’

만약 전기가 없다면, 우리 생활이 얼마나 불편해질까요? 아마 우리가 알고 있는 대부분의 현대 문명이 소용없어질 겁니다. 그만큼 전기는 중요한 존재입니다.

그런데 전기를 만드는 과정에서 여러 가지 문제가 생기죠. 화력발전은 기후 위기를 일으키는 이산화탄소를 배출하고, 원자력발전은 위험한 핵 폐기물을 배출합니다. 수력을 비롯한 다른 방식에도 제각기 크고 작은 문제가 있습니다.

이런 문제를 가능한 한 줄이려면, 어렵게 만들어 낸 전기를 효율적으로 써야 하죠. 하지만 전기를 사용하는 사람이 있는 곳으로 보내는 것부터가 문제입니다. 전기가 송전선을 타고 움직이는 과정에서 어쩔 수 없이 손실이 생기니까요. 이는 전기의 흐름을 방해하는 성질인 저항 때문입니다. 아무리 전기가 잘 통하는 물질이라고 해도 저항이 0은 아닙니다.

전기 저항이 0이 되는 초전도 현상

그렇다면 전기 저항이 0인 물질이 있다면 어떨까요? 아무런 손실 없이 전기를 보내거나 저장할 수 있겠죠. 이렇게 물질의 전기 저항이 0이 되는 현상을 초전도, 그런 물질을 초전도체라고 부릅니다.

사실 소설 속 미래가 아닌 오늘날에도 이미 여러 곳에서 초전도체가 쓰이고 있습니다. 일부 지역에서는 초전도 케이블로 전기를 보내고요, 병원에서 검진할 때 사용하는 MRI도 강력한 자기장을 만들기 위해 초전도체로 만든 전자석을 사용하죠.

그러면 문제가 해결된 것 아닐까요? 그렇지 않습니다. 초전도체는 한정된 곳에서만 쓰일 수 있거든요. 바로 초전도 현상이 극저온, 즉 매우 낮은 온도에서만 일어나기 때문입니다.

〈아바타〉의
‘언옵테늄’은
실재할까?

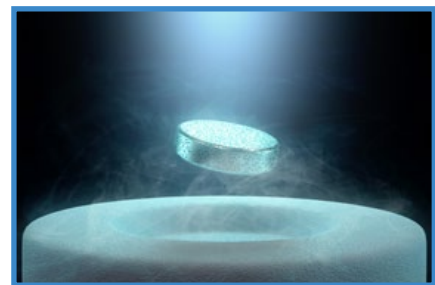
초전도 현상을 처음 발견한 건 네덜란드의 물리학자 카메를링 오너스였습니다. 오너스는 1911년 수은의 온도를 계속 낮추며 전기저항을 측정하는 실험을 하던 중, 수은의 전기저항이 0이 되는 현상을 발견했습니다.

“수은의 저항은 사실상 0이다.”

오너스는 실험 일지에 이렇게 기록했죠. 이때 수은의 온도는 영하 258.9℃였습니다. 이 발견 이후 50년 가까이 지난 1957년, 미국의 물리학자 존 바딘과 리언 쿠퍼, 존 슈리퍼는 초전도 현상을 설명하는 이론을 내놓습니다. 이들의 성(姓) 앞 글자를 하나씩 딴 BCS 이론에 따르면 초전도 현상은 영하 243.15℃ 이상에서는 일어날 수 없었습니다.

하지만 1986년, 그보다 높은 온도에서 초전도 현상을 보이는 물질이 나타났습니다. 구리-페로브스카이트계 세라믹 물질이었죠. 이를 계기로 초전도 연구가 더욱 활발해졌고, 더 높은 온도에서 초전도 현상을 보이는 물질이 계속 발견됐습니다.

현재 초전도 현상이 일어날 수 있는 가장 높은 온도는 약 영하 135℃입니다. 여전히 매우 낮은 온도죠. 우리 주변의 전자 제품이나 전선에는 초전도체를 쓸 수 없는 이유입니다.



현재는 극저온에서만 볼 수 있는 초전도 현상
(Shutterstock / ktsdesign)

그렇기 때문에 일상적인 온도에서 초전도 현상을 보이는 물질, 즉 ‘상온 초전도체’는 그야말로 세상을 혁명적으로 바꾸어 놓을 물질입니다. 어디서나 쉽게 초전도체를 사용할 수 있다면, 전기를 매우 효율적으로 사용할 수 있을 테니까요. MRI처럼 초전도체를 사용하는 기술도 지금보다 훨씬 편리하고 저렴해질 수 있습니다. 자기부상열차와 같은 차세대 교통수단도 더 널리 사용하게 될 거고요.

혹시 영화 〈아바타〉를 보셨나요? 작품 속 외계 행성 ‘판도라’에서 지구인이 탐욕스럽게 노리던 광물인 ‘언옵테늄(Unobtainium)’이 바로 상온 초전도체랍니다. 과연 어딘가에 상온 초전도체가 실제로 존재할지, 우리가 언제쯤 발견할 수 있을지는 아직 아무도 모릅니다.



초광속 통신 vs. 공간 이동 마법

★ 개념 - 광속, 천체 관측

★ 과목 - 고등학교 물리학 I > 역학과 에너지 > 시공간의 이해 > 특수상대성이론

빛의 속력을 잴 수 있을까?

빛은 매우 빠른 속력으로 움직입니다. 일상생활에서도 빛이 매우 빠르다는 것을 쉽게 느낄 수 있습니다. 예를 들어 커다란 방 안에 여러 사람이 있을 때 불을 켜거나 끄면 누구나 동시에 알아차릴 수 있죠. 만약 빛이 느리다면, 전등에 가까이 있는 사람부터 변화를 알 수 있을 겁니다. 또 빛이 가려져서 생기는 그림자를 우리에게서 절대 떼놓을 수 없는 이유도 빛이 매우 빠르기 때문이죠.

이런 경험만으로 보면 빛이 이동하는 데는 아예 시간이 걸리지 않는다고 생각하기 쉽습니다. 하지만 고대 그리스 시대부터 엠페도클레스를 필두로 여러 철학자, 과학자가 빛의 속력이 유한하다고 생각했습니다.

그중 갈릴레오 갈릴레이는 17세기에 빛의 속력을 측정하는 실험을 시도했습니다. 갈릴레이와 조수는 한밤중에 각각 램프 하나를 들고 서로 멀리 떨어진 산에 올랐습니다. 우선 두 사람은 덮개로 램프를 가려 놔다가 갈릴레이가 먼저 덮개를 들어 램프를 노출했습니다. 멀리 떨어진 곳에 있던 조수는 램프 불빛을 보고 나서 자신의 램프 덮개를 들었죠. 갈릴레이는 자신이 덮개를 든 뒤 조수의 램프 불빛이 보일 때까지의 시간을 측정해 빛의 속력을 구하려 했습니다. 물론 실패했습니다. 갈릴레이의 생각보다 빛의 속력이 훨씬 빨랐기 때문에 정확한 측정이 불가능했으니까요.

한없이 빠르고 한없이 느린 빛

얼마 뒤 덴마크의 천문학자 올레 뢰머는 목성의 위성이 목성의 그림자에 가려지는 현상을 이용해 빛의 속력을 계산했습니다. 뢰머가 계산한 속력은 약 초속 22만 킬로미터였습니다. 오늘날 우리가 알고 있는 빛의 속력은 약 초속 30만 킬로미터입니다. 이것은 진공에서 빛이 움직이는 속력으로, 빛도 물과 같은 매질 속으로 들어가면 속력이 느려집니다.

빛은 우리 인간이 보기에는 감지할 수도 없을 만큼 빠르게 움직이지만,

머나먼 천체가 우리에게 말해 주는 것

우주의 관점에서 보기에는 한없이 느립니다. 달까지 가는 데 약 1.3초, 태양까지 가는 데만 해도 약 8분 20초가 걸리니까요. 지구에서 가장 가까운 별까지는 무려 4.2년이나 걸립니다. 더 먼 다른 별이나 외부은하는 말할 것도 없죠.

우주의 거대한 크기와 광속의 한계 때문에 천체를 관측할 때 재미있는 일이 생깁니다. 천체의 현재 모습을 보기 어려워지는 것이죠. 쉽게 말하자면, 우리가 어떤 사람을 마주 본다고 할 때, 그 모습은 사실 그 사람의 현재 모습이 아닙니다. 앞에 있는 사람의 얼굴에서 출발한 빛이 우리 눈에 들어오기까지 시간이 걸리기 때문이죠. 하지만 그 시간이 워낙 짧기 때문에 우리는 거의 동시로 인식합니다.

그런데 우주로 가면 이야기가 달라집니다. 달빛이 지구에 도착하는 데 1.3초가 걸린다고 했죠? 따라서 우리가 지금 올려다보는 달의 모습은 1.3초 전의 모습입니다. 마찬가지로 우리가 보는 태양의 모습은 8분 20초 전의 모습입니다. 더 멀리 있는 천체를 관측할수록 우리는 그만큼 더 과거의 모습을 보게 됩니다.

우주에서는 미터나 킬로미터 단위가 너무 작기 때문에 흔히 ‘광년’이라는 단위를 많이 사용합니다. 광년은 빛이 1년 동안 움직이는 거리를 뜻합니다. ‘연’이 붙어 있지만, 실제로는 시간이 아니라 거리를 나타내는 단위죠. 예를 들어 우리가 10광년 떨어져 있는 천체를 관측한다는 건 그 천체의 10년 전의 모습을 보는 것과 같습니다. 10억 광년 떨어져 있는 천체 관측은 10억 년 전의 모습을 보는 것이고요.

따라서 10억 광년 떨어진 천체에 현재 무슨 일이 벌어지고 있는지를 관찰하려면 우리는 앞으로 10억 년을 기다려야 합니다. 반대로 우리는 과거를 관측할 수 있습니다. 천문학자들은 과거 우주의 모습을 알아내기 위해 아주 먼 천체를 관측합니다. 먼 천체일수록 우주 초기의 모습을 보여주고 있으니까요.

현재 우리는 우주가 태어난 지 약 4억 년 뒤에 존재했던 천체의 모습까지 관측하는 데 성공했습니다. 그리고 지금도 제임스웹 우주망원경과 앞으로 만들어질 거대 망원경처럼 성능이 뛰어난 망원경을 이용해 더 먼 천체를 관측하려는 노력을 계속하고 있습니다.



제임스웹 우주망원경
(Wikimedia / NASA)



신성처럼 나타난 스타 과학자

★ 개념_ 케플러, 태양계, 행성운동 법칙

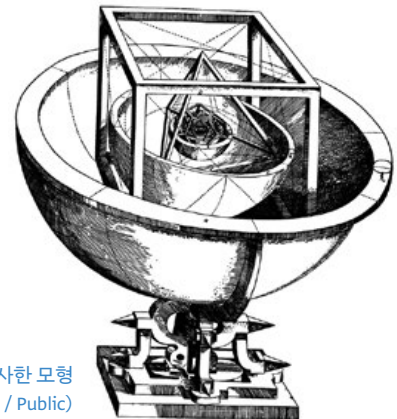
★ 과목_ 중학교 과학 2 > 태양계 > 태양계를 구성하는 행성

고등학교 물리학 II > 역학적 상호작용 > 중력과 에너지 > 케플러법칙과 뉴턴 중력 법칙

요하네스 케플러

요하네스 케플러는 16~17세기에 살았던 독일의 천문학자이자 수학자입니다. 어려서는 몸이 약했지만, 영리하고 수학에 뛰어난 재능을 보였습니다. 당시 유럽에서는 태양이 지구 주위를 돈다는 천동설과 지구가 태양 주위를 돈다는 지동설이 대립하고 있었는데, 케플러는 두 가지를 모두 배운 뒤에 지동설이 옳다고 생각했습니다.

또한 그는 우주의 구조는 수학과 밀접한 관계가 있다고 생각했습니다. 다섯 개의 정다면체(정팔면체, 정이십면체, 정십이면체, 정사면체, 정육면체)가 순서대로 안에서부터 바깥쪽으로 겹을 이루며 구와 내접하고 외접한다는 사실을 알아냈는데, 이 여섯 개의 천구가 당시에 알려져 있던 여섯 행성(수성, 금성, 지구, 화성, 목성, 토성)에 대응된다고 본 겁니다.



케플러가 태양계를 묘사한 모형
(Wikimedia / Public)

망원경의 발명가이자 소설가

갈릴레오가 망원경을 만들어 천체 관측을 시작하자 케플러도 망원경에 대한 이론적 연구를 시작했습니다. 그리고 볼록렌즈 두 개를 이용해 갈릴레오의 볼록-오목렌즈 망원경보다 더 성능이 뛰어난 망원경을 만들었죠. 지금도 이런 망원경을 케플러식 망원경이라고 부릅니다.

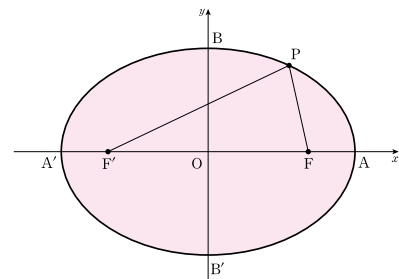
한편 케플러는 ‘꿈 [Somnium](#)’이라는 제목의 과학소설을 쓰기도 했습니다. 어떤 사람이 마법의 힘으로 달에 가면서 겪는 이야기인데, 흥미보다는 학문적인 목적이 더 강한 소설입니다.

케플러의 행성운동 법칙

케플러의 대표적인 업적으로는 행성운동 법칙이 있습니다. 태양계 행성의 움직임을 관측한 자료를 바탕으로 행성이 움직이는 원리를 밝힌 것이죠. 행성운동 법칙은 다음과 같습니다.

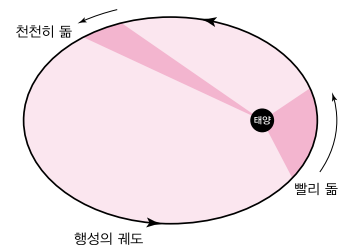
1. 타원궤도의 법칙

행성은 태양을 한 초점으로 하는 타원궤도를 그리며 공전합니다. 타원은 살짝 찌그러진 원이라고 할 수 있는데, 수학적으로 정의하면 ‘두 초점(F' 와 F)으로부터 거리의 합($\overline{F'P} + \overline{FP}$)이 일정한 점(P)의 집합’이 됩니다. 태양이 이 두 초점 중 한 곳에 위치한다는 뜻이죠.



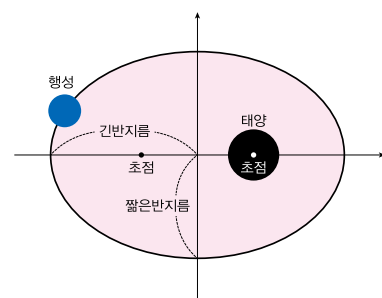
2. 면적속도 일정의 법칙

행성과 태양을 연결하는 선분이 같은 시간 동안 쓸고 지나가는 면적은 항상 같습니다. 아래 그림에서 볼 수 있듯이 행성은 태양으로부터 멀 때는 천천히 움직이고, 가까울 때는 빠르게 움직입니다. 그러나 이 빠르기와 상관없이, 태양과 행성을 잇는 선분이 쓸고 지나가는 면적은 같다는 뜻입니다.



3. 조화의 법칙

행성의 공전주기의 제곱은 궤도의 긴반지름의 세제곱에 비례합니다. 타원은 찌그러져 있기 때문에 짧은반지름과 긴반지름이 있는데요. 이 중 긴반지름의 세제곱과 행성의 공전주기(행성이 태양의 둘레를 한 바퀴 도는데 걸리는 시간)의 제곱이 비례한다는 법칙입니다.





추격자들

★ 개념_ 관성, 가속도, 뉴턴의 운동 법칙

★ 과목_ 고등학교 통합과학 > 시스템과 상호작용 > 역학적 시스템 > 중력과 역학적 시스템
고등학교 물리학 I > 역학과 에너지 > 힘과 운동

관성의 법칙

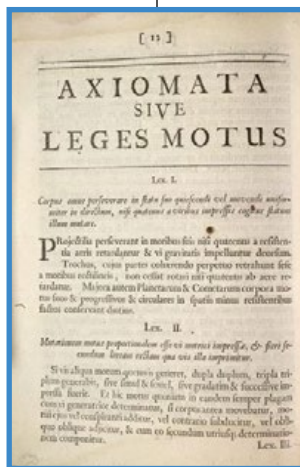
아이작 뉴턴은 물체의 운동에 관한 세 가지 법칙을 찾아냈습니다. 이 세 법칙은 상대성이론과 양자역학이 등장하기 전까지 자연의 현상을 설명했던 고전역학의 바탕이 되었습니다. 그래서 고전역학은 흔히 뉴턴역학이라고도 부릅니다.

“외부에서 힘을 가하지 않으면 물체는 일정한 속도로 움직인다.”

자동차가 급정거하면 타고 있던 사람들의 몸은 앞으로 쏠립니다. 반대로 갑자기 출발하면 승객의 몸은 뒤로 젖혀집니다. 이런 일이 일어나는 건 바로 관성 때문입니다. 외부의 힘이 작용하지 않는 한 움직이는 물체는 계속 그대로 움직이려고 하고, 가만히 있는 물체는 계속 가만히 있으려고 하는 성질이죠.

우리가 공을 던질 수 있는 것도 관성 때문입니다. 우리의 손을 떠난 공은 떠나기 직전과 같은 속도로 계속 날아가려고 합니다. 하지만 지구의 중력과 공기의 마찰 때문에 계속 날아가지 못하고 땅에 떨어지는 것이죠.

만약 우주 공간에서라면 우리의 손을 떠난 공은 계속 같은 속도로 날아가게 되겠죠. 우주선도 마찬가지입니다. 어느 한 방향으로 가속한 뒤 가속을 멈추면 우주선은 다른 방향으로 가속하기 전까지 계속 같은 방향과 속력으로 날아갑니다.



1687년판 『자연철학의 수학적 원리(프린키피아)』에 나와 있는 뉴턴의 제1,2법칙

가속도의 법칙

**“물체의 가속도는 물체에 작용하는 힘에 비례하고,
물체의 질량에 반비례한다.”**

가속도는 속도의 변화량을 말합니다. 1초 동안 한 방향으로 5m를 움직일 때 속도를 5m/s라고 하는 것처럼, 1초 동안 속도가 5m/s에서 7m/s로 변하면 가속도는 2m/s²이 됩니다. 아무런 힘을 받지 않은 물체는 관성의 법칙에 따라 속도가 변하지 않습니다. 힘이 작용하면 비로소 속도가 변하는데 그 변하는 정도, 즉 가속도는 작용한 힘의 크기에 비례합니다. 식으로 나타내면 다음과 같습니다.

$$F = ma$$

(F 는 힘, m 은 물체의 질량, a 는 물체의 가속도)

똑같은 힘을 가해도 물체가 무거우면, 즉 물체의 질량이 크면 가속도가 작고, 물체가 가벼우면, 즉 물체의 질량이 작으면 가속도가 큼니다. 그래서 무거운 물체를 움직이려면 그만큼 큰 힘이 필요한 거죠.

작용과 반작용의 법칙

**“물체 A가 물체 B에 힘을 가하면, 동시에 물체 B는
물체 A에 크기는 같고 방향은 반대인 힘을 가한다.”**

아주 미끄러운 얼음판 위에 두 사람이 서서 한 사람이 다른 한 사람을 민다고 생각해 보세요. 밀린 사람만 뒤로 미끄러질까요? 아닙니다. 민 사람도 뒤로 미끄러집니다. 작용과 반작용의 법칙에 따라 민 사람도 동시에 반대 방향으로 밀리는 힘을 받기 때문입니다.

이때 두 사람이 받는 힘은 같습니다. 그러면 가속도의 법칙에 따라 가벼운 사람의 가속도가 더 크겠죠? 따라서 둘 중 가벼운 사람은 더 빨리 밀려나고 무거운 사람은 더 천천히 밀려나게 됩니다.

작용과 반작용의 법칙은 로켓과 우주선이 움직이는 기본 원리이기도 합니다. 로켓은 연료를 태워 가스를 뒤쪽으로 강하게 분사하고, 그 반작용으로 위쪽을 향해 움직입니다. 우주선도 가스나 이온 따위를 내뿜으며 원하는 방향으로 움직이죠.



만능 수리공과 구식 로봇 삼총사

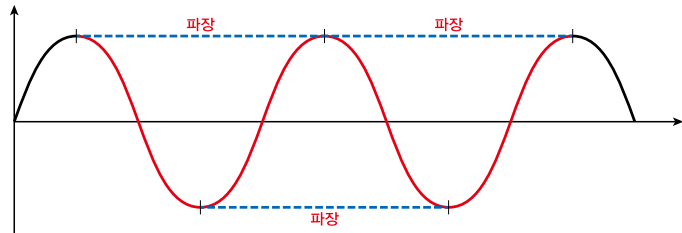
★ 개념- 빛, 파동, 파장, 스펙트럼

★ 과목- 고등학교 통합과학 > 물질과 규칙성 > 물질의 규칙성과 결합 > 우주 초기에 만들어진 원소
고등학교 물리학 I > 파동과 정보통신 > 파동의 성질과 활용

우리가 볼 수 있는 빛, 가시광선

빛이라고 하면 우리는 흔히 태양 빛이나 실내를 밝히는 전등을 떠올립니다. 그런데 실제로 빛의 범위는 그보다 훨씬 더 큼니다. 과학에서 빛은 모든 영역의 전자기파를 의미하기 때문입니다. 우리가 눈으로 볼 수 있는 빛, 즉 가시광선은 전체 빛의 아주 일부분에 불과하죠.

빛이 전자기파라는 것은 곧 ‘파동’이라는 뜻입니다. 파동의 한 주기가 갖는 길이를 ‘파장’이라고 하고, 빛은 어떤 파장을 갖느냐에 따라 그 성질이 달라집니다.



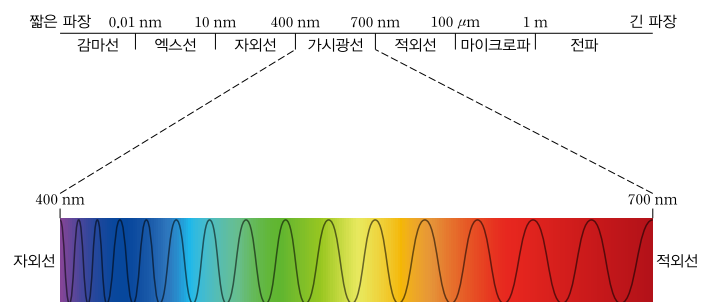
가시광선 안에서만 보면 파장이 색으로 구분됩니다. 빨주노초파남보 무지개빛 중에서 빨간색으로 갈수록 파장이 더 길죠. 우리 눈은 파장이 630~750nm(나노미터, 10억 분의 1m)인 빛을 빨간색으로 인식하고, 파장이 380~450nm인 빛을 보라색으로 인식합니다.

길고 짧은 파장의 세계

우리 눈에 보이지는 않지만, 가시광선 바깥쪽에도 다양한 빛이 있습니다. 먼저 파장이 긴 쪽으로 가 볼까요? 빨간색 가시광선 너머에는 적외선이 있습니다. 눈으로는 적외선을 볼 수 없지만, 피부로는 따뜻한 느낌을 받을 수 있습니다. 혹시 병원에서 물리치료를 받은 적이 있다면 경험해 봤

을지 모릅니다. 적외선을 감지하는 장치를 이용하면 어두운 곳에서 열을 내는 물체를 볼 수도 있습니다.

적외선보다 더 파장이 긴 쪽으로 가면 마이크로파가 있습니다. 보통 파장이 1mm~10cm이며, 텔레비전과 스마트폰을 비롯한 통신 기기, 전자레인지 등에 쓰입니다. 마이크로파보다 더 긴 전자기파는 전파입니다. 전파도 라디오와 텔레비전 등의 통신 기기에 널리 쓰이죠. 우주에서 날아오는 전파를 관측하기도 하고요.



반대로 파장이 짧은 쪽으로 가 보겠습니다. 파장이 짧아질수록 빛은 에너지가 강해집니다. 가시광선의 보라색 너머에는 자외선이 있는데요, 피부를 검게 태우는 빛으로 잘 알려져 있죠. 우리는 자외선을 볼 수 없지만, 몇몇 곤충과 새는 자외선 영역의 빛을 볼 수 있다고 합니다.

자외선보다 파장이 더 짧은 빛은 엑스선입니다. 에너지가 강하다 보니 물질을 그대로 뚫고 지나갑니다. 이 원리를 이용해 의료와 산업 분야에 널리 쓰입니다. 우리 몸의 관절이나 근육, 장기 등을 살펴봐야 할 때 엑스레이를 찍는 것처럼요. 엑스선보다도 파장이 더 짧은 감마선은 에너지가 더욱 강합니다. 세균이나 암세포를 죽일 수 있기 때문에 살균이나 암 치료에 쓰이죠. 그러나 엑스선과 감마선은 우리 몸의 DNA를 손상시키거나 세포를 파괴할 만큼 강하기 때문에, 직접 쏘이지 않도록 주의해야 합니다.



30세기 시위대

★ 개념- 레이저

★ 과목- 고등학교 물리학 I > 파동과 정보통신 > 파동의 성질과 활용 > 파동의 간섭

고등학교 물리학 II > 파동과 물질의 성질 > 전자기파의 성질과 이용 > 전자기파의 간섭과 회절

한 가지 파장의 빛을 압축한 레이저

어렸을 때 돋보기로 태양 빛을 모아서 검은 종이를 태워 본 적이 아마 한 번씩은 있을 겁니다. 그냥은 따뜻하고 포근한 태양 빛인데 한 점에 모으면 그렇게 강력한 위력을 발휘합니다. 손바닥만 한 돋보기 넓이에 닿는 태양 빛을 모아도 그 정도인데, 만약 돋보기가 훨씬 더 크다면 빛도 더 강해지겠죠?

돋보기와 원리가 다르지만, 빛을 이렇게 집중적으로 모아서 활용하는 대표적인 예가 바로 레이저입니다. 교실에서 프레젠테이션을 할 때 쓰는 레이저 포인터나 바코드 리더, 레이저 프린터, 공연장의 조명 등 여러 곳에서 레이저를 볼 수 있습니다. 레이저는 사방으로 퍼지는 전등 불빛과 달리 가늘게 뭉쳐 있죠? 그래서 레이저 포인터처럼 원하는 방향을 정확히 가리킬 수 있는 겁니다.

그리고 전등에서 나오는 불빛은 여러 파장의 빛이 섞여 있어서 하얗게 보이지만, 우리가 흔히 보는 레이저는 한 파장의 빛으로 이루어져 있어서 빨강이나 녹색 등 단색으로 보입니다. 이 색은 레이저를 만드는 데 쓰이는 물질에 따라서 달라집니다.

라식 수술에서 군사 무기까지

레이저는 산업, 의료, 군사, 과학 등 여러 가지 분야에서 쓰이고 있죠. 레이저는 빛이 좁은 영역에 모인 광선이기 때문에 큰 에너지를 발휘할 수 있습니다. 이런 성질을 이용해 물체를 정밀하고 깔끔하게 자르거나 용접하는 용도로 쓸 수 있습니다. 병원에서도 라식 수술이나 피부 치료에 레이저를 활용하죠.

흔히 레이저 하면 레이저 총처럼 SF에 등장하는 무기가 떠오르죠? 실제로도 레이저를 무기에 이용합니다. 총 자체가 아니더라도 유도 장치나 거리 측정, 조준 보조 등의 군사적 용도로 다양하게 쓰이고 있죠.

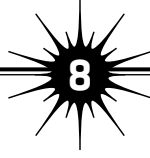
별빛부터 중력과 관측까지

한편, 과학자도 레이저를 다양하게 활용합니다. 예를 들어, 천문대에서 밤하늘로 레이저를 쏘아 올리는 장면을 본 적이 있나요? 원래 별빛은 대기를 통과하는 도중 산란되어 흔들립니다. 이대로 사진을 찍으면 별이 선명하게 나오지 않죠. 이때 레이저를 쏘아서 대기의 산란을 알아낸 뒤 거꾸로 보정해 선명한 상을 얻을 수 있습니다. 레이저를 기준 삼아 빛의 왜곡을 잡아내, 대기에 의해 산란된 빛을 수정하는 것이죠.

스페인 테네리페의
테이데 천문대에서 레이저를
쏘아올리는 모습
(Shutterstock / carlos martin diaz)



레이저는 ‘레이저 간섭계’라는 거대한 장치를 통해 중력파를 검출하는데도 쓰입니다. 중력파는 움직이는 물체에 의해 시공간에 생겨난 요동이 물결처럼 전달되는 현상입니다. 아인슈타인의 일반상대성이론에 따르면 질량이 있는 물체는 시공간을 휘어지게 합니다. 물체가 움직이면 그에 따라 시공간의 휘어짐이 바뀌면서 파동이 되어 퍼져 나가는 게 바로 중력파죠.



블랙 유니버스

★ 개념- 암흑물질, 암흑에너지

★ 과목- 중학교 과학 3 > 별과 우주 > 은하와 우주

고등학교 지구과학 I > 외부 은하와 우주 팽창 > 암흑물질과 암흑에너지

암흑물질

우주는 수수께끼로 가득 차 있습니다. 이건 단순한 비유가 아닙니다. 우리가 알고 있는 물질이 우주 전체에서 차지하는 비중은 약 5%에 불과합니다. 지구를 비롯해 태양계의 모든 행성과 태양, 나아가 수많은 별과 은하를 모두 합쳐 봤자 전체 우주의 5%밖에 안 된다는 소리죠. 그러면 나머지 95%는 무엇일까요?

암흑물질은 아직 정체가 밝혀지지 않았지만 적어도 그것이 존재한다는 것은 중력을 통해 알 수 있습니다. 은하에 속한 별들은 은하 중심을 공전합니다. 별들이 공전하는 속도를 측정해 보니 가장자리에 있는 별들의 공전 속도가 생각보다 빨랐습니다. 그 정도 속도라면 밖으로 튕겨 나갔어야 했죠. 그런데 어떻게 그러지 않았을까요? 바로 은하의 중력 덕이었습니다. 그런데 눈에 보이는 은하의 물질만으로는 그런 중력을 설명할 수 없었죠. 그래서 눈에 보이지 않는 정체불명의 물질이 있다는 추측이 힘을 얻게 되었습니다. 이것이 바로 암흑물질입니다.

많은 과학자가 암흑물질의 정체를 밝히기 위해 노력하고 있지만, 아직 누구도 알아내지 못했습니다. 중력을 통해 뭔가 있다고 짐작할 수 있을 뿐, 빛을 비롯한 어떤 수단으로도 관측할 수 없기 때문입니다. 우리가 관측할 수 없는 블랙홀이나 작고 어두운 천체 등이 암흑 물질일지 모른다는 추측도 있지만, 우리가 모르는 아예 새로운 물질일 수도 있습니다.



아주 먼 천체의 빛이 중간의 거대한 천체에 의해 휘어져 보이는 중력렌즈효과. 암흑물질의 존재를 암시한다.
(Wikimedia / WNASA_STScI_ESA)

암흑에너지

그렇다 보니 암흑물질의 존재를 부정하는 이론도 있습니다. 예를 들어, 수정 뉴턴 역학은 우리가 알고 있는 중력 법칙에 틀린 점이 있다고 주장하는 이론입니다. 지금의 중력 법칙이 작은 범위에서는 옳지만, 은하 같은 거대한 규모에서는 오류가 있어 이를 수정해야 한다는 거죠.

어떤 이론이 맞을지는 아직 알 수 없습니다. 하지만 암흑물질이 존재한다고 가정한다면, 현재의 계산으로 그것은 전체 우주의 약 27%를 차지하고 있습니다.

질량이 있는 모든 물질에는 중력이 작용합니다. 우리가 아는 물질뿐 아니라 암흑물질도 마찬가지입니다. 우주는 빅뱅 이후로 계속 팽창하고 있지만, 물질이 서로 끌어당기는 중력이 작용하면 서서히 팽창 속도가 느려져야 합니다. 과학자들도 그렇게 생각했죠.

그런데 우주의 팽창 속도를 측정한 결과, 놀라운 사실이 드러났습니다. 우주의 팽창 속도가 점점 빨라지고 있었던 겁니다. 과학자들은 이 수수께끼 같은 현상을 설명하기 위해 가상의 에너지를 도입하고, 그것을 암흑에너지라 불렀습니다. 암흑에너지는 중력과 반대로 서로 밀어내는 척력을 발휘한다는 거죠.

암흑에너지 역시 그 정체는 수수께끼입니다. 암흑물질과 마찬가지로 암흑에너지가 존재하지 않는다고 주장하는 사람도 있습니다. 우주가 점점 빨리 팽창하는 현상을 암흑에너지 대신 다른 방법으로 설명할 수 있다는 거죠. 혹은 우주가 점점 팽창한다는 관측 자체가 아예 틀렸다는 주장도 있습니다.

암흑에너지가 차지하는 비중은 전체 우주의 약 68%입니다. 전체 우주의 3분의 2의 정체에 관해 우리는 아무것도 모르는 셈입니다. 암흑물질과 암흑 에너지를 합하면 전체의 95%가 됩니다. 사실상 우주의 대부분에 관해 아는 게 없다는 사실은 우리 인간이 얼마나 미약한 존재인지를 다시금 깨닫게 해 줍니다.



시간이 천천히 흐르는 우주선

★ 개념- 특수상대성이론, 중력과

★ 과목- 고등학교 물리학 I > 역학과 에너지 > 시공간의 이해 > 특수상대성이론

고등학교 물리학 I > 파동과 정보통신 > 파동의 성질과 활용 > 파동의 간섭

고등학교 물리학 II > 역학적 상호작용 > 중력과 에너지 > 등가 원리

특수상대성이론

1905년 아인슈타인이 발표한 특수상대성이론은 세상에 대한 우리의 인식을 크게 바꾸어 놓았습니다. 그중 하나는 빛의 속력이 일정하다는 것입니다.

고전역학에서는 움직이는 물체와 관측자 간의 상대적인 속도를 구할 수 있습니다. 예를 들어, 시속 30km로 달리는 차에 탄 사람이 시속 10km로 공을 앞을 향해 던진다면 땅에 서 있는 사람이 보기에 공은 시속 40km로 날아갈 겁니다. 반대로 뒤를 향해 시속 10km로 던진다면, 땅에 서 있는 사람이 보기에 공은 시속 20km로 날아갑니다.

그런데 특수상대성이론은 빛의 속력이 항상 일정하다는 가정에서 출발합니다. 시속 100km로 움직이는 자동차에서 앞을 향해 빛을 쏜다고 해도 빛의 속력에는 변화가 없습니다. 빛은 원래 속력에서 조금도 빨라지지 않습니다. 그 대신, 빛의 속력에 가깝게 움직일수록 기묘한 현상이 일어나게 됩니다. 그중 하나가 동시성이 깨진다는 것입니다.

예를 들어 살펴보겠습니다. 빠른 속도로 움직이는 버스가 있고, 그 한 가운데 전등이 있습니다. 전등이 켜지면 전등에서 나온 빛이 버스의 앞과 뒤를 향해 움직입니다. 만약 버스 안에 있는 사람이 본다면 전등 불빛은 버스의 앞과 뒤에 동시에 도착합니다.

하지만 버스 밖에 있는 사람이 보기에 빛은 버스 뒤편에 먼저 도착합니다. 왜냐하면 버스가 앞으로 움직이고 있기 때문입니다. 버스 앞편은 빛으로부터 멀어지고 있기 때문에 더 나중에 빛이 도착합니다. 이렇게 관찰자의 관점에 따라 똑같은 사건이 동시로 보이기도 하고 아니기도 합니다.

시간 팽창

이를 바탕으로 설명할 수 있는 현상이 시간 팽창입니다. 시간 팽창은 빠른 속도로 움직이는 물체의 시간이 느리게 흐르는 것으로 보이는 현상

입니다. 예를 들어 광속의 87%로 움직이는 우주선에서는 시간이 외부의 절반 정도만 흐릅니다. 만약 외부에서 두 시간이 지났다면 우주선 안에서는 한 시간만 지나는 거죠. 우주선의 속력이 빨라질수록 이 효과도 커집니다. 이론대로라면 우주선의 속력에 따라 외부에서는 수십 년이 지났지만, 우주선 안에서는 며칠만 지나는 상황이 생길 수도 있습니다.

특수상대성이론에 따른 시간 팽창을 일상생활에서 경험하는 것은 사실상 불가능합니다. 우리가 현재 낼 수 있는 속력으로는 그 효과가 너무 미미하기 때문입니다. 과학자들은 제트 비행기에 매우 정확한 원자시계를 싣고 실험한 결과, 10억 분의 수십 초 정도로 시간이 느리게 흐른 사실을 밝혀 특수상대성이론을 증명하기도 했습니다. 다시 말해 우리가 체감하기는 불가능한 수준이죠.

중력파

우주에서 블랙홀이 충돌하는 것과 같은 사건이 일어나면 큰 중력파가 발생합니다. 이 중력파는 지구를 지나가면서 시공간을 변형시키는데요, 이때 레이저를 이용해 공간의 크기에 변화가 생기는지 확인합니다.

7장에서 잠시 언급한 것처럼, 중력파는 1916년 아인슈타인의 일반상대성이론에서 처음 예측됐지만, 그로부터 100년 후인 2016년에야 실제로 검출됐습니다. 시공간 자체가 물결치는 것이기 때문에 우리는 중력파를 느낄 수 없습니다. 또한 중력파는 매우 약해서 아주 정밀한 검출기가 필요했죠. 그래서 찾아낸 방법이 바로 레이저 간섭계를 이용하는 것이었고요.

최초로 중력파를 검출해 낸 레이저 간섭계 중력파 관측소, 일명 ‘라이고’(LIGO, Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory)는 길이 4km의 두 터널이 직각으로 붙어 있는 모습입니다. 각 터널의 끝에는 거울이 있습니다. 레이저를 두 터널에 동시에 쏘면 거울에 반사되어 돌아오는데, 레이저가 돌아오는 시간을 이용해 거리를 측정합니다. 만약 중력파

가 지나간다면 공간이 변하면서 두 터널의 길이가 서로 달라집니다. 중력파 검출기의 민감도는 매우 높아서, 태양 반지름이 수소 원자 크기만큼 바뀌는 것도 알아낼 수 있는 수준입니다.



미국 워싱턴주 핸포드에 있는 레이저 간섭계 중력파 관측소
(Wikimedia / Public)

레이저 문양의 비밀

★ 개념- 양자역학

★ 과목- 고등학교 물리학 II > 파동과 물질의 성질 > 빛과 물질의 이중성

아주 작은 세계의 확률 언어

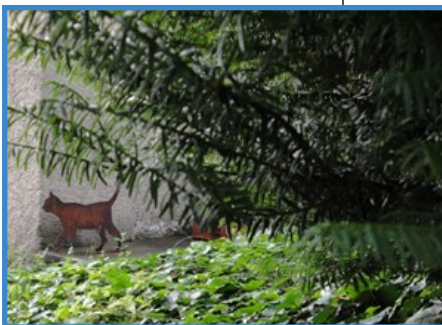
양자역학은 원자, 전자 같은 아주 작은 세계의 현상을 연구하는 물리학의 한 분야입니다. 19세기 후반부터 전자처럼 아주 작은 입자에 관해 연구하기 시작하면서 고전역학으로 설명할 수 없는 현상이 많이 나타났습니다. 이런 문제를 해결하기 위해 새로운 분야의 학문이 필요했고, 그에 따라 생겨난 것이 양자역학입니다. 자세히 설명하자면 어렵지만, 양자역학이 고전역학을 포함하는 더 큰 이론이라고 생각할 수 있습니다.

양자역학에 관한 이야기를 읽다 보면, 흔히 접할 수 있는 단어가 확률입니다. 예를 들어, 원자의 구조를 설명할 때 예전에는 ‘전자가 원자핵 주위를 돌고 있다’는 표현을 쓰곤 했습니다. 하지만 양자역학이 발전하면서 ‘전자가 원자핵 주위에 확률적으로 분포한다’는 사실이 밝혀졌습니다. 좀 쉽게 표현하면, 전자의 위치를 확률로만 나타낼 수 있다는 거죠.

양자역학과 관련해 대중적으로 가장 널리 알려진 사고실험은 ‘슈뢰딩거의 고양이’일 겁니다. 대략적인 내용은 다음과 같습니다.

“속을 전혀 볼 수 없는 상자 안에 고양이와 청산가리가 담긴 병이 들어 있다. 청산가리 위에 망치가 있고, 망치는 방사선 검출기와 연결되어 있다. 방사선 검출기 옆에는 1시간에 50%의 확률로 붕괴해 방사선을 방출하는 입자가 있다. 방사선 검출기가 방사선을 검출하면, 망치가 청산가리 병을 깨뜨려 고양이는 죽는다. 이때 1시간 뒤 고양이는 어떤 상태일까?”

양자역학의 한 이론에 따르면 우리가 상자를 열어서 보기 전까지는 입자가 붕괴한 상태와 붕괴하지 않은 상태가 ‘중첩’되어 있다고 합니다. 어느 한 상태로 정해진 게 아니라 두 상태가 서로 겹쳐 있다는 소리죠. 그에 따르면, 고양이는 죽은 것도 산 것도 아닌 상태가 됩니다. 상자를 열어서 볼 때에야 비로소 둘 중 한 상태로 결정된다는 겁니다.



슈뢰딩거가 살았던 집 정원에 있는
고양이 모형. 빛에 따라 보였다가
사라졌다가 한다.
(Wikimedia / Public)

소설이나 영화 속 양자역학은 진짜일까?

원래 슈뢰딩거의 고양이는 양자역학을 비판하기 위한 사고실험이었습니다. 고양이가 산 것도 아니고 죽은 것도 아닌 상태가 되는 게 말이 안 된다는 거였죠. 하지만 이런 해석은 흥미로운 상상을 불러일으켰고, 양자역학은 많은 소설이나 영화의 소재가 되었습니다.

대표적으로 오스트레일리아의 SF작가 그레그 이진이 쓴 『퀵턴』은 수많은 세상이 슈뢰딩거의 고양이처럼 중첩되어 있으며, 관측에 따라 하나의 현실로 수축하게 된다는 이론을 바탕으로 쓴 소설입니다. 이 작품은 비교적 과학에 충실한 하드SF로 불리죠. 하지만 여기서 더 나아가 온갖 창작물에서 양자역학은 마치 마법의 도구처럼 쓰입니다. 마블의 슈퍼히어로 영화에서도 양자역학을 이용해 시간 여행을 하거나 다른 차원의 세계로 떠나기도 하죠.

하지만 사실 양자역학은 일반인이 이해하기 쉽지 않고 아무리 설명을 들어도 알쏭달쏭한 학문입니다. 소설이나 영화는 재미있지만 틀린 개념을 사용하거나 심지어는 완전히 엉터리인 이론을 들먹이는 경우가 많아 양자역학을 배우기에 썩 좋지는 않습니다. 양자역학에 관해 알고 싶다면, 고등학교 교과서에 나오는 기초 개념부터 찬찬히 익히는 게 좋습니다.

미시 세계를 다루는 양자역학은 매우 신비로워 보이지만, 실생활에서도 충분히 찾아볼 수 있습니다. 현대 문명의 기반인 반도체를 만들 때도 양자역학 원리가 쓰이며, 기존 컴퓨터보다 훨씬 뛰어나다고 하는 양자컴퓨터 연구도 활발하게 이루어지고 있습니다.



가만있으면 이 세계는 끝장이야

★ 개념- 자석, 자기장, 전기장

★ 과목- 중학교 과학 2 > 전기와 자기 > 전류의 자기 작용 / 고등학교 물리학 I > 물질과 전자기장 > 물질의 자성과 전자기 유도 / 고등학교 물리학 II > 전자기장

우리가 살고 있는 거대한 자석

자석을 처음 봤을 때를 기억하나요? 가까이 가지만 하면 서로 달라붙거나 밀어내는 게 굉장히 신기했던 기억이 납니다. 언뜻 보아서는 마법처럼 보이는데, 실제로 마술사들도 여러 가지 트릭에 자석을 사용하죠. 자석은 자연에도 존재하기 때문에 오래전부터 사람들에게 알려져 있었습니

다. 웬 돌덩이에 쇠붙이가 달라붙으니 정말 깜짝 놀라지 않을 수 없었겠죠.

자석에는 두 극이 있고 각각 N극과 S극이라고 부릅니다. 같은 극끼리는 서로 밀어 내고 다른 극끼리는 서로 끌어당기는 성질이 있죠. 우리가 살고 있는 지구 자체도 북극이 S극이고 남극이 N극인 거대한 자석입니다. 그래서 나침반의 N극이 북극을 향하고 S극이 남쪽을 향하는 것입니다.

자석에 잘 붙는 물질을 ‘강(強)자성체’라고 부릅니다. 철과 니켈 같은 금속이 여기에 속합니다. 붙기는 하지만 약하게 붙는 물질은 ‘상(常)자성체’라고 합니다. 알루미늄이나 마그네슘 등이 상자성체입니다. 반대로 자석을 약하게 밀어내는 물질도 있습니다. 이런 물질을 ‘반(反)자성체’라고 하며, 구리, 금, 물 등이 있습니다.

자기장과 전기장

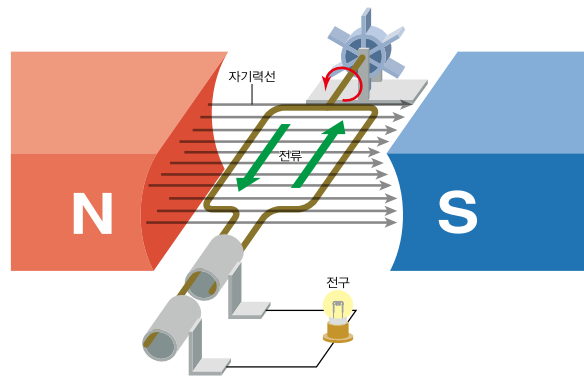
자석 주위에는 자기장이 존재합니다. 자기장은 눈에 안 보이지만 확인할 수 있는 방법이 있습니다. 자석 주변에 미세한 철가루를 뿌리면 철가루가 자기장에 따라 줄지어 늘어서는 모습을 볼 수 있습니다.

자기장은 전기장과 밀접한 관련이 있습니다. 그래서 자석으로 전기를 만들 수도 있고, 전기를 흘려 자석을 만들 수도 있습니다. 전자가 발전기이고, 후자가 전자석입니다.

자기장 안에 전선이 있을 때 자기장에 변화가 생기면 전선에 전기가 흐릅니다. 전선이 자기장 안에서 움직여도 같은 효과가 생기구요. 이런 현상

을 전자기유도라고 합니다. 19세기에 영국의 물리학자 마이클 패러데이가 발견하고 제임스 맥스웰이 수학적으로 설명해 냈죠.

우리 생활에 필요한 전기를 만드는 발전기는 이 원리를 이용합니다. 수력발전은 높은 곳에서 떨어지는 물의 힘으로, 화력이나 원자력은 물을 끓여서 나오는 증기의 힘으로 터빈을 돌립니다. 터빈에는 코일이 감겨 있고, 여기에 자기장을 만들어 주면 코일이 빠르게 돌아가면서 전자기유도 원리에 따라 전기가 발생하죠.



전자석은 이와 반대입니다. 전선을 코일로 감은 뒤 여기에 전기를 흘려 주면 코일 주위에 자기장이 생깁니다. 전자석은 영구자석과 달리 전기가 끊기면 자성이 사라집니다. 폐차장에서 자동차를 들어 올리는 장치나 자동으로 문을 잠그는 장치 등에 전자석이 쓰입니다.

전자석의 세기는 흐르는 전류의 양과 전선의 굵기, 전선이 감긴 횟수에 비례합니다. 그래서 매우 강한 전류를 흘릴 수 있는 초전도체(2장 참조)를 이용하면 대단히 강한 전자석을 만들 수 있습니다. 다만 초전도 현상은 영하 135℃ 아래의 극저온에서만 일어날 수 있기 때문에 액체 헬륨과 같은 물질이 필요해 유지비가 비쌉니다. 이런 초전도 전자석은 병원에서 사용하는 자기공명영상장치(MRI)에서 찾아볼 수 있습니다. 소립자를 매우 빠른 속도로 충돌시킬 때 일어나는 현상을 연구하는 입자가속기에도 초전도 전자석이 쓰이고 있죠.



흑마법사, 베일을 벗다

★ 개념- 이온, 전하, 전류

★ 과목- 중학교 과학 2 > 물질의 구성 > 전하를 띠는 입자

물에 전기가 통하는 이유

살다 보면 전자제품에 물이 들어가 망가지는 일이 종종 벌어집니다. 스마트폰을 물에 빠뜨린다거나 노트북에 마시던 음료수를 쏟는다거나 하는 식으로요. 그런데 왜 전자제품에 물이 들어가면 망가지는 걸까요? 전자제품의 회로가 물에 젖으면 합선이 일어나 부품이 고장 나기 때문입니다. 그래서 전자제품이 물에 빠지면 곧바로 전원을 차단해야 합니다.

전자제품만이 아닙니다. 젖은 손으로 콘센트를 만지거나 전기를 다루다가는 감전될 위험이 있다는 이야기를 많이 들었을 겁니다.

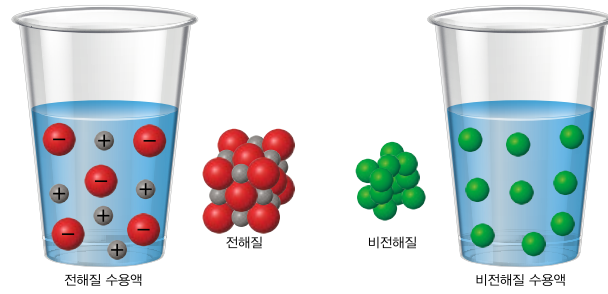
그런데 원래 순수한 물은 전기가 통하지 않습니다. 하지만 우리가 일상적으로 접하는 물은 순수한 물이 아닙니다. 보통 이런저런 불순물이 녹아 있죠. 이 같은 불순물 때문에 전기가 통하는 거랍니다.

전해질과 비전해질

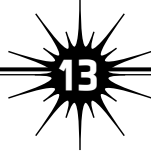
‘불순물’이라고 하면 물속에 뒹뒹 떠 있는 이물질들을 생각하기 쉽습니다. 하지만 물이 전기를 통하게 만드는 불순물은 눈에 보이지 않습니다. 이런 물질은 물속에 이온이라는 형태로 존재하죠. 이온은 전자를 얻거나 잃어서 전하를 띠는 원자나 분자를 말합니다. 물속의 이온은 양이온(+) 또는 음이온(-)으로 나뉩니다.

예를 들어, 물속에 소금을 녹인다고 생각해 보세요. 소금은 염화소듐(NaCl)이라는 화합물입니다. 염화소듐은 물에 녹으면 각각 양전하(+)를 띠는 소듐 이온(Na^+)과 음전하(-)를 띠는 염소 이온(Cl^-)로 나뉩니다.

물속에 이런 이온이 존재할 때 전기 회로를 연결해 주면 양이온은 음극으로, 음이온은 양극으로 이동하면서 전기가 통하게 됩니다. 하지만 그렇다고 물에 녹는 모든 물질이 전기를 통하게 하는 건 아닙니다. 예를 들어 설탕은 물에 잘 녹지만 이온으로 나누어지지 않아서, 물이 전기를 통하게 하지 않습니다.



물에 녹으면 이온이 되어 전기가 통하게 하는 물질을 전해질이라고 합니다. 염화소듐, 황산, 수산화나트륨, 수산화칼륨 같은 물질이 대표적이죠. 반대로, 이온으로 나뉘지 않아 전기를 통하게 하지 않는 물질은 비전해질이라고 하며, 대표적으로 설탕이 있습니다.



역장을 해제하라

★ 개념- 운동량, 충격량

★ 과목- 고등학교 통합과학 > 시스템과 상호 작용 > 역학적 시스템 > 운동량과 충격량

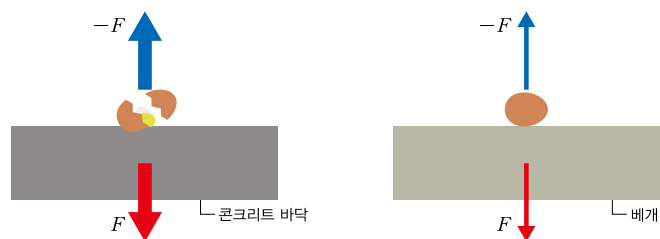
운동량

축구를 하고 놀다가 친구가 세게 찬 공에 얼굴을 맞았다고 생각해 보세요. 아마 아플 겁니다. 심하면 코피가 날 수도 있죠. 만약 공이 더 무거운 공이었다면? 얼굴이 더 아프겠죠. 만약 공이 더 빠르게 날아왔다면? 역시 더 아팠을 겁니다. 공의 운동량이 더 크기 때문입니다.

운동량은 물체의 질량과 속도를 곱한 값입니다.

외부에서 힘을 가하지 않는다면 운동량은 보존됩니다. 예를 들어 당구공이 직선으로 움직여 다른 당구공을 정확하게 맞추면, 첫 번째 당구공은 그 자리에 멈추고 두 번째 당구공이 똑같은 방향과 속도로 움직이게 됩니다. 첫 번째 당구공의 운동량이 두 번째 당구공으로 전해졌기 때문입니다.

하지만 모든 물체가 당구공처럼 탄성이 좋은 건 아니죠. 실수로 달걀을 바닥에 떨어뜨리면 깨져 버리고 맙니다. 이때 달걀이 바닥에 부딪혀 멈추면서 달걀의 운동량은 0이 됩니다.



충격량

그렇다면 사라진 달걀의 운동량은 어디로 갔을까요? 바로 충격량으로 바뀌어 물체에 전달됩니다. 충격량은 말 그대로 물체가 받은 충격의 정도를 나타내는 값이죠. 충격량은 힘과 그 힘이 작용한 시간을 곱해서 구할 수 있습니다. 만약 전체 충격량이 같다면, 힘이 작용한 시간이 짧을수록

힘이 커집니다. 콘크리트 바닥에 떨어진 달걀은 어김없이 깨지지만 폭신한 베개 위에 떨어진 달걀은 깨지지 않을 수도 있는 이유를 이것으로 설명할 수 있습니다. 콘크리트 바닥은 단단하기 때문에 달걀의 운동량이 순식간에 0으로 줄어듭니다. 반면 베개는 아래로 폭 꺼지면서 달걀이 멈추게 하므로 운동량이 0으로 줄어드는 데 시간이 더 오래 걸리죠. 따라서 작용하는 힘이 더 작아지고, 달걀은 깨지지 않을 수 있습니다.

날아오는 공을 받을 때 손을 살짝 뒤로 빼면서 받으면 손바닥이 덜 아픈 이유, 폭신한 보호대를 차면 넘어졌을 때 덜 아픈 이유도 바로 이것입니다.



특별할 것 없는, 인간

★ 개념- 빛의 투과, 굴절

★ 과목- 중학교 과학 I > 빛과 파동 > 빛

고등학교 물리학 I > 파동과 정보통신 > 파동의 성질과 활용

빛의 투과

빛에는 여러 가지 특성이 있습니다. 태양이나 전등에서 나온 빛은 여러 가지 현상을 거치며 우리 눈에 들어와 사물을 볼 수 있게 해 줍니다. 빛의 대표적인 특성으로 투과를 들 수 있습니다.

많은 물체는 빛을 가로막아 그림자가 지게 하지만, 어떤 물체는 빛을 통과시켜 투명하게 보입니다. 유리, 투명한 플라스틱, 물 같은 물체가 그렇죠. 우리는 이런 물체 너머에 무엇이 있는지를 볼 수 있습니다. 이런 현상을 빛의 투과라고 합니다.

하지만 투명하다고 해서 빛이 모두 투과할 수 있는 건 아니고 일부는 가로막힙니다. 일반적인 유리창의 경우 100이라는 양의 빛이 들어간다고 할 때 통과하는 빛의 양은 약 90입니다. 들어간 빛 대비 통과한 빛의 비율을 투과율이라고 합니다. 두께가 두꺼워지면 투과율은 더 낮아질 수 있고요.

물질에 따라 특정 빛만 투과하기도 합니다. 가시광선은 잘 투과하지만, 인체에 해로운 자외선은 차단하는 유리처럼요. 혹은 특정 색깔의 빛만 투과하게 만들 수도 있습니다. 빨간색 빛만 투과하는 재료를 통해 주위를 보면 온통 빨강계 보이겠죠.

빛의 굴절

빛이 유리나 물 같은 물질을 쉽게 통과하는 것처럼 보이지만, 사실 그렇지 않습니다. 진공 속에서 빛이 움직이는 속력을 광속이라고 하는데요, 흔히 우리는 빛이 항상 일정한 속력으로 움직인다고 생각합니다. 실제로는 빛도 어떤 물질을 통과하느냐에 따라 속력이 변합니다. 물속에서 빛의 속력은 진공에서 움직일 때 속력의 4분의 3 정도입니다.

그래서 생기는 신기한 현상이 바로 굴절입니다. 강가에서 물속을 볼 때 우리 눈에 보이는 것보다 물이 더 깊다는 이야기를 들어 본 적이 있을 겁

니다. 컵에 물을 반쯤 담고 연필처럼 길쭉한 막대를 담근 뒤에 확인해 볼 수도 있습니다. 바닥에서 출발한 빛이 수면에서 한 번 꺾이는 바람에 연필의 길이가 짧게 보이거든요.

물속에 연필을 담그면 굴절이 일어나 실제보다 짧게 보인다.
(Shutterstock / Kuki Ladron de Guevara)



이렇게 빛이 서로 다른 물질의 경계면에서 꺾이는 현상을 굴절이라고 합니다. 빛은 어디로 가든 항상 최단 시간의 경로로 움직이는 특징이 있습니다. 물속에서는 속력이 느려지기 때문에 물속에서 움직이는 거리를 줄이기 위해 중간에 한 번 꺾이는 거죠. 꺾이지 않고 직선으로 가면, 전체 경로는 짧아지지만 물속에서 머무는 시간이 길어 결과적으로는 오래 걸리거든요.

재미있게도, 빛이 꺾이는 정도는 파장에 따라 다릅니다. 파장이 긴 빨간색 빛보다 파장이 짧은 보라색 빛이 더 많이 꺾입니다. 그래서 태양 빛이 굴절하면 색깔별로 나뉩니다. 비가 온 뒤 무지개가 생기는 것도 이 때문입니다. 공기 중의 물방울에 태양 빛이 굴절되면서 색깔로 나뉜 거죠.

렌즈와 프리즘은 바로 이 굴절 현상을 이용한 도구입니다. 우리는 렌즈를 이용해 빛을 모으거나 퍼뜨릴 수 있습니다. 뉴턴은 프리즘으로 태양 빛을 굴절시켜 태양 빛이 여러 가지 색의 빛이 합쳐진 것이라는 사실을 밝히기도 했습니다.

다시 나의 우주로

★ 개념- 다중우주

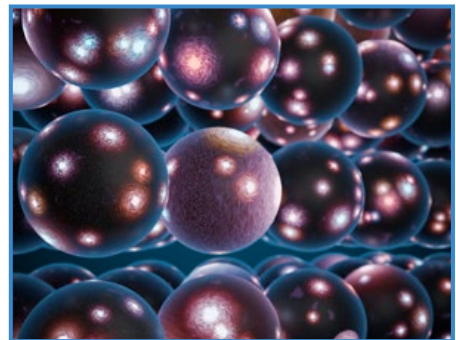
누벼 이은 다중우주

우리가 알고 있는 우주는 지금 우리가 살고 있는 이 우주 하나뿐입니다. 그런데 우주가 이보다 더 많다는 이론도 있습니다. 바로 다중 우주론입니다. 다중 우주론에는 여러 종류가 있습니다. 과학자들이 어떤 다중우주를 상상하고 있는지 한번 알아볼까요?

우리가 볼 수 있는 우주의 범위에는 한계가 있습니다. 사방으로 약 465광년입니다. 그 너머를 보는 건 불가능합니다. 그런데 그 너머에도 공간이 충분히 있고 또 다른 우주가 있을 수도 있지 않을까요? 이렇게 수많은 우주가 끝없이 늘어선 다중우주를 누벼 이은 다중우주라고 부릅니다.

인플레이션 다중우주

우리 우주는 빅뱅 이후에 인플레이션(급팽창)을 거치며 지금과 같은 모습이 되었습니다. 인플레이션 다중우주는 지금도 우주 어디에선가 인플레이션이 계속 일어나며 새끼 우주가 탄생하고 있다는 이론입니다. 우주 여기저기에서 끊임없이 새로운 우주가 불룩 튀어나오고 있다는 소리죠. 흔히 우주가 포도송이처럼 주렁주렁 달린 모습으로 그려지곤 합니다. 이 각각의 우주에서는 물리법칙이 서로 다를 수도 있다고 하네요.



포도송이 같은 다중우주의 가상 이미지
(Shutterstock / Kvchal)

평행우주

평행우주는 양자역학(10장 참조)과 관련이 깊습니다. 양자역학에서는 흔히 입자의 여러 상태가 중첩되어 있다가 관측할 때야 비로소 한 상태로 정해진다고 이야기하곤 합니다. 그런데 여러 가지 상태가 중첩되어 있는 게 아니라 실제로 모두 각각의 세계로 존재한다면 어떨까요? 즉, 슈뢰딩거의 고양이가 살아 있는 상태와 죽어 있는 상태가 중첩된 게 아니라 살아 있는 우주도 있고, 죽어 있는 우주도 있다는 겁니다.

이 이론에 따르면, 우주는 무한히 있을 수 있습니다. 우리의 선택 하나 하나마다 우주가 갈라집니다. 점심에 짜장면을 먹을지 짬뽕을 먹을지 고민하다가 짬뽕을 먹기로 했다면, 그 순간 짜장면을 먹은 우주와 짬뽕을 먹은 우주로 갈라진다는 소리죠.

시뮬레이션 다중우주

황당한 이야기지만, 우리 우주가 엄청나게 복잡한 컴퓨터의 시뮬레이션일 수도 있다는 가설이 있습니다. 우리 우주가 실제로 존재하는 게 아니라 컴퓨터 게임 속의 세계나 마찬가지로는 겁니다. 만약 우리 우주가 시뮬레이션이라면, 그와 비슷한 시뮬레이션은 얼마든지 있을 수 있습니다. 지루해진 외계인이 컴퓨터를 꺼 버리면 우리가 순식간에 사라져 버릴 수도 있고요. 과연 이게 정말이라면, 우리 존재의 의미에 관해 고민하지 않을 수 없습니다. 물론 시뮬레이션 우주론이 옳다는 증거는 없으니 안심하세요.

이 외에도 다중우주 이론은 더 있습니다. 하지만 모두 아직은 증명되지 않은 이론일 뿐이며, 아마 짧은 시간 안에 진실을 알아내는 건 어려워 보입니다. 실제로 다른 우주가 있다고 해도 우리는 결코 그 사실을 알아내지 못할 수도 있습니다. 그래도 우리 우주와 다른 원리로 돌아가는 우주가 있다고 상상하면 참 흥미롭습니다. 만약 또 다른 우주가 있다면, 과학 대신 마법이 통하는 우주도 있을 수 있을까요?