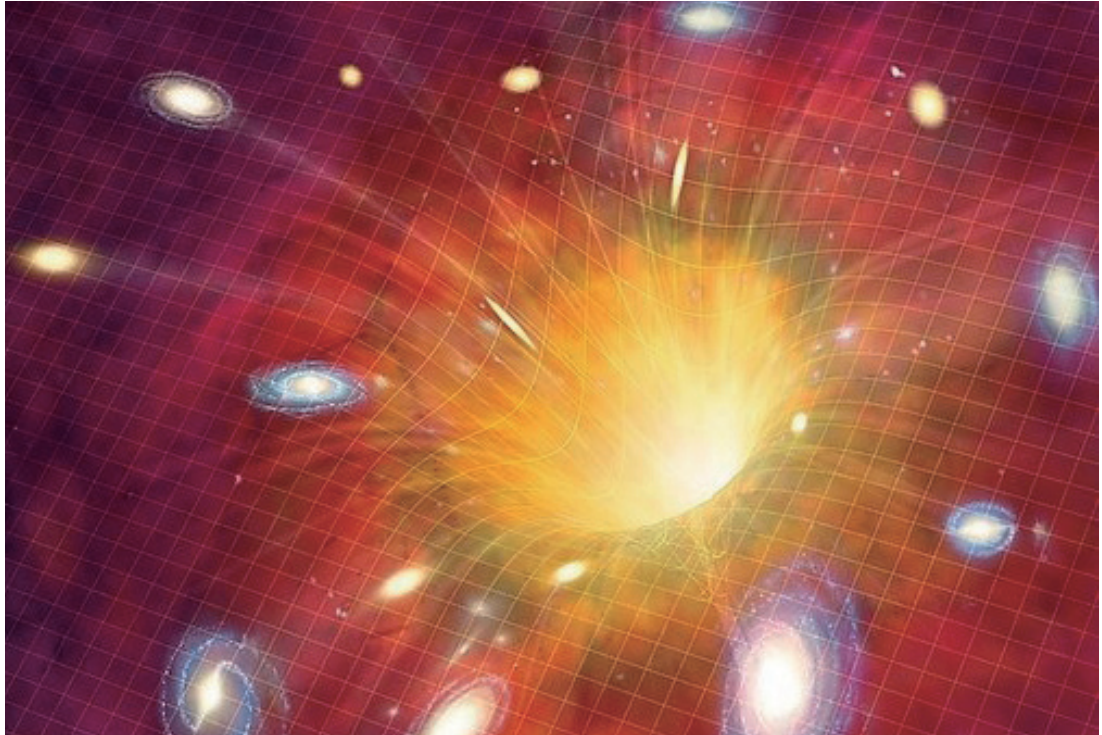


02 빅뱅과 기본입자

Part 01



1. 우주의 시작 전에는 무엇이 있었을까?

우주, 은하계, 태양계, 지구, 사람, 공기, 원자는 어디서 온 것일까?

이것은 인류가 시작된 이래로 항상 가져왔던 궁극적인 질문이었다. 그래서 대다수 고대의 신화는 우주의 탄생에 대한 이야기로 시작한다. 고대 중국의 창조신화를 보면, 우주는 검은 알(卵)로부터 시작되었다고 한다. 또한 고대 그리스에서는 카오스(chaos)라는 신을 우주 만물의 시작점으로 보았다.

고대인들이 생각했던 우주의 시작에 대한 이야기는 철학적이고 관념적인 것이었다.

21세기! 우주는 더 이상 관념의 대상이 아니다. 새롭게 개척해야 할 미지의 세계이다. 우주를 향한 인간의 과감한 도전 앞에서 우주는 비밀의 커튼을 조심스럽게 열고 있다. 21세기의 눈으로 우주를 보자! 우주가 시작되기 전의 상태는 어떠했을까? 우주의 시작은? 그리고 현재의 우주는 어떤 과정을 거쳐 오늘에 이르게 되었을까?

〈HOWHY〉 Universe?

이것이 이 장에서 여러분과 함께 살펴보고자 하는 내용이다.



용어 돋보기

* 카오스(chaos)

카오스(chaos)는 그리스 신화에 등장하는 신 중에서 모든 신들을 만들어낸 최초의 신이다. 신들뿐만 아니라 우주 만물도 카오스가 태어나기 전에는 존재하지 않았다. <chaos>라는 말은 그리스어로 <텅 빈 공간>을 뜻하는 말이다.

1 우주의 시작 전을 보기 위한 특별한 안경 : 양자역학



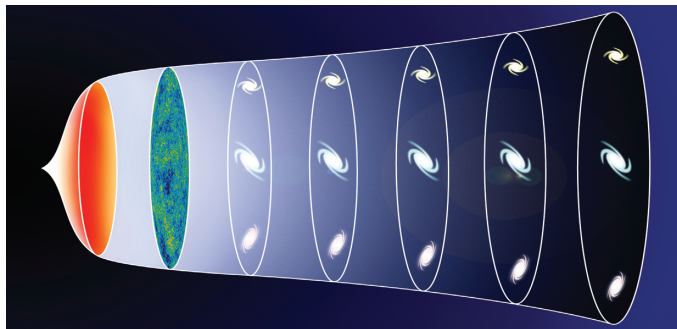
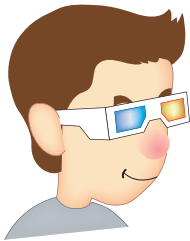
Bang!!! 자동차 타이어가 펑크나는 소리인가? 아니면, 폭탄이 터지는 소리?
이 소리는 어느 순간에 우주의 한 점이 터지는 소리이다. 더 정확히 말하자면 우주가 시작된 한 점이 터지는 소리이다.

우주가 시작된 이 한 점은 밀도와 온도가 무한대였다. 이 한 점의 폭발에 의해 시간과 공간과 우주가 시작되었다. 우주 속의 모든 물질의 근원도 이 한 점이다. 현재 관측되는 우주의 가속팽창도 이 한 점의 폭발로부터 비롯된 것이다.

우주의 모든 것이 시작된 이 한 점을 <특이점(特異點, singularity)>^①이라고 부른다. 70쪽에서 배우겠지만 특이점의 폭발을 <빅뱅(Big Bang)>이라고 부른다. 현재의 우주는 특이점이 <Big Bang>된 결과물이기 때문에, 특이점은 우주의 어머니인 셈이다.

그렇다면 특이점은 우주가 시작되기 전부터 원래 있었던 것일까?
애당초 원래 있는 것은 원래 없다!? 무엇인가로부터 만들어져야만 있을 수 있다.

무엇이 특이점을 만들었을까? 특이점은 어떻게 만들어졌을까?
이것을 알기 위해서는 특별한 안경이 필요하다. 바로 <양자역학>이라는 안경이다.
우주의 생성과 진화는 양자역학의 안경이 없으면 이해가 불가능하다.



하지만, 걱정하지 말자. 우리가 여기서 양자역학 자체를 배우려는 것은 아니다. 단지 양자역학의 가장 기본적인 개념 중에서 우주의 기원을 이해하는데 필요한 부분만을 떼어내어 아주아주 조금 살펴보려는 것이다.
여러분은 그냥 책의 순서를 차례대로 따라가면서 차근 차근 읽어 가면 된다.

1. 우주의 시작 전에는 무엇이 있었을까?



① 특이점

특이점(特異點, singularity)은 그 상태가 특이하기 때문에 붙여진 이름이다. 특이점은 우주크기가 <0>이고 밀도와 온도가 무한대인 상태이다.

처음 특이점을 주장한 사람은 1927년 벨기에의 신부(神父)이자 천문학자인 르메트르(Monsignor Georges Henri Joseph Edouard Lemaitre, 1894~1966)였다. 그는 우주의 탄생을 다음과 같이 말했다.

“어제가 없는 어느 한 날(A day without yesterday)에 무한히 작은 특이점인 원시원자가 갑자기 폭발했다. 이 원시원자가 폭발할 때 <큰 소음(big noise)>이 발생했다.”



② 소립자의 발견

소립자(素粒子, elementary particle)는 원자보다 작은 입자를 통털어서 일컫는 말이다. 소립자 중에서 원자를 구성하는 대표적인 소립자로는 양성자, 중성자가 있다. 양성자는 1914년에, 중성자는 1932년에 발견되었다.

한편 소립자보다 더 작은 입자가 있는데, 이를 초소립자(超素粒子, ultraelementary particle)라고 한다. 초소립자로는 쿼크(quark)와 렙톤(lepton)이 있다. 렙톤은 경입자(輕粒子)라고도 한다.

현재까지 발견된 쿼크는 총 6개이다. 최초의 쿼크는 1967년에 발견되었다. 몇 개의 쿼크가 모여 양성자와 중성자를 만든다. 전자는 대표적인 렙톤으로 1897년에 발견되었다.

④ 역학이란?

역학(力學, dynamics)이란 물체에게 작용하는 힘과 운동의 관계를 연구하는 학문이다.

19세기까지는 빗처럼 빠른 속도로 운동하고 크기가 매우 작은 소립자들이 아직 발견되기 전이었다. 따라서 19세기까지의 역학은 주로 속도가 느리고 크기가 큰 물체의 운동을 대상으로 하였다. 우리가 중학교 때 배운 속도와 가속, 뉴턴의 힘에 관한 법칙 등이 이러한 역학에 속한다.

그러나 20세기에 들어서면서 소립자들이 잇달아 발견되었다.^② 그리고 소립자의 운동을 19세기의 역학으로는 해석할 수 없다는 것이 밝혀졌다.

원자핵을 중심으로 운동하는 전자를 예로 들어보자.

④ 19세기 역학의 눈으로 본 전자의 운동

중학교 때 배운 것을 한번 생각해 보자.

여러분이 아래 그림1처럼 도로 위를 달리는 자전거를 보고 있다고 하자. 자전거의 운동이 마치 영화필름을 보는 것처럼 연속적으로 보일 것이다.

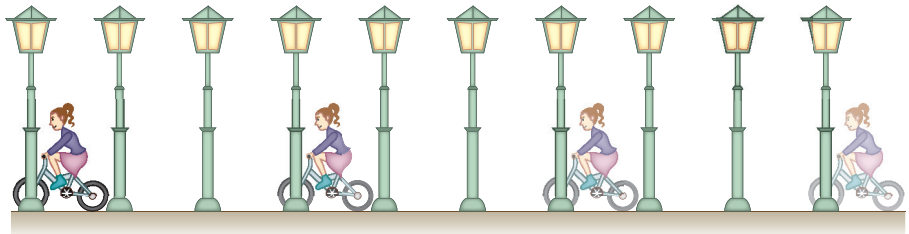


그림1 도로 위를 달리는 자전거의 운동

자전거의 각 순간마다의 위치나 속력이 연속적으로 연결되어 있다. 그렇기 때문에 몇 초 후의 자전거의 위치와 운동상태를 정확히 파악할 수 있다.

운동하는 자전거의 위치와 속력을 동시에 파악할 수 있다!!

이렇게 보는 것이 19세기의 역학이다.

19세기 역학의 눈으로 전자의 운동을 본다면, 다음과 같은 순서로 파악할 수 있다.

- 전자는 운동하는 동안 언제나 확정된 위치와 속도를 지닌다.
- ↓
- 따라서 전자의 운동상태를 하나의 점으로 나타낼 수 있다.
- ↓
- 이 점들을 이어주면 그림2처럼 전자의 연속적인 운동을 파악할 수 있다.

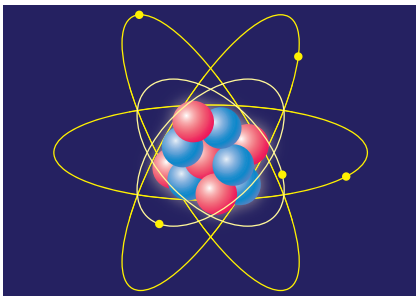


그림2 19세기의 역학으로 본 전자의 운동

따라서 19세기 역학으로 볼 때, 전자의 운동은 그림2처럼 원자핵을 중심으로 일정한 궤도로 나타낼 수 있다.

🔗 20세기 역학의 눈으로 본 전자의 운동

전자는 자전거와는 달리, 그림3과 같이 빛처럼 아주 빠른 속도로 운동한다.

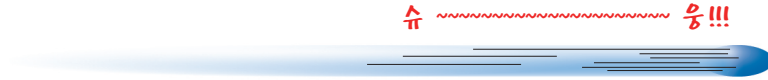


그림3 빠른 속도로 운동하는 전자

따라서 어떤 특정한 순간의 전자가 <여기 있다!>고 하는 순간에 전자는 이미 <여기>에 없게 된다.

빛처럼 빠른 속도로 원자핵 둘레를 운동하는 전자의 위치를 나타내는 것은 불가능하다!!!

이 말은 전자처럼 속도가 빠른 소립자들은 위치와 운동상태를 동시에 파악할 수 없다는 것이다. 이것을 <불확정성의 원리>^③라고 부른다.

19세기의 역학에 따르면 물체의 운동을 나타내는데 불확실성은 조금도 없다. 그러나 20세기에 새롭게 발견된 소립자들은 너무 빠르기 때문에 현재 <여기 있다!>고 정확히 말하는 것이 불가능하다.

오직 우리가 알 수 있는 것은 소립자가 <거기> 있을 확률 뿐이다.

그림4는 20세기의 역학의 눈으로 바라본 원자핵과 전자를 나타낸 것이다. 그림4에서 파란색으로 나타낸 점들은 원자 안에서 전자가 발견될 확률을 표시한 것이다. 파란색 점의 분포를 볼 때 원자핵과 가까울수록 전자가 있을 확률이 높다는 것을 알 수 있다.

🔗 양자역학? 20세기의 새로운 역학!

자, 이제 정리해 보자.

- 양자역학이란?
20세기에 들어서 새롭게 발견된 소립자처럼 크기가 작고 빠르게 운동하는 물체의 운동을 해석하기 위한 새로운 역학이다.
- 양자역학의 도구는?
양자역학에서는 소립자의 위치와 속도를 동시에 나타낼 수 없다. 따라서 통계적으로 이렇다고 말할 수 있을 뿐이다. 통계학이 양자역학의 도구이다.

20세기의 양자역학을 19세기의 역학과 비교하여 나타내면 다음과 같다.

양자역학이란 크기가 크고 속도가 느린 거시적인 물체에 적용하는 역학이 아니라, 크기가 작고 속도가 빛처럼 빠른 소립자같은 미시적인 물체에 적용하는 역학이다.

1. 우주의 시작 전에는 무엇이 있었을까?

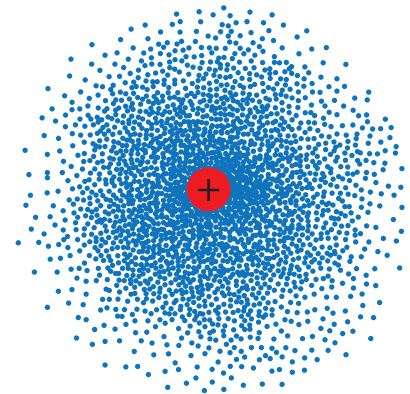


그림4 20세기의 역학으로 본 전자의 운동

③ 불확정성의 원리

<불확정성의 원리(不確定性原理, uncertainty principle)>는 양자역학의 기본원리이다. 불확정성의 원리는 다음과 같다.

<전자 1개의 위치와 운동량을 동시에 정확히 측정하는 것은 불가능하다!>

위에서 운동량이란 <질량 × 속도(mv)>를 뜻한다.

불확정성의 원리는 1927년 독일의 물리학자인 하이젠베르크(Werner Karl Heisenberg, 1901~1976)가 발표한 것이다. 불확정성의 원리는 양자역학이 체계적으로 연구될 수 있는 토대가 되었다.

하이젠베르크는 이에 대한 공로로 1932년에 노벨물리학상을 받았다.



터널효과

이 책에서 양자역학을 언급한 이유가 무엇이었는지 되돌아가 생각해보자. 특이점 때문이다. 더 정확히 말한다면 특이점이 <howhy> 만들어졌는지를 알고 싶었기 때문이다.

특이점이 만들어져야만 빅뱅이 있다. 즉, 특이점이 없다면 빅뱅은 없다. 빅뱅이 없다면 현재의 우주도 없고, 우주물질로 만들어진 우리도 없다.

그렇다면 빅뱅을 일으킨 특이점은 어떻게 만들어졌을까?

특이점이 어떻게 만들어졌는지에 대해 20세기 양자역학은 다음과 같은 예를 통해서 설명하고 있다.

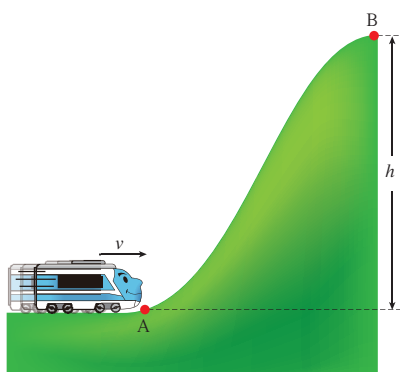


그림5 언덕을 넘으려는 기차

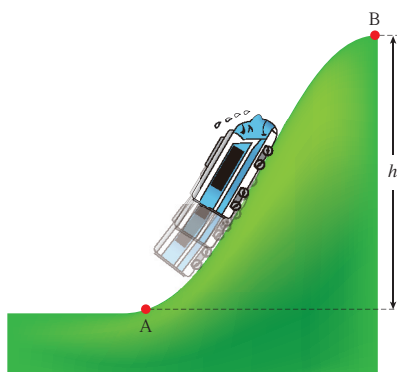


그림6 고전역학으로 본 기차의 운동

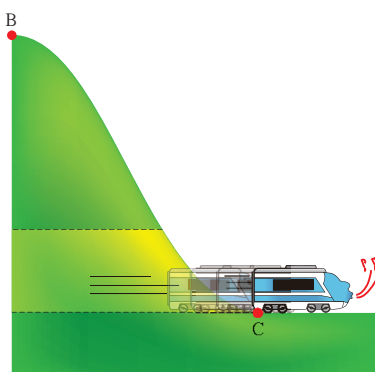


그림7 양자역학으로 본 기차의 운동

그림5와 같이 A지점을 v 라는 속도로 달리고 있는 기차가 있다고 하자. 이 기차는 높이가 h 인 B점을 지나 다시 C점까지 가려고 한다. 그런데 A점에서 가지고 있는 기차의 운동에너지는 B점의 위치에너지보다 작다고 하자.

(1) 19세기 역학의 눈으로 본 기차의 운동

19세기 역학의 눈으로 보면 그림6처럼 기차는 결코 산을 넘을 수 없다.

왜냐하면 A점의 기차가 산을 넘기에는 B점의 에너지장벽(energy barrier)이 너무 높기 때문이다. A점에 있던 기차가 C점까지 갈 확률은 0이다.

(2) 20세기 양자역학의 눈으로 본 기차의 운동

56쪽의 그림2에서처럼 19세기 역학의 눈으로 본 전자는 일정한 궤도를 유지하면서 원자핵 둘레를 돈다. 그러나 57쪽의 그림4에서처럼 20세기 양자역학의 불확정성원리로 파악한 원자핵 둘레의 전자는 원자핵 둘레에 확률적으로 분포되어 있다. 확률적으로 분포되어 있다는 것은 무수히 많은 상태의 전자가 있을 수 있다는 말이다. 따라서 확률적으로 극미(極微)세계의 입자 수천만 개 중에서 한 개는 자신이 갖는 에너지보다 높은 에너지장벽을 넘을 수도 있다.

확률론과 유사한 불확정성원리에 따르면 확률 0은 없다!
따라서 미시적인 물체를 다루는 양자역학의 세계에서는 기차가 산을 넘는 일이 발생할 수도 있다.

(3) 터널효과

20세기 양자역학의 눈으로 보면 A점에 있던 기차가 C점으로 갈 수 있다. 그렇다면 어떻게?

산을 넘어서 C점에 가는 것이 아니다. 그림7에 나타난 것처럼 산에 터널을 뚫어서 C점에 도달하는 경우도 있을 수 있다고 본다. 이런 현상을 <터널효과(tunnel effect)>라고 부른다.

터널효과는 극미입자의 특징이다. 극미입자가 터널효과를 나타내는 것은 극미입자는 <입자성> 말고도 <파동성>이라는 또 다른 성질이 아주 잘 나타나기 때문이다. 모든 물질이 <입자성>과 <파동성>의 이중성을 갖고 있다는 것을 발견한 것은 20세기 양자역학의 또 다른 특징이다. 특히 극미입자는 <파동성>이 잘 나타난다. 터널효과는 극미입자의 <파동성>이 만들어낸 양자역학적 현상인 것이다.

극미입자의 파동성을 이용한 터널효과는 첨단기기에 많이 이용되고 있다. 은 나노방식을 이용한 세탁기에 대해 들어본 적이 있을 것이다. 분자단위의 극미입자를 이용하여 신소재를 개발하는 나노과학(nano science)라고 한다. 나노과학은 터널효과를 이용한 대표적인 예 중 하나이다.

같은 물질이라도 덩치에 따라서 성질이 달라진다. 예를 들어 은으로 만든 반지는 특별한 특성을 나타내지 않는다. 그러나 이 은반지를 1nm(1나노미터, $1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$) 단위로 만들면 은반지와는 다른 물리적 성질을 나타낸다.

심화학습

물질의 이중성

빛은 입자의 성질과 파동의 성질을 모두 가지고 있다는 말을 들어 보았을 것이다. 이것을 <빛의 이중성(duality of light)>이라고 부른다. 양자역학의 또 다른 특징은 물질의 성질을 입자성과 파동성이라는 이중성으로 파악한다는 것이다.

이러한 이중성을 갖는 물질로는 전자를 비롯한 소립자들도 예외가 아니다. 19세기 물리학에서는 전자를 입자라고만 생각했다. 그러나 1927년에 운동하는 전자에서 파동의 특이한 성질인 회절현상⁵이 발생하는 것을 확인한 후, 전자는 입자성 뿐만 아니라 파동성도 가지고 있다는 것을 알게 되었다.

나노과학

나노과학(nano science)은 물질을 나노미터(nm, $1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$) 단위에서 합성·조작하는 기술을 말한다. 물질을 나노미터 단위로 쪼개면 물질의 성질이 달라진다.

금(金)은 일반적으로 노란색이다. 그러나 20nm 이하가 되면 붉은색이 된다.

은(銀)은 그 자체로도 살균작용이 있다. 그러나 은나노는 더 강력한 항균·살균·탈취·전자파차폐 등 새로운 특성을 나타낸다. 따라서 세탁기에 은나노를 사용하면 세탁물을 삶지 않아도 소독이 된다.

1. 우주의 시작 전에는 무엇이 있었을까?



4 터널효과

터널효과(tunnel effect)는 극미세계의 입자에서 나타나는 현상이다.

극미세계의 입자가 터널효과를 일으킬 가능성을 처음으로 제기한 사람은 1927년 독일의 훈트(Friedrich Hermann Hund, 1896~1997)였다.

그리고 1928년 러시아 출신의 미국의 가모브가 터널효과를 사용하여 원자핵에서 발생하는 알파붕괴(α (alpha) decay)를 설명해냄으로써 터널효과는 양자역학의 특이한 현상으로 인정받게 되었다.

여기서 알파붕괴란 원자핵 속에 있는 입자들 중에 양성자 두 개와 중성자 두 개가 서로 뭉쳐다니다가 원자핵 밖으로 방출되는 현상을 말한다.

5 전자의 회절현상

숨바꼭질을 하면서 건물 뒤에 숨었을 때 건물 앞에서 나는 소리를 건물 뒤에서도 들을 수 있다.

이렇게 파동이 장애물을 만났을 때 장애물의 뒤쪽까지 전달되는 현상을 회절(回折, diffraction)이라고 한다. 회절은 굴절, 반사와 같이 파동의 중요한 성질 중 하나이다.

전자회절(電子回折, electron diffraction)은 미국의 데이비슨(Clinton Joseph Davisson, 1881~1958)과 거머(Lester Halbert Germer, 1896~1971), 영국의 G. P. 톰슨(Sir George Paget Thomson, 1892~1975)에 의해 처음 발견되었다.

1927년에 이들은 얇은 금속박에 전자빔을 쏘면 전자가 회절되는 것을 발견하였다.

이것은 그동안 입자로서만 알려져 있던 전자의 파동성을 입증하는 것이었다. 이에 대한 공로로 세 사람은 1937년에 노벨물리학상을 받았다.

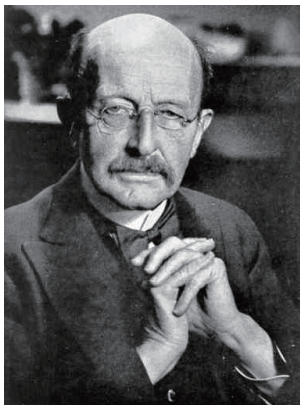


6 플랑크상수

플랑크상수(Planck constant)란 독일의 물리학자인 플랑크(Max Karl Ernst Ludwig Planck, 1858~1947)가 발견한 양자역학에서 사용되는 기본적인 상수 중의 하나이다. 1900년에 플랑크는 물질이 열을 받았을 때 발생하는 전자기파에 관한 실험과정에서 에너지가 일정한 덩어리값으로 방출되는 것을 발견하였다. 그리고 수많은 실험을 통해서 에너지덩어리의 기본값을 알아내었는데, 이것이 플랑크상수인 것이다.

〈에너지는 불연속적인 덩어리이다〉

이것은 연속적이라고 생각하였던 당시의 에너지관에 대하여 가치 혁명적인 에너지관이 었다. 플랑크에 의해 제시된 새로운 에너지관은 양자역학을 여는 계기가 되었다. 그는 이러한 업적으로 1918년에 노벨물리학상을 받는다.



막스 플랑크(Max Karl Ernst Ludwig Planck, 1858~1947)

양자

날계란은 1/2개 짜리가 없다. 1/2개 짜리 날계란은 계란이라 할 수 없다. 날계란을 세는 기본단위는 1개이다.

양자(量子, quantum)란 눈에 보이는 입자가 아니다. 양자는 한 다발, 두 다발씩 뚝뚝 끊어져서 작용하는 에너지덩어리를 뜻하는 말이다. 날계란 1개처럼 에너지덩어리를 세는 기본단위가 양자인 것이다.

에너지덩어리를 세는 기본단위? 에너지가 덩어리란 말인가?

뉴턴은 에너지는 연속적인 것이라고 생각했다. 즉, 1개짜리 날계란도 있지만 1/2짜리, 1/3짜리, 1/4짜리도 있다고 생각한 것이다. 그리고 19세기까지는 모든 과학자가 에너지가 연속적이라는 데에 아무런 의심도 하지 않았다.

20세기로 들어서면서 원자를 구성하는 소립자가 잇달아 발견되었다. 그런데 소립자와 같은 미시적(微視的, microscopic)인 물체의 운동은 19세기의 물리학으로는 해석할 수 없었다. 왜냐하면 19세기의 물리학은 빛보다 훨씬 느린 거시적(巨視的, macroscopic)인 물체를 해석하는데 그 초점이 맞추어져 있었기 때문이다.

미시적인 물체의 운동을 해석하기 위해서는 다양한 연구가 시도되었다. 그 과정에서 19세기 물리학이 몰랐던 새로운 사실들이 발견되게 된다. 오히려 19세기 물리학의 눈으로 보았기에 잘못 알고 있었던 물질의 특성들이 명확히 드러나기 시작한 것이다. 그 중의 하나가 에너지의 특성에 관한 것이다. 그동안 연속적인 것으로 알고 있던 에너지가 불연속적으로 흡수, 방출된다는 것이다. 이를 식으로 나타내면 아래와 같다.

$$E = n \cdot h \cdot f$$

h : 플랑크상수($h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{sec}$)⁶

n : 양자수($n = 1, 2, 3, \dots$) f : 빛의 진동수

위의 식에 따르면, 에너지덩어리 1개는 hf , 에너지덩어리 2개는 $2hf$, 에너지덩어리 3개는 $3hf$ 가 된다. $1/2hf$ 나 $1/3hf$ 인 에너지는 존재하지 않는다. 위의 식을 볼 때 날계란을 셀 때 1개가 기본단위이듯이, 에너지를 셀 때 기본단위는 hf 가 됨을 알 수 있다. 여기서 hf 를 양자 또는 에너지양자(energy quantum)라고 한다.

그림8은 19세기 물리학으로 본 에너지의 모양으로, 에너지비탈길이다. 그림9는 20세기의 새로운 물리학으로 본 에너지의 모양으로, 에너지계단이다.

에너지비탈길은 연속적이지만, 에너지계단은 한 계단씩 끊어지는 불연속적인 모양이다. 양자란 그림9에 나타낸 것처럼 에너지 한 계단과 같다고 말할 수 있다.

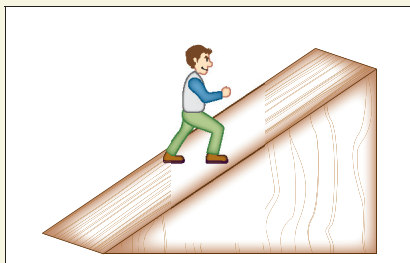


그림8 19세기까지의 에너지 이해 : 에너지비탈

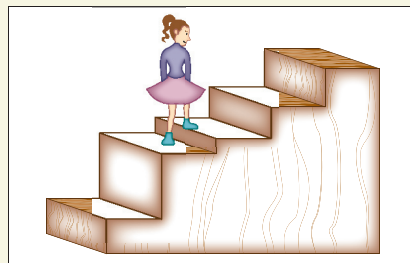


그림9 20세기의 에너지 이해 : 에너지 계단

용어 돋보기

* 양자수(量子數, quantum number)

양자수(量子數, quantum number)란 양자역학에서 양자의 상태를 나타내기 위하여 사용되는 정수(또는 반정수)를 말하는 것이다.

반정수가 사용되는 경우는 물체의 회전과 관계되는데, 이것은 화학Ⅱ에서 자세히 배울 것이다.

2 우주의 시작 : 우주는 요동치는 무(無)에서 시작되었다.

지금까지 설명한 양자역학과 터널효과의 개념을 이해했다면, 우리는 우주의 시작과 만날 준비가 된 것이다. 자! 이제 우주가 시작되는 순간과 만나보자!

🔍 우주는 어떻게 시작되었을까?

우주는 어떻게 시작되었을까?

이 말은 <빅뱅으로 인해 폭발한 특이점이 어떻게 만들어졌을까?> <137억 년이 지난 현재의 우리와 우주의 시작은 어떠했을까?>라는 말과 같은 말이다. 왜냐하면 인간을 포함한 모든 우주만물은 특이점이 폭발한 결과물이기 때문이다.

🔍 우주는 무(無)로부터 시작되었다!

우주의 시작이 어떠했는지에 대해서는 현재도 논란이 많다. 현재 가장 많이 인정받고 있는 표준이론은 다음과 같다.

약 137억 년 전 우주는 <무(無, nothing)>에서 시작되었다!!!^⑦

무(無, nothing)!?

시간, 공간, 빛, 물질이 없는 상태이다. 20세기의 양자역학에서는 이 <무(無)를 양자진공(量子眞空, quantum vacuum)>이라고 한다.

19세기 물리학에서 <진공(眞空, vacuum)>은 비어 있는 그래서 아무것도 존재하지 않는 공간이다. 그러나 양자역학에서 말하는 진공은 비어있지 않고 무엇인가 요동치고 있는 공간이다.

무엇이 요동치는가? 파동이 요동친다. 정확히 말한다면 전자기파가 요동친다.

무(無)에서도 전자기파는 최저 에너지상태로 아주 약하게 요동치고 있다. 이것을 <영점진동(零點震動, zero point vibration)>이라고 한다.

진공은 빈 공간이 아니라 수많은 영점진동으로 꽉찬 상태라는 것을 보여주는 실험이 있다. <캐시미어효과(casimir effect)>라는 것이다.^⑧ 캐시미어효과란 두 금속판 사이를 진공으로 만들었을 때 두 금속판 사이에 작용하는 힘이 있는가에 대한 실험이다. 그림10은 캐시미어효과를 나타낸 것이다.

19세기 물리학에 따르면 진공은 빈 공간이므로 그림10의 두 금속판은 처음과 마찬가지로 그대로 있어야만 한다. 그러나 실제로는 서로 가까워진다. 이때 작용하는 힘은 만유인력과는 관계가 없으며 오히려 만유인력보다 더 큰 힘이다. 이것은 진공이 19세기 물리학에서 말하는 것처럼 빈 공간이 아니라, 영점진동에 의한 영점에너지(또는 진공에너지)가 가득찬 공간이라는 것을 알려준다.

무(無)에서의 양자진공은 영점에너지(또는 진공에너지)로 가득 차 있다. 이것이 우주를 탄생시킨 무(無)의 모양이다.

1. 우주의 시작 전에는 무엇이 있었을까?



⑦ 무(無)로부터의 우주탄생

우주가 무(無)로부터 시작되었다는 주장은 1982년에 비렌킨(Alexander Vilenkin, 1950~)이라는 러시아 출신의 미국 물리학자에 의해 제시되었다.

비렌킨은 양자역학을 이용하여 우주팽창을 해석하려고 하였다.

그는 1982년에 우주는 무(無)에서 터널효과를 통해 탄생하였다는 무(無)로부터의 우주탄생설을 주장하였다.

이러한 그의 주장은 세계적으로 유명한 우주물리학자인 호킹(Stephen William Hawking, 1942~)과 같은 학자들에 의해서 지지받고 있다. 루게릭병을 앓고 있는 호킹은 2000년에 한국을 방문한 바 있다. 우리나라에 소개된 그의 책으로는 <시간의 역사>, <위대한 설계> 등이 있다.

⑧ 캐시미어효과

<캐시미어효과(casimir effect)>란 1948년에 네덜란드 물리학자인 캐시미어(Hendrik Brugt Gerard Casimir, 1909~2000)가 밝혀낸 실험적 결과이다.

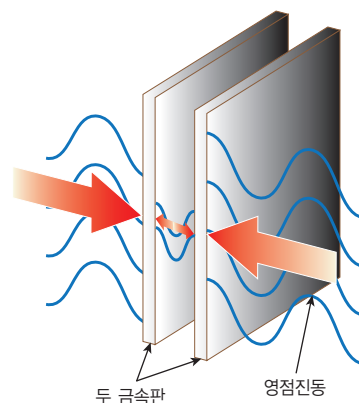


그림10 캐시미어효과



tips



9 맥스웰

맥스웰(James Clerk Maxwell, 1831~1879)은 영국의 물리학자이다. 그는 전류의 변화로 자기현상이 일어나고 반대로 자석을 움직이면 도선에 전류가 흐른다고 하는 <전자기유도현상>이라고 한다)는 것에 착안하여 전기와 자기는 동전의 양면과 같다고 생각했다.

그는 맥스웰방정식(Maxwell's equations)이라는 몇 개의 방정식을 이용하여 전기력과 자기력을 전자기력이라는 통합된 힘으로 나타냈다(1860~1864).

또한 그는 1873년에 자신의 방정식을 이용하여 전자기파의 속도를 측정하였는데, 이때 계산된 속도($v = 2.998 \times 10^8 \text{ m/sec}$)가 그 당시에 알려진 빛의 속도와 매우 흡사하다는 사실에 착안하여 빛은 전자기파의 일종이라는 빛의 전자기파설을 주장하였다.

10 양성자와 중성자

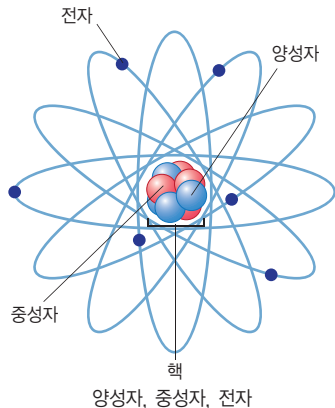
원자핵을 구성하는 소립자로는 양성자(陽性子, proton)와 중성자(中性子, neutron)가 있다.

양성자는 양(+)전하를 띤 소립자이다.

양성자 1개가 갖고 있는 전하량은 전자 1개가 갖는 전하량($1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$)과 크기가 같다. 그리고 양성자 1개의 질량은 약 $1.673 \times 10^{-27} \text{ kg}$ 으로 전자 1개보다 약 1836배 더 무겁다.

중성자는 전하를 띠지 않은 소립자이다.

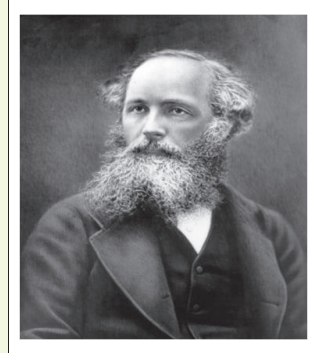
중성자 1개의 질량은 $1.675 \times 10^{-27} \text{ kg}$ 으로 양성자보다 약간 무겁다. 전자 1개보다는 약 1839배 더 무겁다.



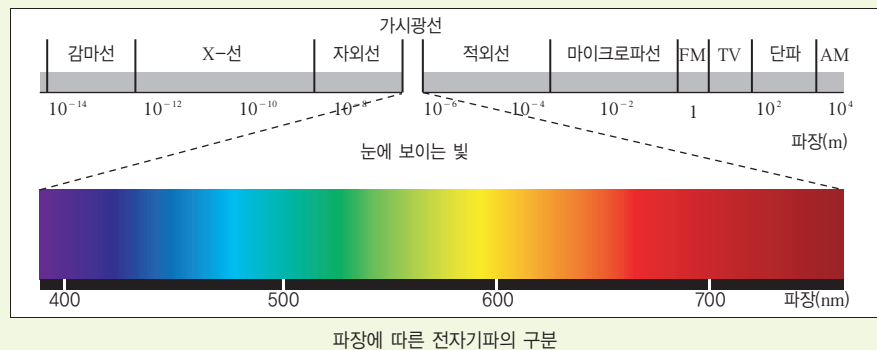
전자기파 >>>

영국의 물리학자인 맥스웰⁹은 전기력이 작용하는 공간인 전기장(電氣場, electric field)과 자기력이 작용하는 공간인 자기장(磁氣場, magnetic field)을 통합하여 전자기장(電磁氣場, electromagnetic field)이라는 새로운 개념을 만들어냈다.

전자기파(電磁氣波, electromagnetic wave)란 전자기장의 진동에 의해서 발생하는 파동을 말한다. 전자기파는 파장 또는 진동수에 따라서 γ 선, X선, 자외선, 가시광선, 적외선, 마이크로파, TV파, FM파, 라디오파 등으로 구분된다. 아래 그림은 파장이 전자기파에 속한다.



제임스 맥스웰(James Clerk Maxwell, 1831~1879)



파장에 따른 전자기파의 구분

전자기파의 발생과 성질에 대해서는 25쪽에 간략하게 설명하였다. 전자기파의 자세한 내용은 물리 I에서 자세히 배울 것이다.

양자진공 >>>

양자진공(量子真空, quantum vacuum)이란 양자역학에서 본 진공을 뜻한다.

19세기 역학에서 진공은 아무것도 없는 곳이다. 그러나 양자역학에서 본 진공은 세기는 약하지만 전자기파가 가득 찬 상태이다.

불확정성의 원리에 의하면 양자진공에서는 모든 가능성이 동시에 존재하기 때문에 평균적으로 0이 된다. 평균적으로 0이 된다는 것은 아예 없다는 것과는 다른 말이다. 있지만 없다는 것이다.

영점진동 >>>

양자진공에서의 전자기파의 진동을 영점진동(零點震動, zero point vibration)이라고 한다.

19세기 물리학에 따르면 절대온도 0K가 되면 입자의 운동은 정지된다.

그러나 이것은 불확정성원리의 눈으로 보면 잘못된 것이다. 왜냐하면 0K때 입자의 운동이 정지된다면 속도와 위치가 동시에 파악되기 때문이다. 불확정성원리에 따르면 입자의 위치와 속도를 동시에 파악할 수 없다.

따라서 양자역학의 눈으로 보면 0K에서도 극미세계의 입자는 약한 세기이지만 진동한다. 0K때 극미세계의 입자가 갖는 진동에너지를 영점에너지(zero point energy) 또는 진공에너지(vacuum energy)라고 부른다.

실제로 전자, 양성자, 중성자¹⁰와 같은 극미세계의 입자들은 0K때 에너지가 0이 되지는 않는다.

실전예제 01

현대에 제시되고 있는 우주론을 이해하려면 양자역학에 대한 이해가 있어야만 한다. 다음은 양자와 19세기의 역학, 20세기의 양자역학을 설명한 것이다. 옳지 못한 것을 고르시오.

- ① 19세기까지의 역학은 빛보다 느린 속도로 운동하는 물체에게 적용되는 역학이다.
- ② 20세기의 양자역학은 전자나 소립자처럼 빛과 같은 속도로 운동하는 미시세계의 입자의 운동을 해석하는데 도움을 준다.
- ③ 19세기의 역학에서는 물체의 속도와 위치를 동시에 나타내는 것이 가능하다. 그러나 20세기의 양자역학에서는 이 둘을 동시에 나타내는 것이 불가능하다. 양자역학의 이러한 특성을 나타낸 것이 불확정성의 원리이다.
- ④ 양자란 전자나 소립자처럼 미시세계의 입자를 말하는 것이다.
- ⑤ 19세기 역학의 관점에서 볼 때 원자 속의 전자는 원자핵 둘레를 일정한 궤도를 가지고 회전운동한다. 그러나 20세기 양자역학의 관점에서 보면 확률적으로 전자가 원자핵 주변에 존재할 수 있는 위치만 표시할 수 있을 뿐이다.

풀이

양자란 입자를 말하는 것이 아니다. 양자는 어떤 물리량을 나타낼 때 사용되는 기본값으로 정수로 이루어져 있다. 특히 양자역학에서 양자는 한 다발, 두 다발처럼 똑똑 끊어져서 작용하는 에너지다발을 뜻한다.

만약 오답을 골랐다면 57쪽~60쪽을 다시 자세히 읽기를 권한다.

실전예제 02

다음은 우주는 어떻게 시작하였는지를 설명한 것이다. 옳지 못한 것을 고르시오.

- ① 우주는 지금으로부터 약 137억 년전에 무(無)에서 시작되었다. 여기서 무(無)는 19세기의 물리학이 아니라 20세기의 양자역학에서 말하는 무(無)이다.
- ② 우주시작 전의 무(無)는 시간, 공간, 빛, 물질이 없는 상태를 말한다. 그러나 양자역학의 눈으로 보면 아무 것도 없는 진공상태가 아니라 양자진공상태를 말하는 것이다.
- ③ 양자진공상태란 전자기파가 진동하는 상태를 말한다. 이때 전자기파가 최대에너지로 진동하는 상태이다.
- ④ 캐시미어효과는 진공상태가 빈 공간이 아니라 영점진동에 의한 영점에너지가 가득찬 공간이라는 것을 보여준다.
- ⑤ 양자역학에서 말하고 있는 터널효과는 무(無)에서 우주가 탄생할 수 있음을 보여준다. 터널효과는 극미입자들이 입자성과 파동성이라는 이중성을 갖고 있기 때문에 나타나는 현상이다.

풀이

양자역학에서는 진공을 〈양자진공〉이라고 한다. 양자진공이란 전자기파가 진동하는 상태이다. 이때 전자기파는 최저에너지상태에서 아주 약하게 진동한다. 이러한 양자진동을 〈영점진동〉이라고 하고, 영점진동을 할 때 전자기파가 가지고 있는 에너지를 〈영점에너지〉 또는 〈진공에너지〉라고 한다.

만약 오답을 골랐다면 57쪽~61쪽을 다시 자세히 읽기를 권한다.

1. 우주의 시작 전에는 무엇이 있었을까?



정답

④

정답

③