

문과도 물리할 수 있어! 7편. by 엘컴이

1. 서론

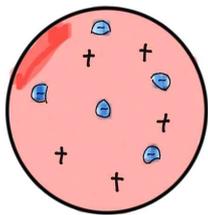
글을 쓰기에 앞서, 이번 컨텐츠는 물리를 접해보지 못한 문과분들, 혹은 생지선 택자분들을 위한 글이니 내용의 깊이가 물리 선택자들보단 깊진 않습니다. 이 점은 많은 분들께 양해 부탁드립니다. 또한, 이해를 돕기 위해 약간의 왜곡이 있을 수 있습니다.

2. 더 작은 세상으로

우리는 0편에서 물리는 만물의 이치를 다루는 학문이라고 배웠습니다. 모든 사물의 근간을 다루기 때문에 더욱 아름다운 학문이죠. 우리는 세상이 어떻게 움직이는지, 그리고 우주가 어떤 언어로 해석되는지를 뉴턴역학과 특수 상대성 이론을 통해 간단히 알아봤습니다. 이젠 우리가 어떻게 움직이는지에 대해 알아볼까 합니다. 누구에게나 친숙하지만 한번도 본 적 없는 물질, 원자 그리고 항상 곁에 있지만 느끼지 못하는 힘, 전자기력에 대해 배워보겠습니다.

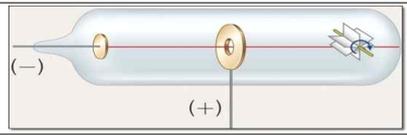
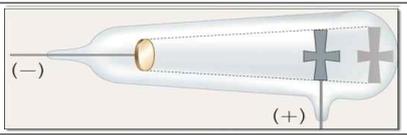
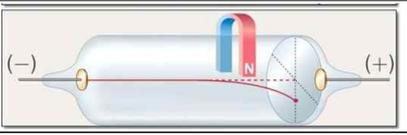
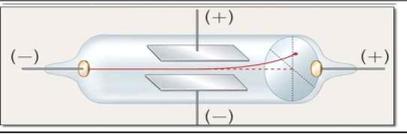
3. 세상의 전부를 알다.

1897년, 영국의 톰슨은 지금껏 보지 못했던 아주 작은 물질을 찾아냅니다. 음극선 실험을 통해서 말이죠. 음극선이 지나는 길에 자석을 두면(나중에 배우겠지만, 자기장을 걸면) 음극선이 휘어지는 효과를 발견합니다. 이로 인해 음극선이 전하를 띤다는 사실을 알게 되었죠. 이번엔 전기장을 걸어보았더니, 음극선이 (+)극으로 휘어지는 현상을 발견하면서 음극선은 음전하를 띤다는 성질을 밝혀냅니다. 또한, 그림자가 생기는 점, 음극선이 지나는 길에 바람개비를 놓으면 바람개비가 회전하는 점을 바탕으로 음극선은 질량을 가진 음전하를 띤 입자의 흐름임을 밝혀내게 됩니다. 이는 세상에서 가장 완벽한 구, 전자를 처음으로 발견하게 된 순간이었습니다. 톰슨은 이 전자를 발견하면서 원자가 양(+)전하를 띤 구 형태의 물질에 음(-)전하를 띤 전자들이 박혀있는 형태일 것이라는 결론을 내리게 됩니다. 백설기에 콩이 박혀있는 모형을 생각하시면 이해하기 좋을 것 같습니다.



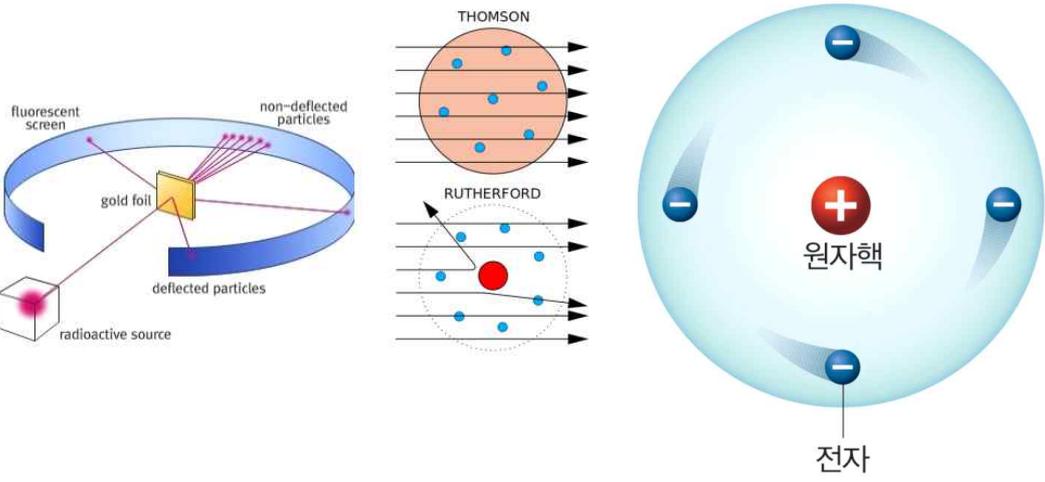
이해를 돕기 위해 그림을..그려왔습니다. 이해가 잘 안되신다면 제 그림 실력이 부족한 탓이니 그냥 저렇게 생각했구나 하고 넘어가주시면 감사할 것 같습니다.

톰슨은 왼쪽 그림과 같이 양전하 구에 전자가 박혀있는 모형을 원자의 모습이라 생각하였습니다. 밑에 표는 음극선 실험 내용입니다.

전자는 질량을 가지고 있다.	전자는 직진한다.
	
전자는 전기적 성질을 띤다	전자는 음전하를 띤다
	

나중에 밀리컨이 기름방울 실험을 통해 전자의 전하량은 1.69×10^{-19} C임을 밝혀 내게 됩니다. 여기서 C는 쿨롱이라는 단위입니다. 여기서 몇몇 분들은 전하(량)이 무엇인지 궁금해하시는 분들이 계실겁니다. 조금은 많이 왜곡된 발언이지만, 전기적 힘을 이끌어내는 물질의 고유한 성질이라고 생각하시면 좋을 것 같습니다. 우리는 앞서, 질량이 있어야 중력이 만들어짐을 배웠습니다. 마찬가지로, 전하는 전자기력이라는 전기적 힘을 일으키는 전자(와 뒤에서 배울 양성자)가 갖는 고유한 성질이라 보시면 좋을 것 같습니다. 그냥 물질이 가지고 있는 특성인 셈이죠!

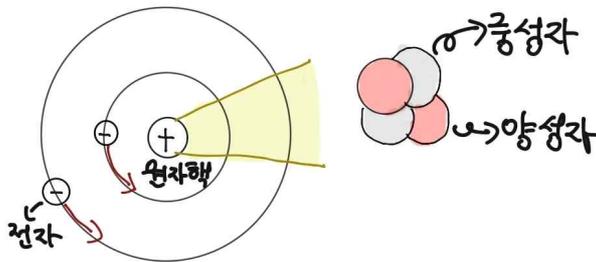
이후, 러더퍼드가 알파입자 산란실험을 통해 원자핵의 존재를 발견하게 됩니다. 이 실험은 알파 입자를 금박지에 쏘아 얼마나 튕겨져 나오는지 알아보는 실험이라 생각하시면 좋을 것 같습니다. 이 실험에선 대부분의 알파입자는 금박지를 통과하여 직진하고, 아주 극소수의 입자만 큰 각도로 튕겨져 나옴을 확인하였습니다. 이를 통해 원자의 대부분은 빈 공간이며, 원자의 중심에 양전하를 띤 무거운 입자가 좁은 공간에 위치하여 있음을 알 수 있게 됩니다. 원자의 모형을 알아내고 원자핵을 발견한 실험이었습니다. 아래 사진은 알파입자 산란실험 사진(왼)과 러더퍼드 원자 모형(오)입니다.



하지만, 러더퍼드의 이 모형은 널리 알려진 수소의 불연속적인 선 스펙트럼을 설명하지 못한다는 점과 러더퍼드 모형에 따르면 전자가 에너지를 잃게 되는 원자의

안정성, 두가지 문제점에 도달하게 됩니다. 이는 나중에 보어의 원자모형으로 해결이 되었으며 관련된 이야기는 조금 더 뒤에서 배우니까 지금 이해 안되신다고 너무 걱정하지 않으셨으면 좋겠습니다. 뒤에서 스펙트럼과 에너지 준위에 대해 배우고나서 다시 읽으시면 충분히 이해가실만한 내용이니 지금은 일단 넘어가주시면 감사하겠습니다.

우리는 그렇게 우주의 모든 것을 구성하는 물질, 원자를 발견했습니다. 세상의 주인을 처음으로 만나는 순간이었습니다. 그럼 원자는 무엇일까요?



원자는 우선 원자핵과 전자로 이루어져있습니다. 원자핵은 원자 질량의 대부분을 차지하며 양성자와 중성자로 이루어져있습니다. 이름만으로도 눈치채셨겠지만 양성자는 양(+)전하를 띠는, 중성자는 전하를 띠지 않는 기본 입자입니다. 따라서 원자핵은 양전하를 띠고 있습니다. 반대로 전자는 원자핵에 비해 질량을 무시해도 될 정도로 매우 가볍습니다. 음(-)전하를 띠며 원자핵

주위를 빠르게 회전하는 모습을 보입니다. 위 그림은 보어의 원자모형을 나타낸 것입니다. 보이시는 바와 같이 양성자의 수와 전자의 수가 동일하며, 둘의 전하량도 같습니다. 따라서 원자는 전기적으로 중성(전하를 띠지 않는) 상태입니다.

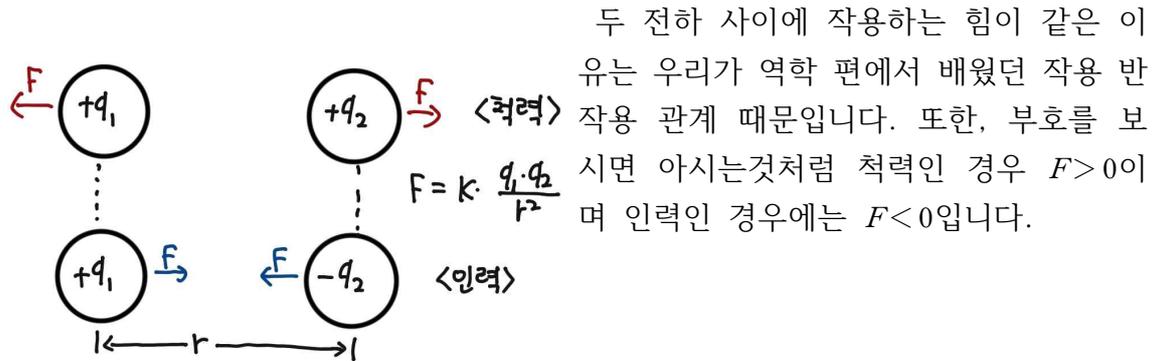
4. 우리와 우주 사이에 동일한 작용

형겅에 유리 막대를 문지르는 실험을 다들 해보셨을겁니다. 문지르다보면 유리막대의 전자가 형겅으로 이동하면서 전자의 이동에 의해 물체가 전기를 띠는 ‘대전’을 알아보는 시험이었는데요. 이런식으로 물체가 전하를 띠게 되면, 물체 사이에는 전기력이란 힘이 작용을 하게 됩니다.

전기력에는 다른 종류의 전하 사이에서 서로 끌어당기는 ‘인력’이란 힘과 같은 종류의 전하 사이에서 서로 밀어내는 ‘척력’이란 힘이 존재합니다. 프랑스의 물리학자 쿨롱은 전기력의 힘을 구할 수 있는 법칙을 발견하였고, 이를 쿨롱법칙이라고 합니다. 여기서 중요한 것은, 이 전기력을 구하는 식의 꼴은 우주를 설명하는 수식, 즉 만유인력의 수식과 상당히 비슷한데요. 쿨롱법칙에 의하면 두 전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 두 전하의 전하량인 q_1, q_2 의 곱에 비례하고 전하 사이

의 거리 r 의 제곱에 반비례합니다. 수식으로 표현하면 $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$ 로 만유인력을 나

타내는 수식이었던 $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ 와 상당히 유사함을 알 수 있습니다. 여기서 k 는 쿨롱 상수로 그냥 하나의 수입니다. 아래는 이해를 돕기 위한 그림입니다.



다시 원자로 이야기를 넘어가서 전자가 원자핵 주위를 회전할 때 원자핵과 전자 사이의 전기적 인력이 구심력으로 작용하여 전자가 끊임없이 원자핵 주위를 도는 원운동을 합니다. 러더퍼드 모형의 한계였던 원자의 안전성 문제를 해결하게 된 것이죠. 이때 전자가 가지는 에너지는 원자핵과 멀어질수록 0에 가까워지며 가까워질수록 점점 더 작아지게 됩니다. 이제 이 전자가 가지는 에너지에 대해 이야기 해봅시다.

5. 이동에는 에너지가 필요하다.

에너지를 다루기 전에, 간단하게 스펙트럼에 대해 알려드리려고 합니다. 스펙트럼이란 광원에서 나온 빛을 분광기에 통과시킬 때 빛이 파장에 따라 나누어져 나타나는 색의 띠를 이야기합니다. 말이 이해갈 듯 말듯하죠? 간단히 말해서 빛을 어떤 장치에 쏘았더니 조건에 따라 특정한 색의 띠로 나타난다는 뜻입니다! 빛은 파장에 따라 각각 다른 색들을 가지고 있으니깐요. 스펙트럼에는 크게 연속 스펙트럼과 불연속 스펙트럼(선 스펙트럼)으로 나눌 수 있으며, 이 선 스펙트럼은 방출 스펙트럼과 흡수 스펙트럼으로 나뉘어집니다. 연속 스펙트럼은 빛을 분광기에 통과시켜 여러 가지 파장의 빛이 연이어 나타나는 스펙트럼을 의미합니다. 고온의 기체를 분광시키면 방출 스펙트럼이, 빛을 저온의 기체에 통과시켜 분광하면 흡수 스펙트럼이 나타나게 됩니다.

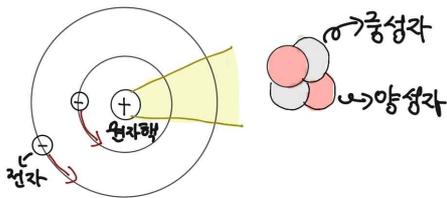
빛의 파장에 대해 참고로 조금만 더 이야기하자면, 파장이 짧을수록 빛의 진동수나 에너지는 커지게 됩니다. 파장과 진동수/에너지는 반비례 관계를 지니고 있죠. 또한 파장이 짧을수록 파란색 계열의 빛을, 길수록 붉은색 계열의 빛을 지닙니다.

스펙트럼은 원소의 종류에 따라 선의 위치와 수, 간격이 모두 다르기 때문에 선 스펙트럼을 분석하면 물질을 구성하는 원소의 종류를 알 수 있습니다. 아래 표는

이해를 돕기 위한 설명입니다.

스펙트럼을 얻는 과정	스펙트럼 예시
고온·고밀도의 광원 	 연속 스펙트럼
고온의 기체 	 방출선 스펙트럼
광원  저온의 기체	 흡수선 스펙트럼

보어의 원자 모형에 대해 조금 더 이야기를 해볼까 합니다. 보어의 원자 모형은 크게 두가지 가설을 가지고 출발합니다. 제 1가설은 ‘양자 조건’으로 전자는 각 궤도에서 특정한 에너지를 가진 채 원자핵을 중심으로 돌고 있으며 에너지를 방출하지 않는다는 조건입니다. 이때 원자핵에서 가장 가까운 궤도부터 $n=1, 2, 3, \dots$ 라고 하며, 여기서 n 을 양자수라고 합니다. 말이 조금 어렵죠. 아까 그랬던 보어의 원자모형을 다시 가져와보겠습니다.

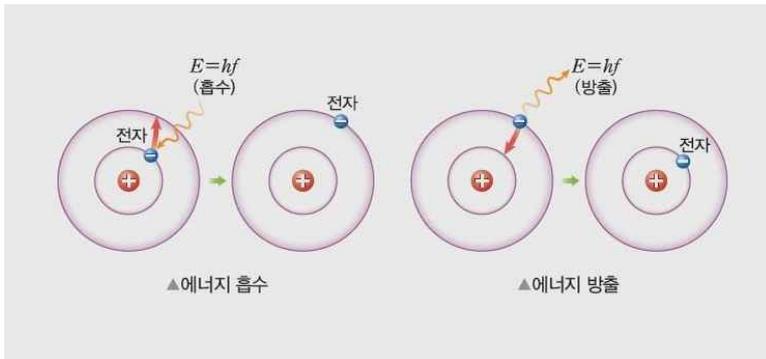


이 모형을 보시면 원자핵을 중심으로 궤도가 두 개 그려져있는 것을 보실 수 있습니다(임의로 두 개만 그린 것입니다). 이때 전자는 각 궤도 상에서만 위치하여 각 궤도마다 고유한 에너지값을 가진 채 원자핵을 중심으로 회전합니다. 원자핵과 가장 가까운 궤도부터 $n=1$ 이런 식으로 세기 시작합니다. 이처럼 전자의 에너지가 양자수와 관련된 특정한 에너지 값을

가지며 불연속적인 모습을 나타내는 것을 에너지 양자화라고 합니다. 쉽게 이야기해 계단이라고 생각하시면 됩니다. 계단의 높이가 변하는 곳은 비탈길처럼 연속적인 모습이 아닌 뚝 끊겨있죠? 에너지도 마찬가지입니다. 각 계단의 높이처럼 특정한 에너지를 가지며, 그 높이 사이의 에너지는 가질 수 없는 것입니다. 근데 우리는 계단을 오르고 내릴 수 있습니다. 그럼 에너지는 어떨까요?

제 2가설은 이 계단의 오르내림에 대해 설명하는 가설인 진동수 조건입니다. 쉽게 이야기해 전자는 특정 궤도에서 다른 궤도로 전이할 수 있습니다. 대신 여기엔

조건이 붙는데요. 정확히 각 궤도 사이의 에너지 준위의 차만큼 에너지를 흡수하거나 방출하면 다른 궤도로 전이할 수 있다는 것입니다. 절대로 부족해서도, 혹은 넘쳐나도 안됩니다. 어 근데 에너지 준위가 무엇인가요? 여기서 에너지 준위란 전자가 가지는 에너지 값이라고 생각하시면 되며 양자수가 커질수록(원자핵과 멀리 떨어질수록) 높은 에너지 준위를 가집니다. 참고로 전자가 낮은 에너지 준위에 있어 가장 안정적인 상태를 보이면 바닥상태, 높은 에너지 준위로 이동하면 들뜬 상태라고 표현합니다.

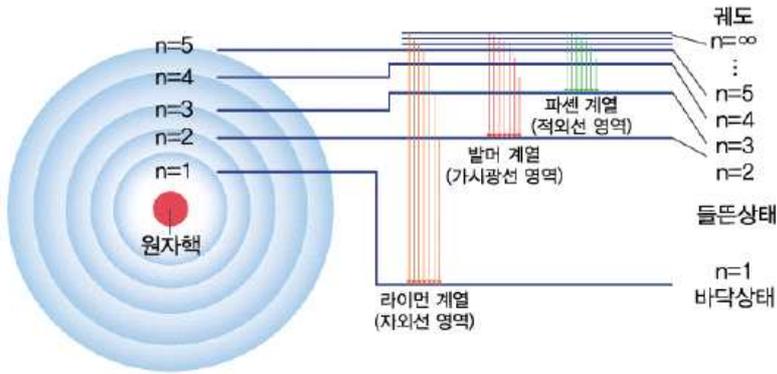


다시 진동수 조건으로 넘어와서 전자가 전이할 때는 에너지 즉, 빛을 방출하거나 흡수합니다. 이때 두 에너지 준위 사이의 에너지 차이는 $E = hf = \frac{hc}{\lambda}$ 로 구할 수 있습니다. 여기서 h 는 플랑크 상수, f, λ 는 각각 진동수와 파장을, c 는 빛의 속력을 의미합니다. 당연히 에너지를 흡수하려면 전자가 낮은 에너지 준위(작은 양자수의 궤도)에서 높은 에너지 준위(큰 양자수의 궤도)로 전이해야겠죠. 방출의 경우는 반대일겁니다. 위 그림은 전자의 전이에 관한 그림입니다.

이제 우리가 배운 것을 원자에 적용시켜봅시다. 가장 유명한 선 스펙트럼으로는 수소 원자를 들 수 있습니다. 수소 원자 내의 전자가 양자수 n 에 따라 가질 수 있는 에너지 값은 $E_n = -\frac{13.6}{n^2} \text{eV}$ 입니다. 뒤 eV는 단위이며 숫자는 무시하셔도 좋습니다. 양자수의 제곱에 반비례 한다는 것만 알아두시면 됩니다.

수소 원자 내에서 전자가 전이할 때, 양자수에 따라서 라이먼 계열, 발머 계열, 파셴 계열로 나뉩니다. 각 계열은 특정 파장의 영역을 지니고 있습니다. 아래 표로 간단하게 설명드리겠습니다. 그림은 참고하실만한 자료입니다.

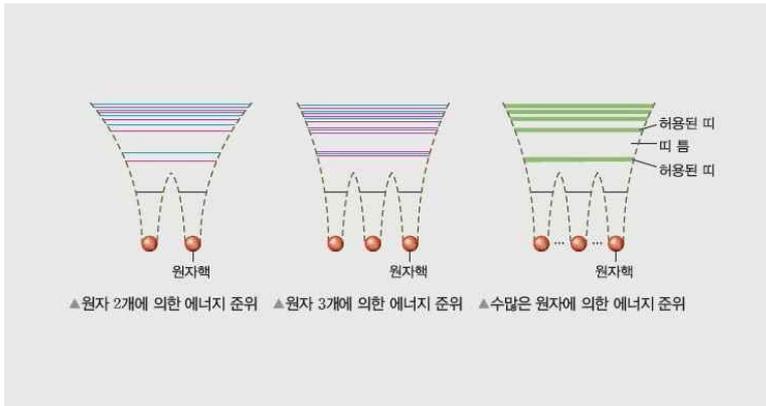
라이먼 계열	발머 계열	파셴 계열
전자가 $n \geq 2$ 인 궤도에서 $n = 1$ 인 궤도로 전이할 때 방출된다.	전자가 $n \geq 3$ 인 궤도에서 $n = 2$ 인 궤도로 전이할 때 방출된다.	전자가 $n \geq 4$ 인 궤도에서 $n = 3$ 인 궤도로 전이할 때 방출된다.
자외선 영역	주로 가시광선 영역 ($n \geq 7$ 에서 전이 >> 자외선)	적외선 영역



6. 원자는 불연속적이다. 그럼 물질은?

우리가 배운 에너지 준위는 원자 하나에 대해서만 다뤄봤습니다. 하지만 세상에 존재하는 모든 물질은 여러개의 원자로 이루어져있죠. 이때 물질의 에너지 준위는 어떻게 설명할 수 있을까요? 마지막으로 물질의 에너지 준위에 대해 배워보겠습니다.

기체는 원자 간 거리가 너무 멀어서 서로 영향을 받지 않습니다. 하지만 고체는요? 고체는 원자 간의 거리가 매우 작습니다. 따라서 에너지 준위가 서로 겹치는 일이 발생하게 되죠. 만약 이 에너지 준위가 수없이 모인다면 어떤 모양을 지니게 될까요? 아래 그림과 같이 연속적인 띠 형태를 이루는 모양일겁니다. 우리는 이러한 모양을 에너지띠라 부르며 각각 에너지 띠 사이의 간격을 띠틈(띠 간격)이라 합니다. 이 띠틈에는 전자가 절대 존재할 수 없습니다.



이때 전자가 채워진 영역 중 에너지 준위가 가장 높은 띠를 원자가 띠라 하며, 원자가 띠 바로 위의 전자가 채워지지 않은 띠를 전도띠라 합니다. 원자가 띠의 전자가 띠 간격 이상의 에너지를 흡수하여 전도띠로 전이하면 자유롭게 움직일 수 있습니다. 즉, 전기가 흐르게 됩니다.

우리는 전기가 잘 흐르는 물질을 도체, 그렇지 않은 물질을 절연체라고 배웠습니다. 그럼 도체와 절연체 사이에는 무슨 차이가 있길래 어떤 물질은 전기가 잘 흐르고, 어떤 물질은 그렇지 못한걸까요? 다음 시간에 에너지띠와 관련하여 이 차이를 설명해보고자 합니다.

우리는 전기가 잘 흐르는 물질을 도체, 그렇지 않은 물질을 절연체라고 배웠습니다. 그럼 도체와 절연체 사이에는 무슨 차이가 있길래 어떤 물질은 전기가 잘 흐르고, 어떤 물질은 그렇지 못한걸까요? 다음 시간에 에너지띠와 관련하여 이 차이를 설명해보고자 합니다.

7. 텅 빈 우주와 아름다운 우리

만약 원자가 축구장 크기라 한다면 원자핵은 축구장 정 가운데 놓여있는 구슬과 같습니다. 그 외의 공간은 모두 비어있다는 이야기입니다. 이정도로 원자는 빈 공간으로 이루어져있으며, 이런 원자로 구성된 우주도 실은 텅 빈 상태입니다. 하지만, 우리는 우주를 보면서 경외감을 느끼기도, 호기심을 느끼기도, 때로는 아름다움을 느끼기도 합니다. 실은 텅 빈 공간일뿐인데 말이죠. 우리도 모두 우주와 같습니다. 스스로는 아무것도 가진게 없는, 텅 빈 허울뿐이라 생각할 수 있지만 다른 사람이 봤을때는 우주에 수없이 놓여있는 빛나는 별들처럼, 또 그런 별들로 이루어진 아름다운 은하수처럼 보일것입니다. 항상 아름다울 여러분들을 위하여 글에 마지막 마침표를 찍어보고자 합니다. 웰컴이었습니다. 감사합니다.