

## 제 11회 137억년 우주의 진화 1강 노트

(박문호 박사님의 강의를 요약 정리한 내용입니다.)

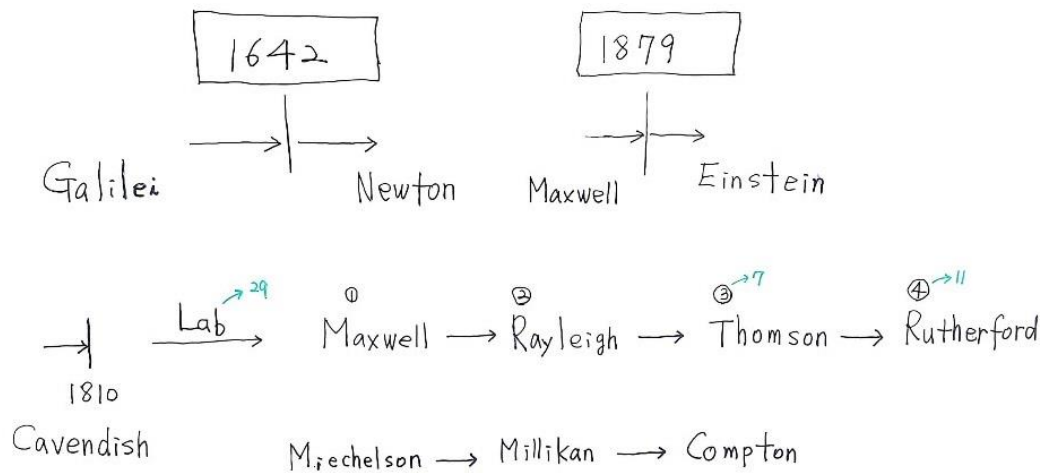
과학의 역사에서 가장 중요한 4사람을 소개하겠다.  
연대와 이름을 모두 기억해야 한다.

박자세 트레이닝 센터의 첫 번째 미션이 숫자 훈련이다.

숫자에 민감해야 한다.

동양은 숫자에 약하다. 산수는 있으나 수학이 없다. 그래서 서양에 뒤지게 되었다. 숫자에 민감해야 한다.

숫자는 꼭 암기해야 할 숫자 만 제시한다.



첫 번째 숫자가 1642년이다. 근대 과학이 이분으로부터 출발했다고 평가 받는 Galilei가 죽은 해이다.

이 해에 Newton이 출생했다.

두 번째 년도는 1879년이다. Maxwell이 사망하고 Einstein이 출생한 해이다.

년도와 이름을 반드시 기억해야 한다. 과학적 사고를 펼칠 때 기준점이 된다.

또 한 사람이 있는데 그 분이 죽은 년도는 1810년이다. 그분의 이름이 Cavindish이다.

만유 인력 상수를 정밀하게 측정했었다. 이름 뒤에 항상 Rab(연구소)이 붙는다.

캐빈디쉬는 굉장한 부자였다. 자기 재산 대부분을 캠브리지 대학에 기부하여 만들어진 것이 Cavindish Rab이다.

Cavindish Rab의 첫 번째 소장이 Maxwell이고, 두 번째가 Rayleigh, 세 번째가 Thomson. 네 번째가 Rutherford 였다.

Cavindish Rab 출신 29명, Thomson의 제자 7명, Rutherford의 제자 11명이 노벨상을 받았다.

왓슨과 크릭이 DNA 발견으로 노벨상을 받았는데 Cavindish Rab 출신이다.

다음으로 기억해야 할 사람들이 있다.

Michelson의 후계자가 Millikan이다.

Millikan은 유적 실험으로 유명하고, 전자의 전하 량과 질량의 비례를 처음으로 측정한 사람이다.

Millikan의 후계자가 Compton이다.

이 분들은 엄밀한 측정을 통해서 노벨 상을 받았다.

1917년 Millikan이 당시에 건물이 하나 밖에 없고 학부 졸업생이 10명 남짓하던 이름 없던 작은 대학으로 옮긴다.  
이 대학이 후에 칼텍이 된다.

천문학 매니아로서 팔모마 천문대와 여스키 천문대를 만든 헤일이 파격적 조건을 제시하여 Millikan을 칼텍으로 스카우트 했다. 헤일은 자신의 모든 에너지를 바쳐, 사람들이 과학에 기부하도록 만들었다.

헤일은 세계에서 제일 좋은 천문대를 미국에 만드는 것을 자신의 미션으로 했다.

세계적 공과대학이 만들어진 히스토리이다.

과학자도 훌륭하지만 과학을 스폰서한 사람들의 공헌도 중요하다.

악덕 재벌 여스키를 설득하여, 당시 굴절용 미러로서는 세계에서 제일 큰 여스키 천문대도 만들었다.

오늘의 강의 주제는 원자이다. 인류가 원자라는 개념을 획득하기까지 100년의 역사이다.

파인만은 지금까지 인류가 발견한 과학적 지식 중 가장 중요한 것은 "우주에 있는 모든 것은 원자로 이루어졌다"라는 지식이라고 했다

1803 Dalton 원자론 : 당구공 OO 화합물 : 원자 짝 결합

1869 Mendeleev

1885 Balmer 계열  $\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$

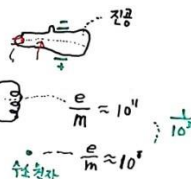
1887 Hertz 실험 전파 → 전기자기파 → 전자기파

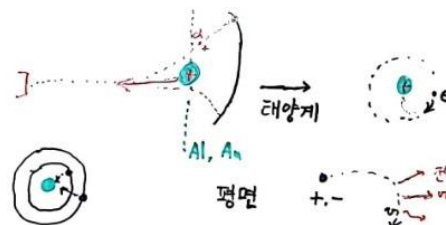
1895 Röntgen X-ray


1896 Becquerel 우라늄 방사선

1897 Thomson 전자 발견, CRT 음극선 관

1900 Max Planck 흑체복사 → 우주론  $E = nh\nu$


1903 Thomson 원자모델 :   $n = 1, 2, 3, \dots$   
1905 Einstein 특수상대론   
 $\frac{e}{m} \approx 10^{11}$   $\frac{1}{10^3}$   
 $\frac{e}{m} \approx 10^8$   $\frac{1}{10^5}$   
전자  
수소원자

1911 Rutherford 원자 모형 

1913 Niels Bohr 원자 모형   $L = n\hbar$

1924 De Broglie 물질파, Pauli 배타원리  $\lambda = \frac{h}{p}$

1925 Heisenberg 행렬역학  $\rightarrow$  양자역학

1926 Schrödinger 파동방정식  $H\psi = E\psi$  

1927 Heisenberg 불확정성원리  $\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$

Max Born 양자론 확률 해석  $\int \psi^* \psi d\tau = 1$

1928 Dirac 상대론적 파동방정식  $(i\gamma^\mu \partial_\mu - m)\psi = 0$

1932 Chadwick 중성자 발견

그리스 때 이오니아학과 데모크리투스가 원자론을 주장했다.  
그리고 2000년 동안 잊어 버렸다.

1803년에 와서 Dalton이 모든 것이 원자로 구성되어 있다고 주장했다. 수소 원자 무게가 1 Dalton이다.

1869년 Mendeleev가 주기율표를 발표했다.

1885년 Ballmer계열이 나온다. 발머는 고등학교 교사였다.

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

스펙트럼에 있는 선의 간극 사이를 수식으로 표현한 것이다. R은 Rydberg 상수이다.

케플러 법칙처럼 측정해서 나온 값이다. 이 공식이 의미하는 바를 100년 동안 아무도 몰랐다.

그것을 해결해 준사람이 닐스 보어이다.

1885년은 Niels Bohr가 태어난 해이다.

1887년은 Hertz가 처음으로 전파를 만든 해이다. 전파는 전기자기파의 약어이다.

1895년 현대적 과학이 시작한 해이다. 뢰트겐이 X-ray를 발견했다. 반지를 낀 부인의 손을 X 선으로 촬영한 사진이 전 세계 언론에 실리고, 발표 1년 내에 X-ray에 관한 책이 40권 넘게 출판되었다.

1896년 Becquerel이 우라늄에서 방사선을 발견한다. 지금도 방사선 단위는 베크렐을 쓴다.

1897년 Thomson이 전자를 발견한다. CRT(cathode ray tube: 음극선 관)에서 전자를 발견했다.

톰슨은 이것이 전자라는 것을 몰랐고, 노벨상 수상 소감에서도 전자라고 하지 않고 미립자라고 했다.

진공을 만드는 기술은 근대 과학 전체를 관통하는 기술이다.

인류가 확산하고 근대화 되는 과정은 3개의 업자를 추적해 보면 알 수 있다.

모피, 광산, 포경 업자이다. 산업혁명만 광산 업자와 관련이 깊다.

진공 기술은 광산 업자와 관계된다. 광산을 개발할 때 나오는 지하수 해결을 위해 진공 펌프가 필요했던 것이다.

반도체 기술도 분리해보면 사진 기술과 진공기술이다.

현대 모든 기술은 진공이 없으면 일어날 수 없다. 진공 속이 아니면 전자를 분리하거나 제어할 수 없다.

진공 기술이 인류 모든 산업의 바탕이다.

1900년 Max plank의 흑체 복사 이론이 나온다. 이것이 우주론과 연결 된다.

흑체복사의 에너지가 플랑크 상수라는 특정한 상수와 진동수의 곱의 정수배가 되어야 한다는 주장

1903년 Thomson의 원자 모델이 발표된다.

1905년 아인슈타인의 특수상대성 이론이 발표된다.

1911년 Rutherford의 원자모형이 나온다.

1913년 Niels Bohr의 원자 모형이 나온다.

지금 우리가 갖고 있는 원자에 대한 개념은 100년 이상 뛰어난 과학자들의 실험과 노력을 통해서 이룩된 것이다.

1924년 De Broglie의 물질파(matter wave)이론이 나온다.

1924년 Pauli의 배타원리가 나온다. 주기율표는 이 배타원리에 의해서 만들어 진다.

1925년 Heisenberg의 행렬역학이 출현한다.

1926년 Schrodinger의 파동방정식이 나온다.  $H\Psi=E\Psi$

행렬역학과 파동 방정식을 합해서 양자역학이라고 한다.

1920년대는 지적 폭발이 일어난 시대이다.

1927년 Heisenberg의 불확정성 원리가 발표된다.  $(\Delta x)(\Delta p) \geq \frac{\hbar}{2}$

Max Born의 양자역학의 확률해석이 나온다.  $\int_{-\infty}^{\infty} \Psi^* \Psi d\tau = 1$

이것을 코펜하겐 해석이라 하며, 이 확률해석으로 Max Born은 노벨상을 받는다.

1928년 Dirac의 상대론적 파동방정식이 나온다.  $(i\gamma^\mu \partial - m)\Psi=0$

상대성 이론을 적용한 파동방정식이다. spin과 반물질이 이 방정식에서 나온다.

1932년 Chadwick이 중성자 발견

인류가 원자를 이해하는 데 이렇게 많은 천재들이 매달려 100년 이상이 걸렸다.

원리적으로는 원자를 알면 모든 것을 알 수 있다.

원자는 원자핵과 전자로 이루어져 있다. 원자핵은 양성자와 중성자로 구성된다.

중성자가 이렇게 늦게 발견된 것이다. 원자 폭탄이 투하되기 겨우 13년 전에 중성자가 발견되었다.

1897년에 톰슨이 전자를 발견하였다. 양성자는 러드포드가 발견한 것이나 같다. 양성자라고 하지는 않았지만 원자 속에 양 전하를 가진 딱딱한 물질이 있다는 것을 알았다. 러드포드가 평생 연구한 것이 사실은 양성자였다.

그리고 20여년이 지난 후 Chadwick이 중성자를 발견한다.

여기까지가 원자라는 개념의 일단락이다.

연도와 이름을 반드시 기억하기 바란다.

양자역학에 필요한 3가지 공식이다.

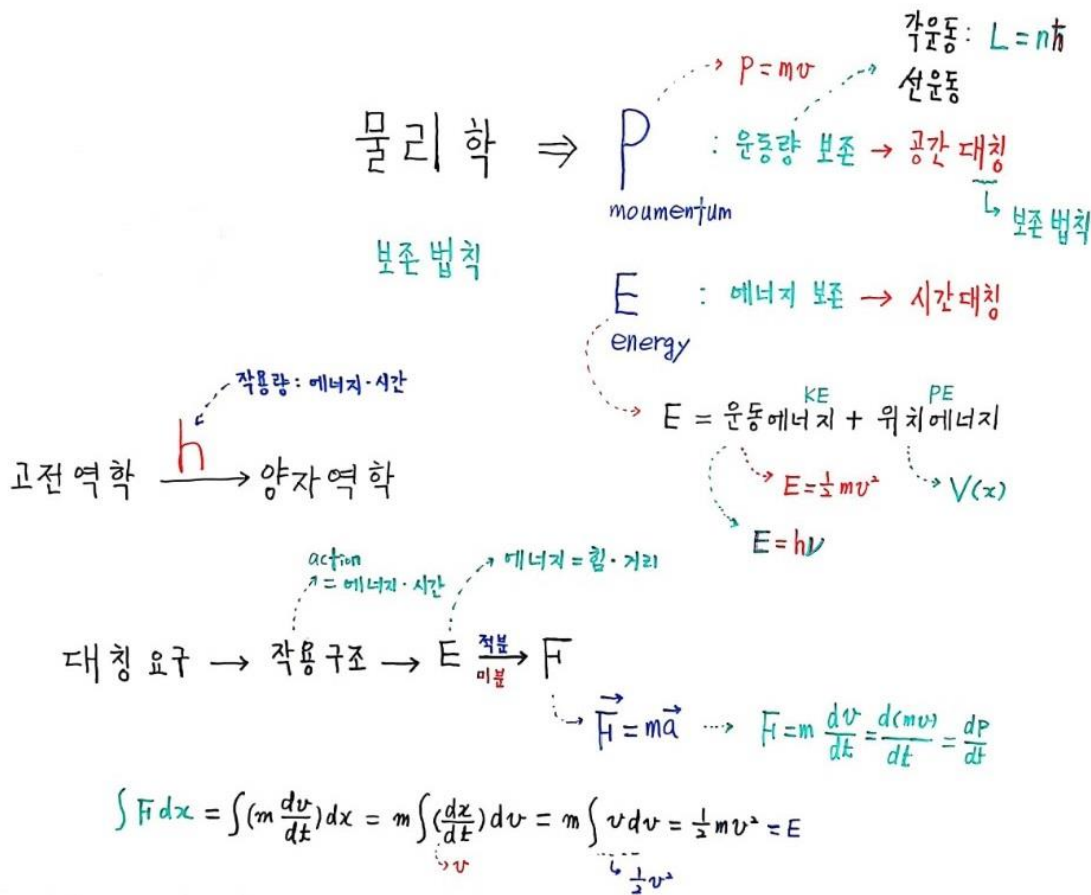
첫 째가 막스 프랑크의  $E=nh\nu$  이다. 여기서  $n$ 은 1, 2, 3 등으로 정수이다.

이것이 quantum이다. 실제로 양자역학이란 단어를 만든 사람은 막스 본이다.

고전 역학에서는 모든 것이 연속적이다. 당연히 에너지도 연속적이어야 한다.

그러나 막스 프랑크는 인류 역사상 처음으로 에너지가 불연속적이라고 가정했다.

두 번째는 드 브로이의 물질파 공식  $\lambda = \frac{h}{p}$  이다. 물질을 웨이브로 보았다.



모든 학문은 카운트하는 학문이다.

경제학은 돈을 카운트하고, 전자공학은 전자를 카운트하고, 양자역학은 파동을 카운트하는 학문이다.

인간의 브레인이 할 수 있는 것은 양을 비교하고 수를 헤아리는 것이다.

핵심은 헤아린다는 것이다. 그래서 트레이닝 센터 개소식에서 나의 첫 번째 일성이 숫자에 민감해야 한다는 것이었다. 그러면 모든 학문이 가능하다. 양자역학은 에너지를 카운트하는 학문이다.

에너지가 파동이다. 파동의 숫자를 카운트하는 것이다.

물리학은 운동량(momentum)과 에너지(energy)의 보존법칙(conservation law)을 다루는 학문이다.

보존법칙이 대칭이고 반드시 지켜야 한다. Hierarchy로 되어 있다. 계층구조로 되어 있으므로 물리학에는 반드시 대장이 있다. 대장 만 정확히 알면 나머지는 대장에서 유도되어 나온다.

보존법칙에 2 개가 있다. 운동량 보존법칙과 에너지 보존 법칙이다.

보존은 존재한다는 말이다. 존재한다는 것은 사라지지 않는 것이다.

사라지지 않은 것을 보존되었다고 한다.

보존은 공간과 시간에서 존재하는 것이다.

2 개의 공간에는 동시에 존재할 수 없다. 존재의 정의이다.

존재가 존재하는 2 가지 집이 있다. 공간과 시간이다.

운동량 보존이 공간 대칭이고, 에너지 보존이 시간 대칭이다. 물리학은 이것 밖에 없다.

대칭이란 말이 보존법칙을 의미한다.

물리학의 계층구조를 살펴보자

먼저 보존 법칙의 명령이 내려 온다.

하늘에 있는 존재의 element 와 지구에 있는 존재의 element 가 동일하다는 것을 알고는 과학자들이 종교에서 점점 멀어지기 시작했다. 하늘의 원리와 땅의 원리가 동일하다고 깨닫는 것이 중요한 사건 이었다.

$P=mv$  이다.

운동량은 각 운동과 선운동이 있다. 각 운동은 간단히 말해서 원 운동이다. 선 운동은 원을 그리지 않는 모든 운동이다. 이 각 운동과 선 운동이 보존되어야 한다.

에너지에는 운동 에너지와 위치 에너지가 있다.  $E=KE+PE$  이다.

운동 에너지  $E=\frac{1}{2}mv^2$  이다. 위치 에너지는  $V(x)$ 로 표시한다.

운동 에너지에서 파동을 다루는 에너지는  $E=h\nu$  이다.

고전역학에서 양자역학으로 가는 데는 프랑크 상수( $h$ )만 붙여주면 된다.

각 운동량은  $L=n\hbar$  이다. 여기서  $n$  은 1, 2, 3...정수이다.

물리학에는 대 전제가 있다.

먼저 대칭의 요구에 의해 작용의 구조가 결정되고, 작용의 구조에 의해서 에너지가 나온다.

그리고 에너지를 미분하면 힘(force)가 나온다. Force 의 세계가 고전역학, 즉 뉴턴 역학의 세계이다.

force 를 적분하면 에너지가 된다. 에너지=힘×거리 이다.

작용(Action)은 에너지 보다 더 포괄적이다. 작용=에너지×시간 이다.

작용의 단위가 플랑크 상수  $h$  이다.

force 에 관한 공식은 뉴턴이 만들어 내었다. 그래서 인류의 가장 훌륭한 과학자로 칭송 받는다.

$F=ma$ , 여기서 가속도  $a$  는 속도의 시간적 변화이다. 속도를 시간으로 미분하면 된다.

그래서  $F=ma$  는  $F=m \frac{dv}{dt} = \frac{d(mv)}{dt} = \frac{dp}{dt}$  가 된다. 운동량의 시간적 변동량이 힘이다.

힘을 거리에 대하여 적분하면 에너지가 나온다.

$$\int F dx = \int \left( m \frac{dv}{dt} \right) dx = m \int \left( \frac{dx}{dt} \right) dv = m \int v dv = \frac{1}{2} m v^2 = E$$

$E = \frac{1}{2} m v^2$  이 된다.

물리학은 단위를 암기해야 한다.

물리학은 운동량과 에너지 2 가지를 연구하는 학문인데, 단위로 보면  $h$ (플랑크 상수) 와  $k$ (볼츠만 상수)만 알면 된다. 웬만한 문제는 이 2 개의 단위 속에 있다.

$$h = 4.136 \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$$

$$h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

$$\mu_B = \frac{eh}{2m_e} = 5.8 \times 10^{-5} \text{ eV/T}$$

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} = 6.58 \times 10^{-16} \text{ eV} \cdot \text{s}$$

$$k_B = \frac{R}{N_A} = \frac{8.314 \text{ J/mol} \cdot \text{K}}{6.02 \times 10^{23} / \text{mol}} = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

$$1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$R = 1.097 \times 10^7 \text{ m}^{-1} \quad \frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

프랑크 상수의  $h$  는 작용량이다. 에너지와 시간의 곱이다.

$\mu_B$  (Bohr magneton): 원자나 전자 등 미시 세계에서 자기 모멘트(magnetic moment)의 크기

여기서 T 는 tesla 이다. 7 tesla 라는 지구 자장의 70 만배에 이른다. 보통 병원에서의 MRI 가 1.5 tesla 정도이다.

$K_B = \frac{R}{N_A}$  볼츠만 상수는 이상기체 상수(R)를 아보가드로 수로 나눈 값이다. J/K 에서 K 는 온도이다.

mol 은 동일한 원자 혹은 분자가  $6.02 \times 10^{23}$  개 모인 숫자의 단위이다.

R: Rydberg 상수

### <원자 모형의 변천>

달톤의 원자 모형은 당구 공이다. 모든 화합물은 원자가 정수 배로 결합된 것으로 보았다.

그래서 물을 H<sub>2</sub>O 가 아닌 HO 로 표현했다.

톰슨의 원자 모델은 양전하를 띤 식빵 속에 전자가 건포도처럼 수천 개 박혀 있다고 생각했다.

plum pudding model 이라고 한다.

원자에서 나온 전기를 띤 미립자의 질량이 원자의 1/1000 정도라는 것을 알았다.

전기 전하 량과 전자 질량의 비율을 측정하여 알게 되었다.

그는 음극선이 수소 원자의 1/1000 정도의 질량을 지닌 음으로 하전된 미립자이며, 원자들은 바로 이 미립자들로 구성되었다고 주장했다.

하지만 톰슨은 자신이 과학자로 활동하는 동안 '전자'(electron)라는 단어를 쓰기를 꺼려했다. 사실상 '전자' 발견 공로로 노벨상을 받을 때에도 그는 전자라는 말 대신에 '미립자'(corpuscle)라는 말을 사용했다. 톰슨은 소위 전자론에 대해 저항감을 지니고 있었으며, 자신이 발견한 미립자의 전기적 특성도 물질 입자와 에테르와의 상호 작용에 의한 것이라고 생각했다.

그럼에도 불구하고 톰슨이 전자의 발견자로 기록된 이유는 그가 전자라는 것을 확인할 수 있는 실험적 현상을 정확히 보여주었기 때문이다. 즉 전자를 분리해내고, 측정하고, 조작할 수 있는 확실한 방법을 보여줌으로써 전자가 실재한다는 것을 실험적으로 증명했기 때문에 톰슨이 전자를 발견했다고 본다는 것이다.

### Rutherford 의 원자 모형

Rutherford 는 평생 알파 입자 산란 실험을 했다. 알루미늄 호일과 금박에 알파 입자를 쏘면서 산란 각도 등을 관찰했다. 어느 날 알파 입자가 반대 방향으로 정면으로 튀어 나오는 현상을 발견하였다. 8000 개 중 1 개 정도가 반대로 튀어 나왔다.

1911년 러더퍼드는 맨체스터 연구팀이 해낸 알파입자에 의한 실험의 결과를 종합하여, 원자의 중심의 아주 작은 영역에 양의 전하를 지닌 원자핵과 그 주위를 도는 전자들로 이루어져 있다는 새로운 태양계 원자모형을 제시했다.

### Neils bohr 의 원자 모형

고전 전자기학의 입장에서는 러더퍼드의 원자 모형은 존재할 수 없다. 전기를 띤 입자가 원 운동을 하면 반드시 전자기파가 나오고 에너지를 방출하게 된다. 에너지가 손실되면 궤도의 반경이 줄어들고 결국에는 원자와 충돌하게 되어 존재할 수 없게 된다.

닐스 보어는 이 문제를 갖고 고민한다. 원자가 존재하려면 붕괴하지 않아야 된다.



전자가 계속 원 운동을 하는 조건이 양자화 조건이며, 그 조건이  $L=n\hbar$  이다.

이것을 풀면서 원자의 반지름과 원자의 에너지가 밝혀 지게 되었다.

#### 슈뢰딩거 모델

현재의 원자 모델은 슈뢰딩거 모델이다.

러드포드와 보어의 원자 모델은 평면이다. 슈뢰딩거 모델에서는 전자가 궤도 주위에 흩어져 있다.

또한 근본적인 차이는 궤도를 전자가 원운동을 하는 것이 아니고, 각 궤도에 확률적으로 존재한다는 것이다.

100% 그 궤도에 있지는 않지만 95% 이상으로 닐스 보어가 계산한 궤도에 존재한다는 것이다.

#### (2 교시)

지식은 평등하지 않다. 핵심 내용에 집중해야 한다.

물리학에는 운동량과 에너지 밖에 없다는 것을 몸에 화두처럼 심어야 한다.

결정적 지식이 몸에 심어지면 그 지식이 질문을 한다. 결정적 지식은 한 분야에 2-3 개 정도 밖에 되지 않는다.

인문학은 “인간을 위한, 인간에 의한, 인간의 학문이다”

그리스 철학자 중 한 분은 “내가 인간이므로 인간에서 일어나는 일에 대하여는 웬만큼 안다” 라고 말했다.

특별히 인문학 할 필요가 없다는 말이다.

그러나 자연과학은 그렇지 않다. 자연과학에서는 짐작조차도 하지 못한다. 자연과학에서는 자기 의견은 중요하지

않다. 자기 의견이 있으면 오히려 위험하다.

자연과학 공부는 교과서에 있는 수식이나 기본 유니트를 먼저 통째로 외워야 한다.

그러다 보면 어느 순간 자기 브레인이 바뀌는 것을 알 수 있다.

그때부터 전체를 통합적으로 설명할 수 있다는 것이 보이기 시작한다.

제가 여기서 이야기하는 년도, 이름, 숫자, 식을 통째로 외워야 한다. 다른 책 볼 필요가 없다.

원자를 안다는 것은 원자의 크기와 원자의 에너지를 안다는 것이다.

숫자로 제시하지 못하면 과학이 아니라 철학이 된다.

$F = ma$   
 $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v \Delta \theta}{\left(\frac{r \Delta \theta}{v}\right)} = \frac{v^2}{r}$   
 $F = ma = \frac{mv^2}{r}$   
 $F = \frac{ke^2}{r^2}$   
 $\frac{mv^2}{r} = \frac{ke^2}{r^2}$   
 $mv^2 r = ke^2$   
 $r = \frac{ke^2}{mv^2}$   
 $L = n\hbar$   
 $\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$   
 $L = r p = r(mv)$   
 $v = \frac{L}{mr} = \frac{n\hbar}{mr}$   
 $r = \frac{ke^2}{mv^2} = \frac{ke^2}{m \left(\frac{n\hbar}{mr}\right)^2} = \frac{ke^2 m r^2}{(n\hbar)^2}$   
 $r = \frac{ke^2 m r^2}{(n\hbar)^2}$   
 $r = \frac{ke^2 m}{(n\hbar)^2}$   
 $r_n = a_0 n^2$   
 $a_0 = 0.53 \text{ \AA} = 0.053 \text{ nm}$

양 전하를 띤 원자핵을 전자가 돌고 있다.

$F=ma$  에서 시작한다.  $a$  는 가속도이다. 속도의 변화이다  $a = \frac{dv}{dt} = \frac{v \Delta \theta}{\frac{r \Delta \theta}{v}} = \frac{v^2}{r}$

원운동에 있어서 가속도는 속도의 제곱을 반지름으로 나눈 값이다.

그래서  $F=ma = \frac{mv^2}{r}$  이 된다.

원운동에는 당기는 힘이 있어야 한다.

원자는 전자기력이 있어서 원자핵과 전자가 상호 당기고 있다.

전자기 상호 작용 즉 쿨롱포스(Coulomb force)라고 한다.

$F = \frac{Ke^2}{r^2}$  이다. 양성자와 전자의 전기량이 같으므로  $e^2$  이 된다.

그래서  $\frac{mv^2}{r} = \frac{Ke^2}{r^2}$  이 된다. 그러면  $mv^2 r = ke^2$ ,  $r = \frac{ke^2}{mv^2}$

$ke^2 = 1.44 \text{ eV} \cdot \text{nm}$ ,  $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ ,  $m = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$

그런데 아직 속도를 모른다.

닐스 보어는 새로운 이론이 필요 했다.

각 운동량이 양자화 되어 있다는 가정을 도입하였다.

$L = n\hbar$ ,  $L = r \times p = r(mv)$

$v = \frac{L}{mr} = \frac{n\hbar}{mr}$

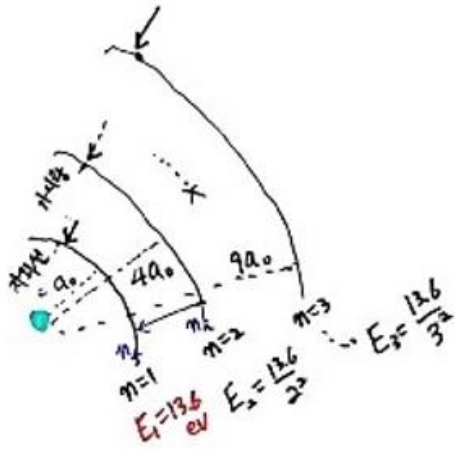
$$r = \frac{ke^2}{mv^2} = \frac{ke^2}{m \left(\frac{n\hbar}{mr}\right)^2} = \frac{ke^2 m r^2}{(n\hbar)^2}$$

$$r = \frac{ke^2 m r^2}{(n\hbar)^2}$$

$$r = \frac{ke^2 m}{(n\hbar)^2}$$

$r = \frac{n^2 \hbar^2}{ke^2 m} = \left(\frac{\hbar^2}{ke^2 m}\right) n^2$ ,  $\frac{\hbar^2}{ke^2 m} = a_0$ ,  $a_0 = 0.53 \text{ \AA} = 0.053 \text{ nm}$

$r_n = a_0 \cdot n^2$   $n=1, 2, 3, \dots$



원자의 반지름을 알게 되었다.

전자가  $n=1$  궤도로 떨어지면 자외선이 나오고,  $n=2$  궤도로 떨어지면 가시광선이 나오며,  $n=3$  궤도로 떨어지면 적외선이 나온다. 원자 크기 반지름에 더해서 빛의 비밀까지 알게 되었다.

그러면  $n=1, 2, 3$ , 외에 왜 중간 궤도는 없는가?

파장의 개수가 정수로 된 파장만이 살아 남는다. 파장의 개수를 카운트하는 것이 양자역학이다.



$$\begin{aligned}
 2\pi r &= n\lambda \\
 \lambda &= \frac{h}{p} \\
 2\pi r &= n \frac{h}{p} \rightarrow r p = n \left( \frac{h}{2\pi} \right) = n\hbar \\
 p &= m v \\
 r p &= n\hbar \rightarrow r m v = n\hbar \\
 L &= n\hbar
 \end{aligned}$$

원 둘레  $2\pi r = n\lambda$  (파장의 수  $\times$  파장의 길이)

드브로이의 물질파  $\lambda = \frac{h}{p}$  를 대입하면

$$2\pi r = n\frac{h}{p}, \quad rp = n\frac{h}{2\pi} = n\hbar, \quad rp = n\hbar, \quad rmv = n\hbar \rightarrow L = n\hbar$$

이 후에 드브로이의 물질파 방정식을 대입해 보니, 닐스 보어의 가정이 맞는 것으로 나타났다

$$E = KE + PE = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{ke^2}{r}$$

$$E = \frac{mv^2}{2} - \frac{ke^2}{r} = \frac{ke^2}{2r} - \frac{ke^2}{r} = -\frac{ke^2}{2r}$$

$$mv^2r = ke^2$$

$$mv^2 = \frac{ke^2}{r}$$

$$E = -\frac{ke^2}{2r} = \frac{-ke^2}{2a_0n^2} = -\left(\frac{ke^2}{2a_0}\right)\frac{1}{n^2} \quad E_I$$

$$E = -\left(\frac{1.44 \text{ eV} \cdot \text{nm}}{2 \times 0.053 \text{ nm}}\right)\frac{1}{n^2} = \frac{-13.6 \text{ eV}}{n^2} = \frac{-E_I}{n^2} = \frac{-13.6 \text{ eV}}{n^2}$$

토탈 에너지는 운동에너지와 위치 에너지의 합이다.

$$E = KE + PE = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{ke^2}{r}$$

에너지는 힘에 거리를 곱한 것이다

전자기 상호 작용은 force 를 반지름에 대하여 적분한 값이다.

$$\int \frac{ke^2}{r^2} dr = \frac{-ke^2}{r}$$

수소 원자의 힘은 전자가 돌아가는 힘과 전자가 양성자에 끌려가는 힘 2 가지 이다.

토탈 에너지는 전자가 양성자의 쿨롱 포텐셜에 갇혀서 원 운동을 할 때 갖는 전자의 에너지이다.

양성자가 없으면 운동에너지 밖에 없다. 양성자가 있기 때문에 위치 에너지가 있다.

수소 원자의 에너지는 양성자와 전자가 이룬 시스템 전체의 에너지 이다.

결론적으로  $E = -13.6 \text{ eV}/n^2$  이다.

CMB:  $230 \mu\text{eV} \rightarrow 230 \times 10^{-6} \text{eV} \Rightarrow 2.7 \text{K}$   
 $\rightarrow -270^\circ\text{C}$   
 R.T.:  $25 \text{meV}$   
 $1000 \times 1000 \times 1000 \Rightarrow \text{stat.} \dots 3\%$   
 CMB

$\text{Si}$  band gap:  $1.1 \text{eV}$

가시광선:  $1.5 \sim 3.5 \text{eV}$

전자 질량:  $0.511 \text{MeV}$

양성자:  $938.3 \text{MeV}$

중성자:  $939.5 \text{MeV}$

수소 이온화:  $13.6 \text{eV}$

Higgs 입자:  $125 \text{GeV}$

CERN LHC:  $13 \text{TeV}$

모기:  $1 \text{TeV}$

CMB: cosmic microwave background

CMB 는 온도로 환산하면  $2.7\text{K}$  이다.  $-270^\circ\text{C}$  이다.

굉장히 미약한 빛이다. 그렇지만 우주에 있는 모든 별이 내는 빛을 합해도 우주 CMB 합이 3% 밖에 되지 않는다.

우주론은 CMB 를 연구하는 학문이다.

R.T: room temperature

전자 질량을 에너지로 환산하면  $0.511\text{MeV}$  가 된다.

수소 이온화 에너지는  $13.6\text{eV}$  이다.

CERN 의 LHC(large hadron collider)가 만들 수 있는 최대 에너지가  $13 \text{TeV}$  이다.

모기 한 마리가 날아다닐 때 에너지가 대략  $1 \text{TeV}$  이다.

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) \xrightarrow{n=2 \rightarrow n=1} \frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right) = \frac{3R}{4}$$

$$\lambda = \frac{4}{3R} = \frac{4}{3 \times 1.097 \times 10^7 \frac{1}{\text{m}}} = 121.5 \text{nm}$$

$\nearrow$  Lyman의 자외선

발머 계열에서  $R$  은 Rydberg 상수이다

$R = 1.097 \times 10^7 \frac{1}{\text{m}}$  이다.

계산하면 자외선의 파장이  $121.5\text{nm}$  가 된다.

광속도  
주파수  
파장

$$C = \nu \lambda$$

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/sec}}{121.5 \times 10^{-9} \text{ m}} = 2.47 \times 10^{15} \frac{1}{\text{sec}}$$

$$= 2.47 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

광속도(c)=주파수( $\nu$ )×파장( $\lambda$ ) 이다.

$$\text{주파수}(\nu) = \frac{c}{\lambda}$$

자외선의 주파수는  $2.47 \times 10^{15} \text{ Hz}$  가 된다.

빛의 율동이 1 초에 100 억번 한다. 1 초에 100 억번 ON-OFF 가 가능하다. 그래서 광통신이 일어난다.  
영화 한편을 1 분만에 다운로드 가능해 진 것이다.

다른 책이나 공부 생각하지 말고

지금 적어 주는 기본 단위의 숫자를 통째로 암기하는 것이 공부의 가장 지름길이다.

<공부를 즐겁게 하는 방법>

이해 하겠다는 욕심을 내려 놓아야 한다.

나는 이해를 요구하지 않는다. 하나도 몰라도 좋다. 암기만 하면 된다,

그러면 1 년 내로 전체를 알 수 게 된다.

질문을 STOP 해야 한다.

질문하는 것은 알고 싶다는 뜻이고, 이해 하지 못했다는 것이다.

관찰해 봤더니 그런 사람은 평생 질문만 하더라.

이해하는 데는 10 년이 걸릴 수 있다. 그러나 암기는 하루면 된다.

하루를 투자하지 않고 10 년을 헛갈리고 있다.

그렇게 하는 이유는 이해해야 안다고 생각하기 때문이다.

그렇지 않다. 여기 적은 것 중 이해되는 것 없다. 닐스 보어가 이해하고  $L=n\hbar$  라고 정하지 않았다.

막다른 골목에 몰려 이렇게 하자고 했다.

막스 프랑크도 죽을 때까지 양자를 인정하지 않았다. 이해하지 못했기 때문이다.

파인만은 "양자역학을 이해했다는 말은 완전한 거짓말이다"라고 했다.

양자역학은 이해할 수 없다.

양자역학은 이해되는 것이 아니고 수식으로 보여 줄 뿐이다.

우리는 원자 구조 속으로 들어 갈 수 없다.

양자 역학 속의 논리는 인간 세계의 논리가 아니다.

오직 수식으로 보여 줄 수 있을 뿐이지 우리가 이해할 수 있는 것이 아니다.

양자역학을 이해했다고 하는 것은 거짓말이다.

그래서 우리는 자유로워 진다.

아인슈타인과 닐스 보어의 논쟁은 아직 끝나지 않았다.

지금 우주에서는 해결 되지 않는다. 우리 우주를 벗어나 다중 우주를 상정해야 할지도 모른다.

오는 강의는

광자, 전자, 양성자 이야기이다. 양성자 전자를 풀었더니 빛이 나왔다.

자연과학에는 전자, 양성자, 광자 외에 다른 것은 없다.

오늘 나온 양자역학의 역사와 수식을 통째로 암기하기 바란다

숫자에 민감해야 한다.

수고하셨습니다.