

제 36회 과학리딩 노트

(박문호 박사님의 강의를 녹취한 내용입니다.)

강의 맨 처음에 하는 말이 제일 중요하다.

432 885

지난 주 강의의 핵심은 3가지 이다.

1. 주기율표는 수 시스템이다.
2. 92개 원소 중 지구에서 만든 것은 하나도 없다.
3. 지구는 결합한다.

주기율표에서 이 밴드 위는 비 금속이고 나머지는 전부 금속이다.

자연 과학에서 가장 중요한 것이 에너지이다. 에너지는 어디로 흘러 가는가?

자연은 안정화를 원하므로 에너지는 낮은 곳으로 흐른다.

안정된 것은 지속 가능하다. 안정하지 않은 것은 붕괴된다.

자연과학은 이 두 가지 개념이다.

바위 등 결정은 안정된 것이다. 수 천년 심지어 수십 억년이 지나도 그대로 있다.

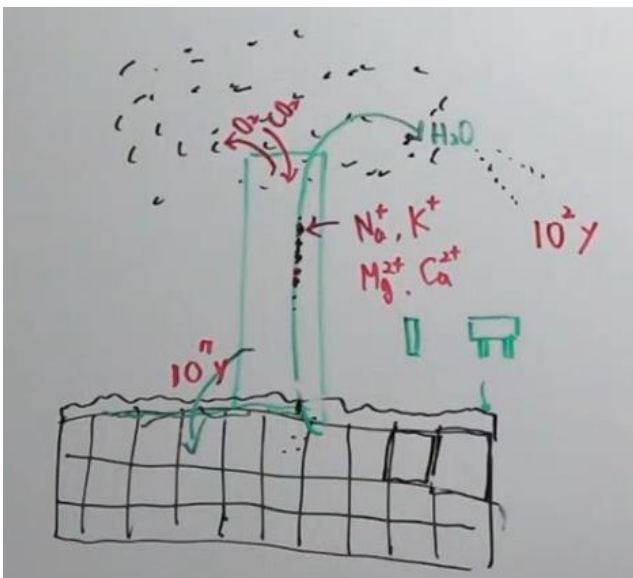
생명처럼 불안한 것은 100년도 못 간다.

에너지는 결합에너지와 운동 에너지가 있다.

결합<운동: 기체, 모아 놓을 수 없다. 분산된다.

결합=운동: 액체, 생명체, 기체와 고체를 연결

결합>운동: 고체, 결정구조, 움직일 수 없어 갇혀 있다.



생명은 물기둥이다.

수직으로 정지해 있는 물기둥이 식물이고, 이동하는 물기둥이 동물이다.

수직 물기둥을 통해 물이 위로 올라간다. 물기둥이 올라가기 위해서는 증발이 필요하다.

앞 뒷면 공변 세포를 통해 물이 증발한다.

증발해야 수소 결합으로 되어 있는 물 분자가 일렬로 줄지어 위로 올라갈 수 있다.

끊임 없이 물의 순환이 일어난다.

증발한 물이 구름이 되고 비가 되어 바다로 간다.

이 서 있는 물기둥에 의한 순환은 1000년 정도 유지된다.

결정 구조에서 이 펌프를 타고 올라가는 것이 있다.

금속(Na, Mg, K, Ca) 양이온 들이다. 착화물, 배위 결합과 관련된 물질이다.

식물의 엽록소에 마그네슘이, 인간의 혈액에 철이 들어 있다. 조개류 등의 녹색 피에는 구리도 들어 간다.

생명은 Na, Mg, K, Ca와 N, H, C, O, P의 결합이다.

Ca는 치매와 관련되고, K와 Na는 생각과 연관된다.

그래서 주기율표를 본다는 것은 생명현상 즉 박테리아부터 인간의 움직임, 감정, 느낌, 사랑까지 다 이해하는 것이다. 주기율표는 모든 것의 플랫폼이다.

또한 생명은 기체와 CO₂와 O₂를 서로 주고 받는다.

매 순간 대기의 일부가 나의 몸이 되고, 내 몸의 일부가 대기가 되는 순환 사이클이다.

100년 정도 지속된다.

붕괴가 끝나면 화장장 등을 통해 바다 밑에 가라 앉는다.

유공충 산호 등을 통해 바다 속에서 결정으로 돌아 간다.

석회암이 400도가 넘어가면 방해석 결정으로 바뀐다.

이동하는 물기둥은 100년 밖에 지속되지 못하지만, 결정으로 되는 것은 가장 어린 암석도 1000만년이 걸린다.

기체의 본질은 분리된다는 것이다.

이온결합, 공유결합, 금속결합은 결정(고체)을 만든다. 생명은 액체이고 질펀하다.

분해와 결합이 적절한 생화학적 법칙에 따라 세포 속에서 일어나는 것을 생명이라 한다. .

지구가 하는 것은 결합이다. 그러나 구성 요소는 어떻게 할 수 없다. 원자는 건드릴 수 없다.

지구에서 온도가 가장 높은 곳이라고 5000도 정도 밖에 안 된다.

원자를 변화 시키려면 최소 1000만도는 되어야 한다. 그래서 지구는 원자를 어찌지 못한다.

수소 원자는, 올림픽 경기장 가운데 있는 축구공이 양성자이고, 관중석을 돌고 있는 빈데 한 마리가 전자라고 비유된다. 우주는 사실은 텅 비어 있는 것이다.

지구에 있는 70억 인구를 원자 크기로 줄인다면 1g 밖에 안 된다고 한다.

수소에 있는 전자 하나를 이온화하는데 13.6ev가 든다. 1eV가 11,600도이므로 15만도가 넘는다.

지구는 원자는 건드릴 수 없다.

지구는 결혼 중매쟁이일 뿐이다.

생명은 적당함이다. 기체는 너무 카오틱하고 고체는 너무 고지식하다.

예술도 너무 앞서 가면 헛소리가 되고, 사진처럼 재연되면 뻔한 것이 된다. 예술은 그 두 가지 사이에 있다.

$$H\psi = E\psi$$

$$H = T + V = \frac{p^2}{2m} + V$$

$$p \rightarrow -i\hbar \nabla \quad H = \frac{-\hbar^2}{2m} \nabla^2 + V$$

$$\left(\frac{-\hbar^2}{2m} \nabla^2 + V\right) \psi = E \psi \quad J = h_1 h_2 h_3 = r^2 \sin \theta$$

$$h_1 = 1 \quad h_2 = r \quad h_3 = r \sin \theta$$

$$\nabla^2 \psi + \frac{2m}{\hbar^2} (E - V) \psi = 0 \quad q_i = r, \theta, \phi$$

$$\nabla^2 \psi = \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial q_i} \left(\frac{J}{h_i^2} \frac{\partial \psi}{\partial q_i} \right)$$

ψ 가 과학의 신이다.

ψ_{n,l,m_l} 을 알면 주기율표를 만들 수 있다. 그러나 주기율표를 안다고 해서 ψ_{n,l,m_l} 를 알 수는 없다.

그러면 무엇을 해야 할 것인가?

전체를 장악하는 맥을 잡아야 한다. 그러면 질문이 없어진다. 질문이 없는 사람이 되자!

양자역학은 어렵지도 신비하지도 않다. 단, 이해 하려고 해서는 안 된다. 놓아 버리면 패턴이 보인다.

리처드 파인만도 "양자역학을 이해했다고 하는 사람은 양자역학을 잘 모르는 사람이다"라고 했다.

양자역학은 이해의 대상이 아니다. 그냥 하는 것이다.

H는 오퍼레이터이다. 미분 연산자이다.

H(헤밀토니안)을 어떤 함수에 적용하면 그 함수가 갖고 있는 에너지 값이 나온다.

존재한다는 말은 붕괴되지 않았다는 말이다. 안정되어 있다는 말이고 에너지가 낮다는 말이다.

양자역학은 존재의 학문이다. 너무 뻔한 이야기라서 조금만 하면 더 이상 할 필요가 없다.

연산자는 어떤 함수에 적용하더라도 답만 내어야지 대상이 되는 함수가 바뀌면 안 된다.

바뀌지 않는 것이 대칭이다. 우주는 시간과 공간 밖에 없다. 바뀌지 않는다는 것은 시간이 흐르고 공간이 바뀌어도 변하지 않는다는 것이다. 4차원 시공간에서 바뀌지 않는 것을 공변성이라고 한다.

일반 상대성 이론을 4차원 시. 공간에서의 공변성 이론이라고 한다.

바뀌지 않았기 때문에 존재한다. 그것을 대칭이라고 한다.

공간상 시간상으로 바뀌지 않아야 한다.

대칭은 포개져야 하는데 포개진 대칭축은 직선이 되고 그 대칭축이 에너지 이다.

바뀌지 않는 것 만이 존재한다. 에너지가 낮아 안정되었기 때문에 바뀌지 않는다.

바뀌지 않는 것을 eigenvalue 아이겐 밸류(고유치)라고 한다.

양자역학과 자연과학은 고유치 문제라고 한다.

고유치 문제는 대개 2개의 미분방정식으로 되어 있다.

변화는 시간상 변화와 공간상 변화가 있다. 물리적으로 존재한다는 말은 시간과 공간적으로 변하지 않아야 한다.

그래야 고유한 값이 나온다. 고유하다는 말은 변하지 않는다는 말이다. 변하는 존재는 사라진다.

양자역학은 변하지 않는 우주의 92개의 존재를 밝히는 학문이다.

가장 에너지가 낮은 상태가 가장 편하다. 그래서 변하지 않는다. 높은 곳은 무섭다. 떨어지면 죽는다.

고전 음악을 들을 때 브레인이 가장 에너지를 적게 쓴다. 그래서 클래식을 들으면 편안하다.

모두 에너지가 낮은 상태에 머물고 싶어 한다. 존재 확률이 높기 때문이다.

시간상으로 바뀌지 않는 것이 시간 대칭이고 공간상 바뀌지 않는 것이 공간 대칭이다.

슈뢰딩거 방정식은 시간에 대한 대칭을 이야기하는 것이다. 시간 대칭을 보장해 주는 것이 에너지이다.

시간에 대하여 에너지가 바뀌지 않으려면 에너지가 고정되어 있어야 한다.

에너지가 고정되어 있도록 꼽아두는 핀이 n 이다. 정수라는 말은 바뀌지 않는다는 말이다.

다시 한번 양자역학은 존재의 학문이다.

내가 존재하고 있으므로 나 자신이 양자역학이다. 아이겐 밸류이다. 이해하는 세계가 아니다.

H 를 쓰면 에너지가 나온다. 에너지는 운동 에너지와 위치 에너지이다.

두 에너지를 합하면 항상 일정하다. 시계추이다. 에너지 보존이라고 한다. 두 에너지를 양자화한 것이다.

$H=T+V$ 이다.

물리학은 에너지와 운동량 두 가지 보존 법칙에 관한 학문이다.

양자역학은 존재의 학문이다. 시간상, 공간상 항상 존재해야 한다.

시간상 항상 존재하는 것이 에너지 보존이고, 공간상 항상 존재하는 것이 운동량 보존이다.

운동량이 P 이다. P 를 양자화하면 $P=-i\hbar\nabla$ 가 된다.

∇ 는 공간상 불균율을 재는 척도이다. 위태로울수록 force가 많아 진다. 이것을 통해 움직임을 이해할 수 있다.

미분을 통해 시간상 변하는 동적 개념을 수치화 할 수 있었다. 그래서 우주로 나갈 수 있게 되었다.

“인구가 균일하면 지리학은 존재하지 않는다”

i 와 \hbar 를 통해서 허수의 세계와 극미의 세계인 원자 속으로 들어간다.

\hbar 의 단위는 에너지와 시간의 곱이다.

$$(-i)^2 = -1$$

$$H = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 + V$$

허수가 사라지고 현실 세계로 들어 왔다. 양자역학에서 실수화, **허미시안**(Hermitian)이라고 한다.

∇^2 을 라플라시안이라고 하는데 공간에 대하여 2 분 미분한다.

시공에 미분을 1 번하는 세계인가 2 번하는 세계인가의 문제이다.

슈뢰딩거 방정식은 2 차 미분 방정식이다. 형태는 파동방정식이다.

1700 년대에 수학자들이 이미 풀어 놓은 것이다.

양자역학은 직각좌표로는 안되고 구 좌표로 바꾸어야 한다. x, y, z 를 r, θ, ϕ 로 바꾸어야 한다. 공간 변환이다.

우리가 존재하는 것은 공간 변환 작용에서 출현한다. 이해하려고 해서는 안 된다. 자연 그 자체이다.

이미 수학자들이 풀었으므로 그냥 암기하면 된다.

$$\nabla^2 \Psi = \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial \eta_i} \left(\frac{J}{h_i^2} \frac{\partial \Psi}{\partial \eta_i} \right)$$

$J = h_1 h_2 h_3 = r^2 \sin \theta$
 $h_1 = 1 \quad h_2 = r \quad h_3 = r \sin \theta$
 $\eta_i = r, \theta, \phi$

J 는 자코비안 Jacobian 이다. 직교좌표에서 구 좌표로 변환할 때 변환 상수이다.

$$= \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial \Psi}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial \Psi}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial \phi^2} + \frac{2m}{\hbar^2} (E - V) \Psi =$$

$r^2 \sin^2 \theta$ 를 곱하면,

$$\sin^2 \theta \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial \Psi}{\partial r} \right) + \sin \theta \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial \Psi}{\partial \theta} \right) + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial \phi^2} + \frac{2mr^2 \sin^2 \theta}{\hbar^2} (E - V) \Psi = 0$$

주기율표는 L 값만 알면 된다. L 이 어디서 왔는지 알면 된다.

$\Psi(r, \theta, \phi)$ 를 변수 분리한다.

$$\Psi(r, \theta, \phi) := R(r) \Theta(\theta) \Phi(\phi)$$

$$\frac{\sin^2 \theta}{R} \frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{dR}{dr} \right) + \frac{\sin \theta}{\Theta} \frac{d}{d\theta} \left(\sin \theta \frac{d\Theta}{d\theta} \right) + \frac{1}{\Phi} \frac{d^2 \Phi}{d\phi^2} + \frac{2mr^2 \sin^2 \theta}{\hbar^2} (E - V) = 0$$

3번째 항은 Φ 에 대해서만 있으므로 변수 분리할 수 있다.

$$\frac{\sin^2 \theta}{R} \frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{dR}{dr} \right) + \frac{\sin \theta}{\Theta} \frac{d}{d\theta} \left(\sin \theta \frac{d\Theta}{d\theta} \right) + \frac{2mr^2 \sin^2 \theta}{\hbar^2} (E - V) = - \frac{1}{\Phi} \frac{d^2 \Phi}{d\phi^2} \quad (**)$$

$$-\frac{1}{\Phi} \frac{d^2 \Phi}{d\phi^2} = m_l^2 \text{이라고 두면}$$

$$\frac{d^2 \Phi}{d\phi^2} + m_l^2 \Phi = 0$$

이것을 풀면

$$m_l = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l$$

이 된다.

(자세한 풀이는 박자세 홈페이지에서 “하고 싶은 말”, 우주의 진화 3회 4강 노트를 참고 바랍니다.)

http://mhpark.or.kr/index.php?document_srl=156500

양자역학은 존재의 학문이다. 왜 존재하느냐고? 존재하지 않을 수 없기 때문이다.

상수의 세계이다. 상수는 바뀌지 않는다. 시간상으로도 공간상으로도 바뀌지 않으니까 존재하는 것이다.

이 후 풀이 내용은 동영상을 참고하시기 바랍니다.

$\eta = 2$
 $\ell = 0, 1$
 $m_\ell = 0, \pm 1$
 $m_\ell = -1$
 $\psi_{\ell m}(\theta, \phi)$ 구면조화함수
 $\frac{1}{r\sin\theta} \frac{d}{d\theta} (r\sin\theta \frac{d\theta}{d\theta}) + (\lambda - \frac{m_\ell^2}{\sin^2\theta}) \theta = 0$
 $[L^2, L_z] = 0$
 $L_\pm = L_x \pm iL_y$
 $L_z Y_{\ell m} = m\hbar Y_{\ell m}$
 $L^2 Y_{\ell m} = \lambda\hbar^2 Y_{\ell m}$
 $L_+ Y_{\ell m} = C_{\ell m} Y_{\ell, m+1}$

$L^2 = L_x^2 + L_y^2 + L_z^2$
 $[L_z, L_\pm] = \pm \hbar L_\pm$
 $L_x^2 + L_y^2 = L^2 - L_z^2$

$= L_z (L_x + iL_y) - (L_x + iL_y) L_z$

$x y z x y x$

$= (L_z L_x - L_x L_z) + i(L_z L_y - L_y L_z)$

$= [L_z, L_x] + i[L_z, L_y] = i\hbar L_y + i(-i\hbar L_x)$

$= i\hbar L_y + \hbar L_x = \hbar (L_x + iL_y) = \hbar L_+$

$L_+ L_- = (L_x + iL_y)(L_x - iL_y)$

$= L_x^2 + L_y^2 - iL_x L_y + iL_y L_x$

$= L^2 - L_z^2 - i[L_x, L_y] = L^2 - L_z^2 - i\hbar L_z$

$L^2 f_\ell = (L_+ L_- + L_z^2 + i\hbar L_z) f_\ell$
 $= [0 + (\ell\hbar)^2 + i\hbar(\ell\hbar)] f_\ell$
 $= \ell(\ell+1)\hbar^2 f_\ell$

$\ell(\ell+1) = \bar{\ell}(\bar{\ell}-1)$

$L_-^2 f_\ell = (L_+ L_- + L_z^2 - i\hbar L_z) f_\ell$
 $= [0 + (\bar{\ell}\hbar)^2 - i\hbar(\bar{\ell}\hbar)] f_\ell$
 $= \bar{\ell}(\bar{\ell}-1)\hbar^2 f_\ell$

$\bar{\ell} = \ell+1 \rightarrow \bar{\ell}(\bar{\ell}-1) = \ell(\ell+1)$
 $\bar{\ell} = -\ell$

르장드르 방정식이다

르장드르 방정식에서 람다를 찾아야 한다.

다른 연산자가 필요하다.

$L_\pm = L_x \pm iL_y$

L_\pm 이 연산자는 앵귤라 모멘텀(각 운동량) 값을 구하는 오퍼레이터이다. 각도에 대하여 미분한다.

$Y_{\ell m}(\theta, \phi)$ 는 구면 조화 함수이다.

$L_z Y_{\ell m} = m\hbar Y_{\ell m}$

$L^2 Y_{\ell m} = \lambda\hbar^2 Y_{\ell m}$

$L_+ Y_{\ell m} = C_{\ell m} Y_{\ell, m+1}$

공간이 양자화되어 있다. 연속적이지 않다. 시간도 양자화되어 있다.
아날로그는 없다. 디지털 뿐이다.

대칭화, 모듈화, 순서화에서 모듈화란 아날로그가 없고 디지털이란 이야기다.

공간과 시간의 양자화란 이야기이다. 자연이 그렇게 되어 있다.

$$(\Delta L_z)(\Delta \theta) \geq \frac{\hbar}{2}$$

불확정성 원리를 만족 시키기 위해서는 영원히 움직여야 한다.

그래서 원은 돌아간다.

$$\begin{aligned} L_z(L_+ Y_{\lambda m}) &= [L_z, L_+] Y_{\lambda m} + L_+ L_z Y_{\lambda m} \\ &= \hbar L_+ Y_{\lambda m} + m \hbar Y_{\lambda m} \end{aligned}$$

$$= \hbar(m+1) Y_{\lambda m}$$

$$L_+ Y_{\lambda m} = C_{\lambda m} Y_{\lambda, m+1}$$

$$\int (L_+ Y_{\lambda m})^* (L_+ Y_{\lambda m}) d\Omega$$

$$(\lambda - m^2 - m) \geq 0$$

$$= \int Y_{\lambda m}^* \underbrace{L_- L_+}_{L^2 - L_z^2 - \hbar L_z} Y_{\lambda m} d\Omega$$

$$\lambda \geq m^2 + m = m(m+1)$$

$$\lambda = m_{\max} m_{\max} + 1$$

$$= \int Y_{\lambda m}^* (L^2 - L_z^2 - \hbar L_z) Y_{\lambda m} d\Omega$$

$$= \int Y_{\lambda m}^* [\lambda \hbar^2 - (m \hbar)^2 - \hbar(m \hbar)] Y_{\lambda m} d\Omega \quad \lambda = l(l+1)$$

$$= \int (C_{\lambda m} Y_{\lambda, m+1})^* (C_{\lambda m} Y_{\lambda, m+1}) d\Omega$$

$$= C_{\lambda m}^* C_{\lambda m} \int Y_{\lambda, m+1}^* Y_{\lambda, m+1} d\Omega$$

$$= |C_{\lambda m}|^2 = \hbar^2 (\lambda - m^2 - m) \int Y_{\lambda m}^* Y_{\lambda m} d\Omega$$

$$|C_{\lambda m}|^2 = \hbar^2 (\lambda - m^2 - m) \geq 0$$

결론은 아래와 같다.

$$n = 1, 2, \boxed{3}, \dots$$

$$l = 0, 1, 2, \dots, (n-1)$$

$$m_l = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l$$

$\leftarrow n-1$

2교시

$$H \psi_n = E_n \psi_n$$

$$E_n = \frac{E_1}{n^2}$$

$= E_2 = \frac{13.6}{2^2} a_0 n^2 = 1 \times a_0$

하이젠버거도 방정식을 만들었으나 많은 사람들이 슈뢰딩거 방정식을 사용하고 있다.

E 를 고유값(eigen value)라고 하고 ψ 를 고유함수(eigen function)이라고 한다.

지금까지 풀었던 것을 시간독립적 슈뢰딩거 방정식이라 한다.

시간에 독립적 이라는 것이 시간에 대칭이란 말이다.

대칭은 접어진다는 말이고 접었을 때 기준 축이 상수로 나오는데 그것이 에너지이다.

$$E_n = \frac{E_1}{n^2}$$

E_1 은 수소 원자를 도는 전자를 자유전자로 만들어 주는 에너지이다.

그 에너지가 13.6eV이다. 온도로 치면 15만도가 넘는다.

수소 원자에서 첫 번째 궤도까지의 거리(a_0)가 0.53Å이다.

자연과학이 인문학과 다른 것은 숫자로 이야기 한다는 것이다.

지금 우주의 온도는 10^{-4} eV이다. 다이아몬드는 7eV이고, 실리콘은 0.7eV이다.

양자역학에서의 숫자는 정수이다. 13.6eV가 정수라는 말이 아니고, 이 숫자와 관계되는 모든 숫자가 이 숫자를 기본으로 하는 정수 배라는 것이다. 두 번째 궤도 에너지는 $E_2 = \frac{13.6}{2^2} = \frac{13.6}{4}$ 가 된다. 궤도가 1, 2, 3으로 양자화되어 있다. 에너지가 덩어리져 있다는 것이다. 그래서 양자역학을 quantum physics라 한다.

$$n = 1, 2, \boxed{3}, \dots$$

$$l = 0, 1, 2, \dots, (n-1)$$

$$m_l = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l$$

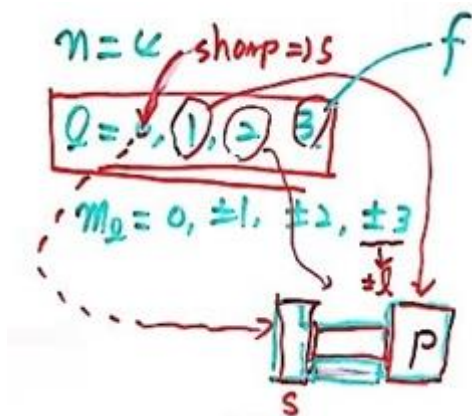
\downarrow
 $n-1$

결론적으로

$$n = 1, 2, 3, \dots$$

$$l = 0, 1, 2, \dots, n-1$$

$$m_l = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l \text{ 이 된다.}$$



$l=0$ 인 경우가 s(sharp) 이고 $m_l=0$

$l=1$ 인 경우가 p(principal)이고 $m_l=0, \pm 1$

$l=2$ 인 경우가 d(diffuse)이고 $m_l=0, \pm 1, \pm 2$

$l=3$ 인 경우가 f(fundamental)이 $m_l=0, \pm 1, \pm 2, \pm 3$ 이 된다.

l 은 θ 와 ϕ 의 함수이다. 그런데 그 값이 r 함수와 같아 진다. 그렇게 되기 위해서는 상수(λ)가 되어야 하는데 그 상수가 묘하게도 이어지는 두 정수의 곱으로 되어 있다. 즉 $l(l+1)$ 의 형태를 취한다. $\lambda=l(l+1)$ 인 것이다.

그런 속성을 가진 방정식을 르장드르 방정식이라 한다. 그 방정식을 연산자 법으로 풀었다.

이 연산자는 교환 가능하지 않다.

$$[\hat{x}, \hat{p}] = \hat{x}\hat{p} - \hat{p}\hat{x} = 0 \text{ 이면 } \pm i\hbar$$

연산자 순서를 바꾸어도 동일한 결과가 나오는 세계는 고전 물리학이고

같지 않으면서 아주 미세한 차이가 나는 것을 양자역학이라고 한다.

양자역학은 교환자에 관한 학문이다.

모든 학문의 원수가 신비화 시키는 것이다. 양자역학 어렵지 않다.

하이젠버거의 불확정성 원리이다.

$$[\hat{x}, \hat{p}] = \hat{x}\hat{p} - \hat{p}\hat{x} = i\hbar$$

$$[\hat{x}, \hat{p}] = i\hbar$$

시간과 에너지 관계, 각 운동량과 $\Delta\theta$ 와의 관계도 마찬가지다.

$$(\Delta t)(\Delta E) \geq \frac{\hbar}{2}$$

$\uparrow \rightarrow \Delta E \uparrow \rightarrow \Delta t \downarrow$

$$(\Delta L)(\Delta \theta) \geq \frac{\hbar}{2}$$

$\uparrow \rightarrow \Delta L \uparrow \rightarrow \Delta \theta \downarrow$

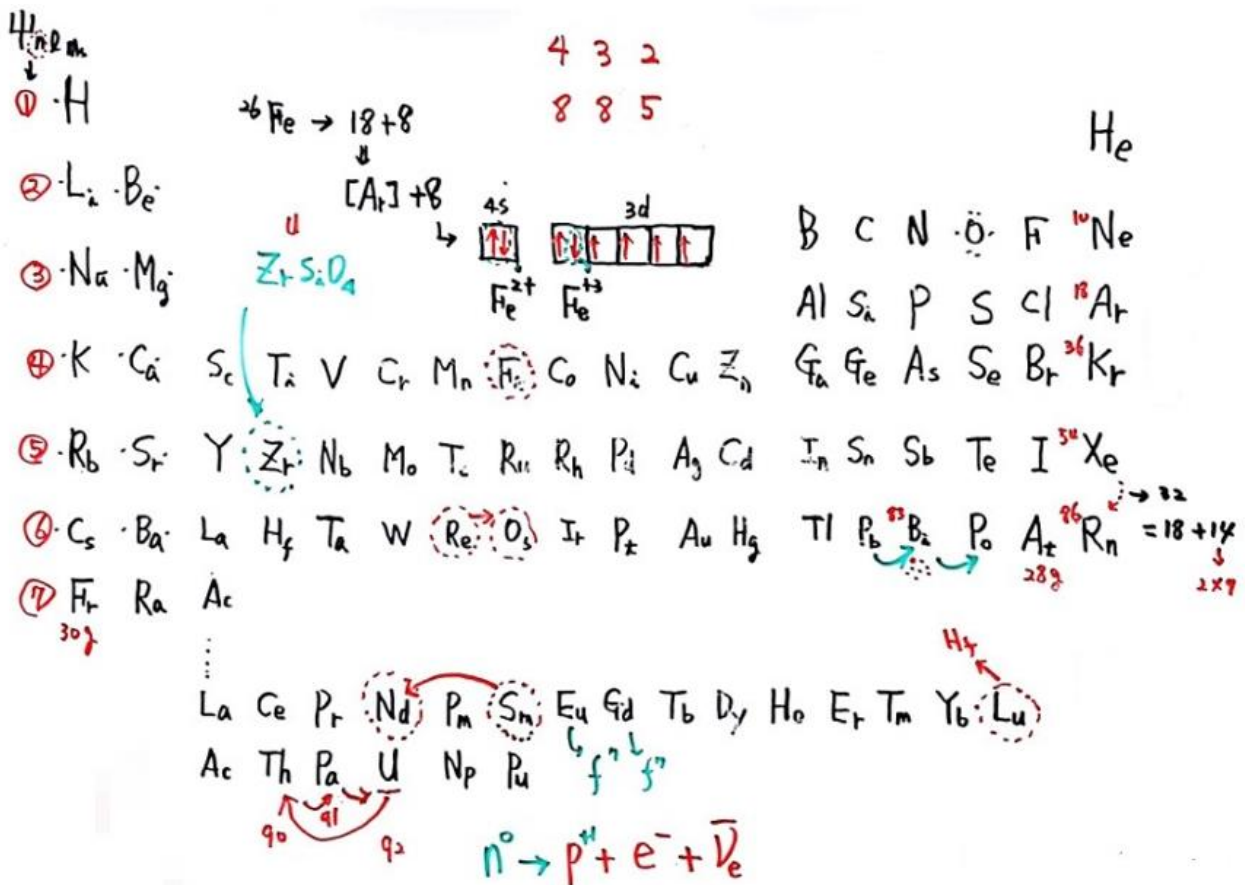
시간을 찰나적으로 Δt 를 0에 가깝게 하면 ΔE 는 상당히 큰 값을 가져도 만족한다.

그 값이 입자로 나온다. 우주 초기에는 이런 현상이 난무한다.

우주 시공에서 공짜로 입자가 만들어 진다. 그래서 우리 우주가 생긴 것이다.

핵심은 그냥 생겼다는 것이다. 묻지 말라는 것이다. 자연이 그렇다는 것이다.

00:37



주기율표를 순서대로 암기하는 사람은 초보자이다. 중간에서든, 뒤에서든, 위에서든, 아래에서든 즉시 적을 수 있어야 한다. 적으면서 각 원소와 대화를 하고 느낌이 와야 한다.

원소 이름뿐만 아니라 번호도 같이 기억해야 한다.

바륨(Ba)은 무겁다는 뜻이고 란타넘(La)는 숨긴다는 뜻이다

프로세디움은 부추라는 말에서 나왔다. 초록색을 의미한다. 디디움은 쌍둥이라는 뜻이다.

니오베(Nb)의 아버지가 탄탈로스이다. 탄탈륨(Ta)은 탄탈로스 이름에서 왔다.

프로메튬(Pm)은 프로메테우스에서 이름을 붙였고 사마륨(Sm)은 사마라카이트란 암석에서 분리된 원소이다.

마이트너튬(Mt)은 원자력 붕괴한 것이 딸 세포라는 것을 처음으로 밝힌 마이트너라는 여자 과학자를 기려 이름을 붙였다. 그녀가 노벨상을 받지 못한 것은 노벨 위원회 최대의 실수로 꼽히고 있다.

과학자의 이름을 붙인 원소는 러더포듐(Rf, 러더포드), 렌트게늄(Rg, 렌트겐), 코페르니슘(Cn, 코페르니쿠스), 퀴륨(Cm:퀴리부인), 멘델레븀(Md, 멘델레예프), 아인슈타인늄(Es,아인슈타인), 페르뮴(Fm,페르미)등이 있다.

가돌리늄(Gd)는 홀 전자가 가장 많은 원소이다. MRI에서 조영제로 쓰인다. 자기력이 크다.

그래서 영상이 깨끗하게 나온다.

주기율표를 알면 물질에 관한 거의 대부분의 비밀이 풀린다.

툴륨(Tm)은 로마시대 스칸디나비아 반도이름 툴레에서 유래했다.

루테튬(Lu)는 로마시대 파리 이름 루테니아에서 왔다.

하프늄(Hf)은 코펜하겐의 로마시대 이름 하프니아에서 왔다.

주기율표는 생각하면서 적으면 안 된다. 그냥 나와야 한다.

그래야 여러분의 인생이 바뀌고 세계관이 바뀐다.

탈륨(Tl)은 독극물이다. 개인이 만들 수 없고 국가적 기관에서만 만들 수 있다. 가속기가 있어야 한다.

러시아가 영국으로 망명한 스파이 암살 때 사용한 독극물이다.

83번 비스무쓰(Bi) 이상은 방사선 동위 원소이다.

양성자가 83개가 되면 분열하는 힘이 강해져 원자력 조차도 가뒀두기 어렵다.

그래서 자발적 방사선 붕괴가 일어난다.

지구상에 있는 아스타틴(At)을 모두 모아도 28g밖에되지 않는다.지구상에 가장 희박한 원소이다.

프랑슘은 30g이다.

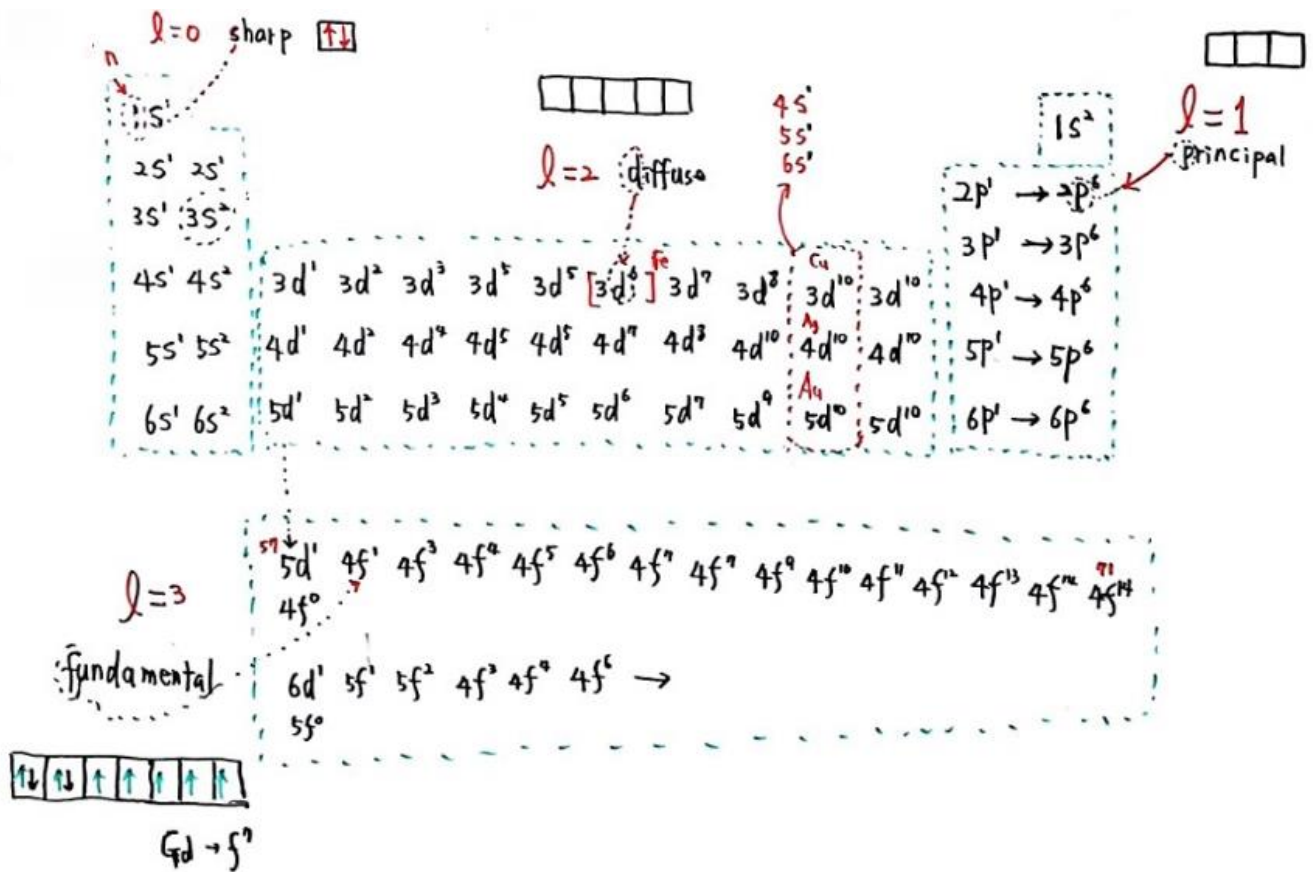
라듐(Ra)은 radiation이란 뜻으로 퀴리 부인이 이름을 붙였다.

이 원소 연구하면서 퀴리 부인은 방사선에 오염되어 사망했다.

이제 주기율표를 만들어야 한다.

이름이 아니고 숫자가 들어가는 주기율표이다.

지금 만드는 주기율표는 거의 모든 화학 문제를 다 풀 수 있다.



수소는 1s¹이고 헬륨은 1s²이다.

오늘 강의 처음 한 말이 432 885였다. 이것만 기억하면 된다.

3d에서 1,2,3,이후 4가 없고 5가 2개 이다.

4d에서는 3이 빠지고 4로 바로 간다. 그리고 5가 두개이다.

5d에서는 8이 없고 바로 9로 간다.

p블록에서는 전부 규칙적으로 1에서 6까지 차례로 진행된다.

란탄족에는 4f가 4f⁰부터 시작하여 1 다음에 2가 없고 3으로 간다.

또한 4f에서는 7이 두 개이고 8이 없다.

5f에서는 5가 없고 6으로 바로 간다.

l=0, sharp, ml=0, 방 1개

l=1, principal, ml=0, ±1, 방 3개

l=2, diffuse, ml=0, ±1, ±2, 방 5개

l=3, fundamental, ml=0, ±1, ±2, ±3, 방 7개

광물의 종류는 크게 규산염, 탄산염, 인산염, 황산염, 산화광물 5가지이다.

규산염이 약 70%가 된다.

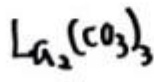
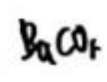
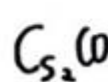
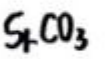
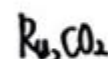
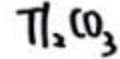
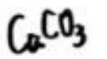
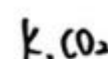
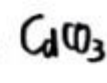
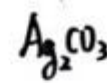
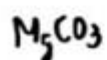
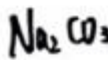
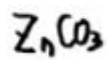
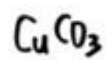
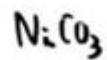
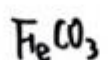
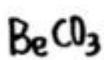
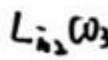
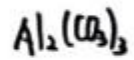
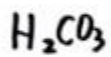
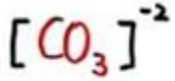
탄산염을 알아야 대기와 대양과 대륙의 순환을 알 수 있다.

예전에는 각각 외웠으나 이제 그렇게 할 필요가 없다. 주기율표만 알면 외울 필요가 없다.

주기율표만 알면 지질학을 따로 공부할 필요가 없다.

탄산염 광물을 한꺼번에 알 수가 있다.

탄산염은 $[\text{CO}_3]^{-2}$ 이므로 전기량 +2가 오면 된다. 같다 붙이면 된다.



CaCO_3 는 대륙을 만든 암석이다.

구리, 은, 금은 12족이다. 셋 모두 d궤도에 전자가 10개 들어 있다. 반면 s궤도에는 전자가 1개씩 있다..

그래서 s궤도 전자를 쉽게 잃는다. 자유전자가 된다. 그래서 전기를 잘 전달한다.

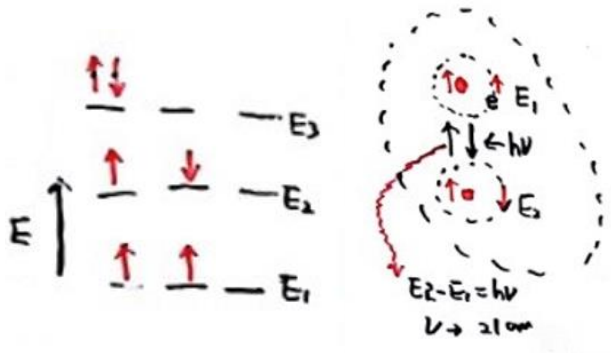
구리, 은, 금의 전기 전도율이 높은 것을 주기율표를 보면 바로 답이 나온다.

ms(스핀) 값은 슈뢰딩거 방정식에서 유도되는 것이 아니고, 다른 세상에서 온다.

디랙 방정식을 풀어야 나온다.

우주에 있는 모든 입자는 스핀 값을 갖는다. 반정수 값 $\pm\frac{1}{2}, \pm\frac{3}{2}, \pm\frac{5}{2}, \dots$ 을 갖는다.

우주의 온도는 - 270도이다.

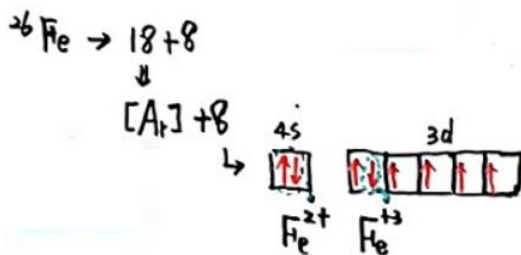


그라운드 상태에서 수소의 양성자는 스핀 업, 전자는 스핀 다운 이다.
 에너지 스테이트 하나에 전자가 2개 들어간다.
 3가지 상태 모두 허용이 된다. 에너지가 모두 다르다.
 E1 상태의 에너지가 가장 낮다. 왜냐하면 서로 교환 가능하기 때문이다

성간 물질에 우주에서 빛이 들어오면 전자의 스핀이 바뀐다.
 에너지가 높아지게 된다. 에너지가 높으면 불안해 진다.
 빛이 비치지 않으면 전자가 원래 상태로 돌아 간다. 즉 E2에서 E1으로 돌아간다.
 이때 나온 빛의 주파수가 21cm이다. 놀랍게도 21cm 전자기파에 대하여는 대기층에서 감쇠가 없다.
 원도우라고 하는데 지구 표면까지 그대로 들어온다. 그래서 5000m까지 올라가서 측정한다.

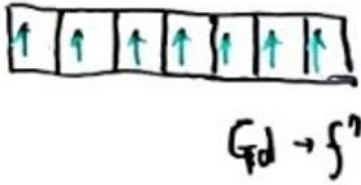
수소 원자가 내는 빛을 측정 했다. 그러면 우주 공간의 수소 분포도를 그릴 수 있다. 그 분포도를 그려 보았다.
 그랬더니 나선 팔 모양이 나왔다. 우리 갤럭시 전체 모양이 드러났다. 스핀 개념 하나로 갤럭시 전체 모습을 볼 수 있게 되었다. 이 연구로 노벨상 받았다. 스핀이 그만큼 중요하다. 과학의 역사를 완전히 바꾼 이야기이다.

철(Fe)은 왜 +2가도 되고 +3가도 되는 것일까?



흥분하면 4s 궤도의 전자 2개를 먼저 잃는다. 그러면 +2가가 된다.
 3d 궤도의 첫번째 방에 있는 전자 2개중 1개를 잃으면 +3가가 된다.

가돌리늄(Gd)가 조영제로 쓰이는 이유를 보자.
 유로퓸(Eu)과 가돌리늄은 f궤도에 전자가 7개 있다. 즉 방 하나에 각 1개씩 전자가 들어가 있다.
 홀 전자 개수가 자기력 세기와 비례한다. 영구 자석이 된다.



철(Fe)도 3d 궤도의 전자 1개를 내보내고 자석이 된다. 마그네사이트가 자석이 된다.

희토류는 소형 자석이다. 휴대폰에 많이 사용된다.

작은 공간에서 힘을 많이 내기 위해서는 전자가 들어가는 방이 많은 희토류를 쓸 수 밖에 없다

앞으로 10시간 더해야 하는데 수식은 오늘로 끝이다.

이 것만 확실히 하면 주기율표가 다 되기 때문에 더 이상 풀 수식은 없다.

슈뢰딩거 방정식과 주기율표를 완전히 암기 하고 난 다음부터 게임이 시작된다.

암석, 대양, 대륙, 대기, 식물진화, 동물 진화, 신생대 기후학 모두 이 2가지를 기반으로 끝낸다.

이것이 빅 히스토리이다. 빅 히스토리는 전문가(박사)들이 하는 게임이다.

이런 수식을 풀지 않고는 빅 히스토리가 될 수 없다.

이것을 모르고는 암석, 해양, 식물 진화, 동물 출현을 만날 수 없다.

박자세에서는 이번 12회 과학리딩을 통해서 그것을 우리 사회에 증명해 보이려고 한다.

이것을 통해서 여러분들은 곧장 암석학, 생명의 본질, 별이 빛나는 이유, 신생대 기후와 남극이 빙하가 된 이유를 이해할 수 있게 될 것이다.

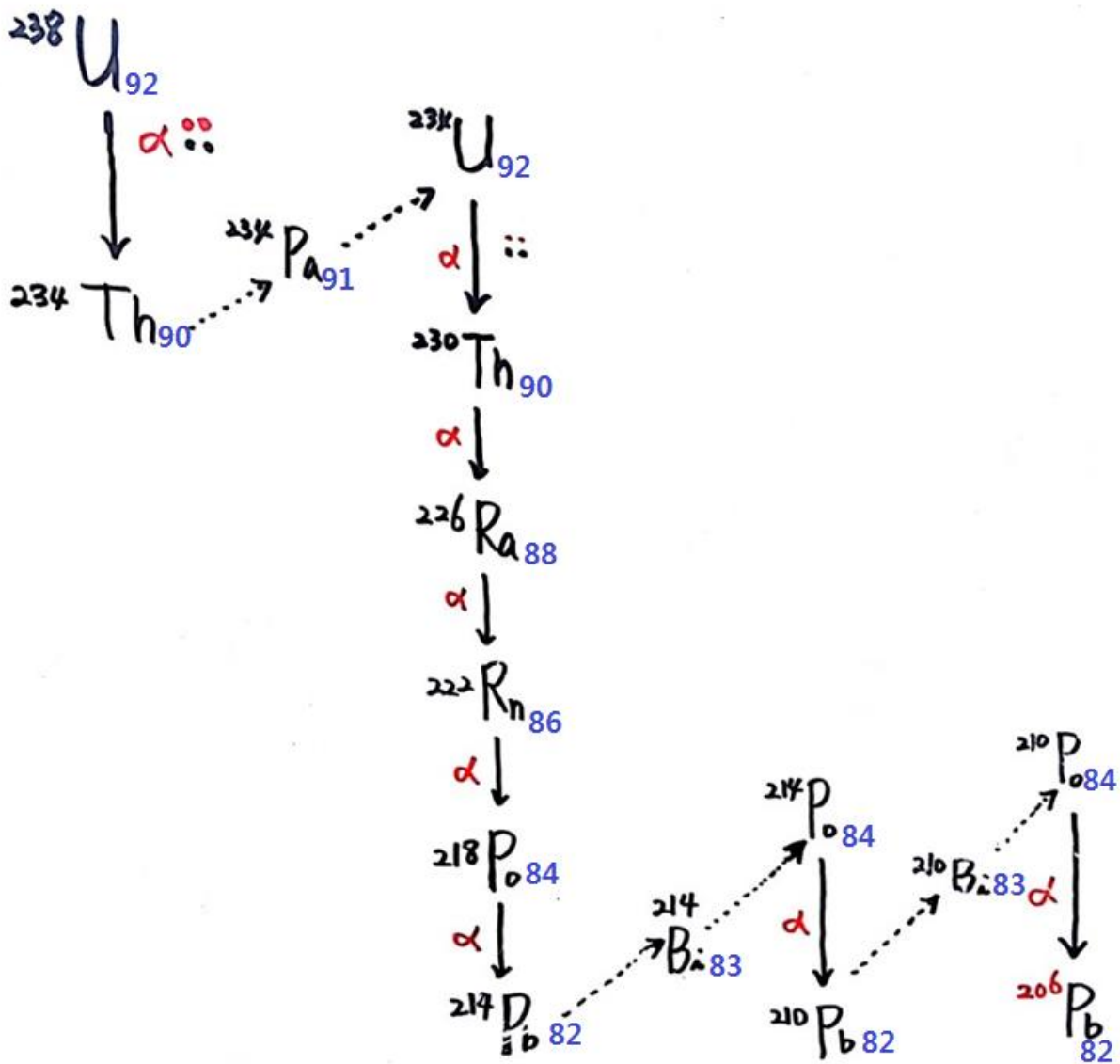
슈뢰딩거 방정식 30번 풀어보기 바란다. 그래야 주기율표가 제대로 눈에 들어온다.

저는 30번 이상 풀어 보았다. 이것이 보이니까 곧장 암석이 보이고, 대기가 보인다. 과장이 아니다.

지금 건너 뛴다면 평생 건너 뛰게 된다.

자연 과학을 공부할 때 원소, 동위원소, 이온, 중성자 개념을 확실히 해야 한다.

먼저 동위원소를 설명하겠다.



우라늄은 자연에서 동위원소가 많다. 원자핵만 따져 주면 된다. 원자핵에는 양성자와 중성자가 있다.

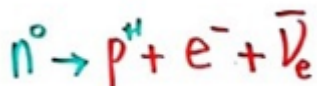
우라늄은 질량수가 238이다. 92개의 양성자와 146개의 중성자가 있다. 원자 폭탄을 만드는 우라늄은 ^{235}U 이다.

전체 우라늄 중 0.7%가 있다. 우라늄 농축 과정을 통해 ^{238}U 에서 ^{235}U 를 만든다..

질량수 238 우라늄이 방사선 붕괴를 하면 1개의 알파입자(양성자 2개, 중성자 2개)가 나오면서,

질량수 234, 원소번호 90인 토륨(Th)이 된다.

토륨이 베타붕괴를 통해 원소번호 91번 질량수 234인 프로트악티늄(Pa)이 된다.



별이 불타는 것이 베타붕괴이다. 우주의 비밀이다. 오늘 배운 전체만큼 중요한 이야기이다.

중성자가 양성자와 전자 그리고 반물질인 전자 뉴트리노로 바뀌는 현상이다.

질량은 바뀌지 않는다.

프로악티움이 베타붕괴를 하면 원소번호 92, 질량수 234인 우라늄이 된다.

238U와 234U가 동위원소이다. 동위원소는 양성자 수는 같은데 중성자 수가 다른 원소이다.

질량수 234인 우라늄이 방사선 붕괴를 통해 토륨(Th), 라듐(Ra), 라돈(Rn), 폴로늄(Po), 그리고 원소번호 82, 질량수 214인 납(Pb)이 된다.

납이 베타붕괴를 통해 비스무쓰(Bi)가 되고,

비스무쓰가 베타 붕괴를 하면 질량수 214, 원소번호 84인 폴로늄(Po)이 된다.

218 Po와 214 Po도 210PO동위 원소이다.

214 Po는 방사선 붕괴를 통해 210Bi가 되고, 210Bi가 베타붕괴를 하면 210Pb가 된다.

214Bi와 210Bi도 동위 원소이다.

마지막으로 210Pb는 방사선 붕괴를 통해 206Pb가 된다. 여기서 스톱한다.

납(Pb)은 질량수 214, 210, 206인 동위원소가 있다.

이제야 지구상에 납이 왜 그렇게 많은지 이해하게 된다.

206Pb는 특별하다. 지구의 나이가 45.6억년이라는 것을 밝혀낸 것이 납 206 동위원소이다.

그 역사가 100년 이상 걸렸다. 마지막으로 reference를 잡아 준 것이 납 206 동위원소이다.

우라늄이 붕괴하는데 45억년이 걸린다.

암석 지르콘($ZrSiO_4$) 속에 미량으로 있는 우라늄이 납으로 바뀐 것을 측정한다.

우라늄과 납 206 동위원소의 비율을 측정하면 암석의 나이를 알 수 있다.

암석학에서 연대를 측정할 때 주로 사용하는 방사선 붕괴이다.

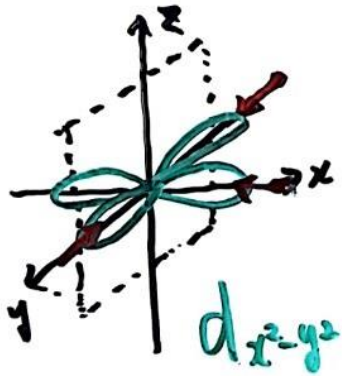
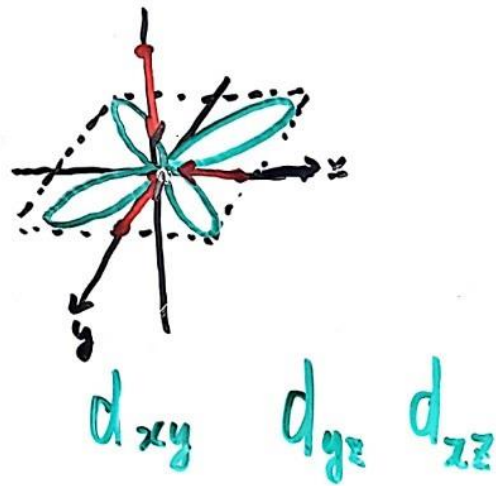
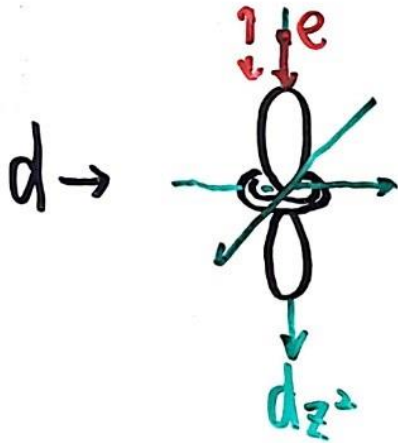
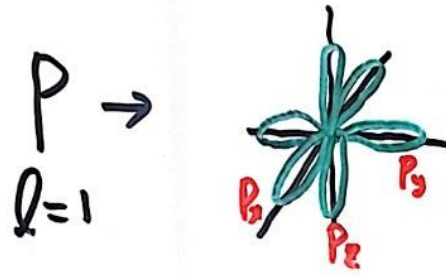
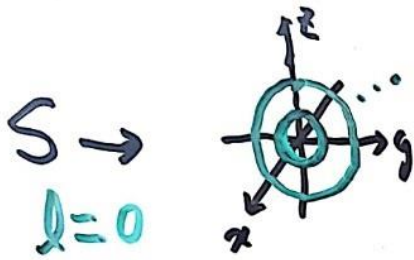
우라늄(U)-→ 납(Pb)

사마륨(Sm)-→ 네오디뮴(Nd)

루테튬(Lu)-→ 하프늄(Hf)

레늄(Re)-→ 오스뮴(Os)

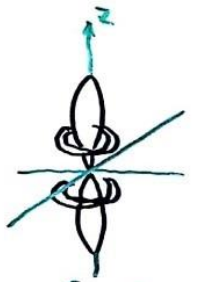
S, p, d, f 궤도의 전자 분포도이다.



s 궤도는 축구공 껍질이라고 생각하면 된다

p 궤도는 네 잎 클로버처럼 생겼다.

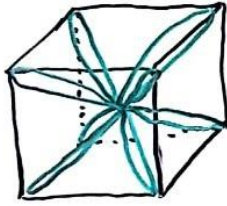
색깔의 비밀은 d 궤도에서 나온다. 웨그너 교수가 평생 연구 했다.



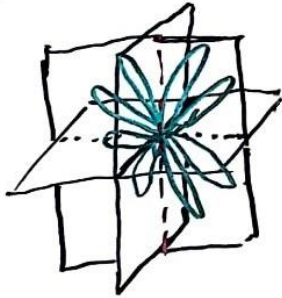
$$f_z = \frac{2}{5} z r^2$$

$$f_x = \frac{2}{5} x r^2$$

$$f_y = \frac{2}{5} y r^2$$



$$f_{xy} = \frac{2}{5} xy r^2$$



$$f_x(y^2 - z^2)$$

$$f_y(z^2 - x^2)$$

$$f_z(x^2 - y^2)$$

이것으로 방의 구조를 알았다. 전자가 방에 어떻게 분포하는지 알았다.

이 말은 원자가 다른 원자와 결혼 할 때 어떤 식으로 결합하는지 알 수 있다는 말이다.

전자가 부딪혀서 튀어 나올 때 에너지 차이가 색깔이 된다.

색깔의 비밀은 다음 시간에 하겠습니다.

수고 하셨습니다.