

原子力關係 資格試驗의 傾向과 對策 (VII)

物 理 學

原子 및 原子核의 構造

原子는 中心에 原子核이 있고 그 둘레를 電子가 돌고 있는, 소위 太陽系와 같은 구조를 가지고 있다. 전자의 軌道는 主量子數(n)와 角運動量(l)으로 구별할 수 있으며 n 이 작을 수록 원자핵에 가까우며 강한 結合에너지로 원자핵에 coulomb力으로 結合되어 있다. $n=1, l=0$ 인 程度에 전자가 1개 들어가 있는 상태는 水素의 基底狀態이며 Planck常數를 h , 전자의 질량을 m 이라고 하면 半徑은

$$a_0 = h^2 / 4\pi^2 m e^2 = 0.529 \times 10^{-8} \text{cm}$$

가 되고 이것은 Bohr의 半徑으로 알려져 있다. 따라서 원자의 크기는 10^{-8} cm 정도이다. $n=1, 2, 3 \dots$ 을 각각 K殼, L殼, M殼...이라 부르며 이들의 殼(軌道)은 다시 l 의 值($|l| \leq n$)에 따라 다시 細分된다. K殼은 $l=0$ 하나밖에 없으나 L殼은 l_1, l_{11}, l_{111} 등 3개의 副殼으로, M殼은 5개의 副殼으로 세분된다.

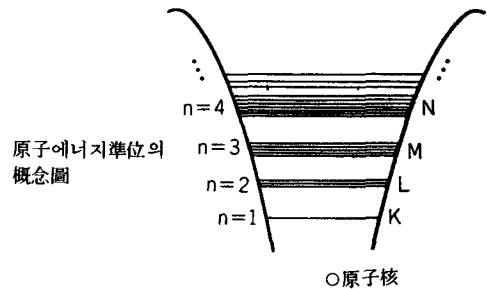
原子核의 구성요소는 陽子(Z)와 中性子(N)이며 그 數는 거의 같다($N/Z \approx 1 \sim 1.5$). 이들 양자와 중성자를 함께 核子라고 부른다. 핵자는 10^{-13} cm 정도의 거리에서 작용하는 引力으로 結合되어 있는데 이를 核力이라 한다. 核力은 이와 같이 (1) 대단히 짧은 거리에서 작용하는 힘(近接力)인데 그 외에 (2) 어떤 하나의 核子만을 보면 같은 원자핵내의 모든 핵자에 힘을 미치고 있지 않다. 그래서 핵자의 密度는 핵자수가 다른 모든 원자핵에 대해서도 일정하다(核力의 飽和性), (3) 電荷와는 무관하다 등의 성질을 갖고 있다.

원자핵의 구조는 核力을 仲介로 해서 여러가

지의 多面的인 성질을 나타내며 핵자의 종류와 수가 변화함에 따라 流体model에서부터 殼模型에 이르기까지 여러가지 model로 설명되고 있다.

[問題 1] 원자의 에너지準位 E 와 主量子數 n 및 원자번호 Z 에 관한 다음기술중 옳은 것은 어느 것인가?

1. E 는 n 의 제곱에 比例한다.
2. E 는 n 의 제곱에 反比例한다.
3. E 는 n 에 反比例한다.
4. E 는 Z 에 比例한다.
5. E 는 Z 에 反比例한다.



[解説] 원자의 에너지準位는 그림에서와 같이 中心이 되는 원자핵에서 멀어짐에 따라 準位間隔이 좁아진다. 에너지가 높은 준위일수록 원자준위를 특징짓는 主量子數가 크므로 (1)은 틀린 것이다. Rydberg가 수소에서 放射되는 빛의 스펙트럼 파장(λ) 측정에서 Rydberg定數를 R_H 로 하여

$$1/\lambda = R_H (1/m^2 - 1/n^2)$$

가 되는 것을 발견하였으며 또 빛의 진동수 ν 와 에너지의 관계 $h\nu = E_n - E_m$ 과 $c = \lambda\nu$ 를 사용해서

$$E_n - E_m = h\nu = hc/\lambda = hcR_H(1/m^2 - 1/n^2)$$

그러므로 $E_n = -hcR_H/n^2$ 임을 발견하였다. 즉, E 의 절댓값은 n^2 에 反比例하고 있다. R_H 대신에 一般原子를 나타내기 위해 R 로 하면, R 는

$$R = 2\pi^2 m Z^2 e^4 / ch^3$$

임이 알려져 있다.

따라서 E_n 는 Z^2 에 비례하고 있다.

☞ 2

[問題 2] 실온에서의 열에너지, 원자 사이의 결합에너지 및 核子사이의 결합에너지를 각각 eV 단위로 표시한 數値에 대해서 가장 적절한 것은 다음의 어느 것인가?

1. $\sim 10^{-2}$ 1 ~ 10 $10^6 \sim 10^7$
2. $\sim 10^{-3}$ 1 ~ 10 $10^6 \sim 10^7$
3. $\sim 10^{-3}$ 1 ~ 10 $10^2 \sim 10^3$
4. $\sim 10^{-2}$ $10^2 \sim 10^3$ $10^6 \sim 10^7$
5. 1 ~ 10 $10^2 \sim 10^3$ $10^6 \sim 10^7$

[解説] 실온에서의 열에너지는 실온과 열평형에 있는 중성자가 갖는 에너지, 즉 열중성자 에너지로 그 値는 0.025eV이다. 따라서 열에너지는 10^{-2} eV정도라고 판단해도 좋을 것이다. 보다 직접적으로는 $E = kT$ (T 는 絶對溫度)로 표시되므로 $E = 8.61 \times 10^{-8} \text{eV/degree} \times 298\text{K} = 0.025 \text{eV}$ 가 된다. 원자사이의 결합에너지는 원자의 외측 전자에 起因하게 되므로 1 ~ 10 eV가 옳다. 예를 들면 원자사이의 결합은 빛에 의해 분해를 일으키는 것을 이용하여 그 에너지를 계산한다.

$$E = h\nu = hc/\lambda \text{로부터}$$

$$E = 6.6 \times 10^{-27} (\text{erg} \cdot \text{s}) \times 3 \times 10^{10} (\text{cm/s}) / \lambda (\text{cm}) = 1.98 \times 10^{-16} / \lambda (\text{erg})$$

$$= \frac{1.98 \times 10^{-16}}{1.60 \times 10^{-12} (\text{erg/eV})} \cdot \frac{1}{\lambda} (\text{erg})$$

$$= 1.24 \times 10^{-4} / \lambda (\text{eV})$$

여기에 예를 들어 자외선의 파장 $3,000\text{\AA} = 3 \times 10^{-5} \text{cm}$ 를 代入하면 약 4eV가 된다. 위式에서 E 를 keV, λ 를 \AA 으로 표시하면

$$E (\text{keV}) = 12.4 / \lambda (\text{\AA})$$

이 된다. 원자핵의 결합에너지는 1 ~ 10 MeV이다. 원자핵의 질량 M 은 각각의 자유로운 양자와 중

성자를 같은 수만큼 舍하였을 때의 질량보다 작다. 이것을 질량결손이라 하며 核子를 결합하는 에너지이다. 즉, 결합에너지 E_b 는

$$E_b = (ZM_p + NM_n) c^2 - Mc^2$$

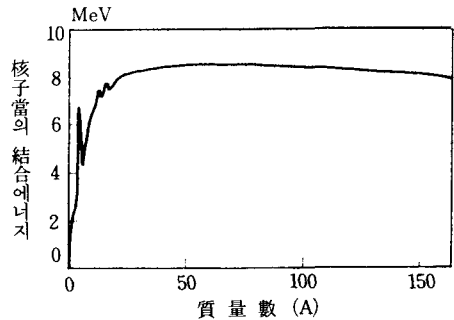
☞ 1

[問題 3] 양자와 중성자가 결합해서 重水素가 될 때 방출되는 에너지의 値로 옳은 것은 어느 것인가?

1. 11.2keV
2. 206keV
3. 1.02MeV
4. 2.23MeV
5. 4.4MeV

[解説] 前問題에서 설명했듯이 원자핵의 결합에너지와 관계되므로 그 値는 MeV정도가 되므로 1, 2는 答에서 제외된다. 원래 중수소의 결합에너지 2.23MeV는 核力과 관련되어 잘 알려진 값이다. 참고로 그림에 核子當의 평균결합에너지가 질량수에 따라 어떻게 변하는가를 나타내었다.

☞ 4



核子當의 平均結合에너지

[問題 4] 다음 기술중 옳은 것은 어느 것인가?

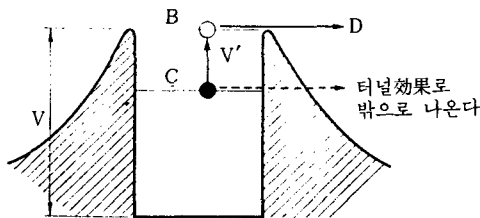
1. 중성자는 β^+ 붕괴해서 陽子가 된다.
2. 중성자는 核外에서는 붕괴하나 核内에서는 붕괴하지 않는다.
3. 중성자의 spin은 1이다.
4. 陽子는 물질속을 통과할 때 전자를 포획하여 중성자로 붕괴할 경우가 있다.
5. 核内の 陽子는 軌道電子를 포획해서 중성자로 붕괴할 경우가 있다.

[解説] 중성자가 양자로 붕괴하기 위해서는 電荷保存의 법칙에서 음(-)의 전하를 가진 粒子를 방출해야 한다. 따라서 β^+ 붕괴하는 일은 없다. 자유로운 중성자의 반감기는 10.6분으로 β^- 붕괴한다. 방사성동위원소가 β^- 붕괴하는 것은 그 원자핵내에 있는 어떤 중성자가 양자로 변하기 때문이므로 2는 틀린다. 스핀 (spin)은 量子數의 하나로 직접 古典物理에 대응하는 개념은 아니다. 중성자나 양자의 spin은 1/2이며 이것은 Fermi 통계에 따르기 때문에 Fermi 粒子라고도 부른다. 양자는 자유로울 때는 안정하며 그 자신이 중성자로 변하는 일은 없다. 그 대신 혼자 있는 양자는 전자를 자기 가까이 잡아당겨서 수소원자가 된다. 따라서, 물질속을 통과할 때 점점 에너지가 작아져서 전자가 부착되는 것이 가능해지면 수소원자를 만든다. 한편, 원자핵 내에서는 양자의 수가 안정한 원자핵의 양자수보다 많은 원자핵은 그 속에서 양자가 중성자로 변환한다. 이 과정은 β^+ 붕괴와 궤도전자 포획이다.

㉔ 5

[問題 5] 터널 효과에 起因하는 핵붕괴로서 單一에너지의 입자를 방출하는 것은 어느 것인가?

1. β^- 붕괴
2. β^+ 붕괴
3. 궤도전자포획
4. α 붕괴
5. 自發核分裂



터널 효과

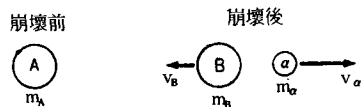
[解説] 그림에서와 같이 에너지potential (V)의 벽이 있을 때 古典的으로는 C의 에너지準位에 있는 입자가 그 장벽밖으로 나가기 위해서는 그 입자에 V' 이상의 에너지를 주어야 한다. 그러나 量子力學에서는 Planck 常數가 有限한 값이기 때문에 potential 장벽보다도 낮은 에너지

(예를 들면 C)에서 장벽을 뚫고나와 D의 위치로 통과하는 확률은 0이 아니다. 이것을 tunnel 효과라 한다. α 입자의 放出은 이 tunnel 효과로 설명되었으므로 유명하다.

㉔ 4

[問題 6] 원자핵 A가 α 붕괴해서 원자핵 B가 될 때 붕괴에너지를 Q라 하고 α 입자, 원자핵 A 및 B의 질량을 각각 m_α , m_A 및 m_B 로 하면 α 입자의 에너지를 나타내는 식은 다음 어느 것인가?

1. $\{m_B / (m_B + m_\alpha)\} Q$
2. $\{(m_A + m_\alpha) / m_A\} Q$
3. $\{(m_A + m_\alpha) / m_B\} Q$
4. $\{m_\alpha / (m_B + m_\alpha)\} Q$
5. $\{m_A / (m_A + m_B)\} Q$



[解説] 붕괴전후의 에너지와 운동량의 관계를 생각해 보자. 붕괴후의 원자핵 B와 α 입자가 갖는 속도를 각각 v_B 및 v_α 라 하면 에너지保存法則과 運動量保存法則으로부터

$$\frac{1}{2} m_B v_B^2 + \frac{1}{2} m_\alpha v_\alpha^2 = Q$$

$$m_B v_B - m_\alpha v_\alpha = 0$$

가 성립된다. α 입자가 갖는 운동에너지 T_α 는

$$T_\alpha = (1/2) m_\alpha v_\alpha^2$$

이므로 上式에서 v_B 를 消去하고 v_α 를 구하면

$$v_\alpha^2 = \{2m_B / m_\alpha (m_\alpha + m_B)\} Q$$

따라서

$$T_\alpha = \{m_B / (m_B + m_\alpha)\} Q$$

㉔ 1

[問題 7] 핵에서 γ 선이 방출될 때 그 反動으로 핵은 에너지를 받게 (反跳) 된다. γ 선의 에너지를 E, 殘留核의 질량을 M, 光速度를 c라 하면 反跳核의 에너지는 다음의 어느 것인가?

1. $\frac{1}{3M} \left(\frac{E}{c}\right)^2$
2. $\frac{1}{2M} \left(\frac{E}{c}\right)^2$
3. $\frac{1}{M} \left(\frac{E}{c}\right)^2$
4. $\frac{2}{M} \left(\frac{E}{c}\right)^2$
5. $\frac{3}{M} \left(\frac{E}{c}\right)^2$

[解説] 에너지보존법칙과 운동량보존법칙을 사용하면 좋으나 여기서 문제가 되는 것은 γ 선의 운동량인데 γ 선은 질량이 없으므로 “ mv ”로 나타낼 수 없다. 그래서 운동량 dimension인(질량×속도)에 속도를 곱해서 에너지 dimension으로 한후 이것을 다시 속도로 나누면 [에너지/속도]가 되는데 이것은 운동량의 dimension과 같다. 따라서 γ 선의 운동량은 E/c 로 표시할 수 있다.

反跳核의 속도를 V 라 하면 운동량보존법칙에서 $MV = E/c$ 이므로 反跳核의 에너지는

$$(1/2)MV^2 = (1/2M)M^2V^2 = (1/2M)(E/c)^2$$

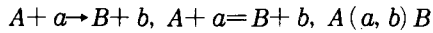
이 된다.

☐ 2

[問題 8] 중성자에 의한 핵반응중 주로 速中性子에 의해서 일어나는 반응은 다음 어느 것인가?

1. $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ 2. $^3\text{He}(n, p)^3\text{H}$
3. $^6\text{Li}(n, \alpha)^3\text{H}$ 4. $^{235}\text{U}(n, f)$
5. $^{238}\text{U}(n, f)$

[解説] 일반적으로 入射粒子 a 가 표적(target) A 를 충격해서 다른 원자핵 B 가 생성되고 방출입자가 b 인 원자핵반응을



등으로 쓴다. 4와 5는 fission(핵분열)을 나타낸다. 핵반응에는 반응에 관여하는 입자와 원자핵의 질량관계에서 吸熱반응과 發熱반응으로 나누어진다. 즉, 원자핵 및 입자의 질량을 각각 M_A, m_a, M_B, m_b 라고 하면 반응전후의 에너지관계는

$$M_A c^2 + m_a c^2 = M_B c^2 + m_b c^2 + Q$$

가 된다. Q 는 반응결과 해방되는 에너지로 Q 值라고 한다.

$Q > 0$ 일 때는 발열반응, $Q < 0$ 일 때는 흡열반응이다. $Q < 0$ 일 때도 입사입자의 에너지가 $\{(M_A + m_a)/M_A\}(-Q)$ 이상이 아니면 반응이 일어나지 않는다. 이 值를 문턱에너지라 한다. 1, 2와 3

의 반응이 모두 발열반응으로 熱중성자의 검출에 이용되므로 잘 알려진 반응이다. ^{235}U 의 핵분열도 열중성자에서 일어나는 반응이다. 한편, ^{238}U 은 중성자를 1.8MeV이상의 에너지로서 入射시켜주지 않으면 핵분열이 일어나지 않는다.

☐ 5

[問題 9] $^3\text{He}, ^{10}\text{B}, ^{112}\text{Cd}, ^{235}\text{U}$ 은 열중성자측정에 사용된다. 이들 核種과 열중성자와의 핵반응식 연결중 옳은 것은 어느 것인가?

- | ^3He | ^{10}B | ^{112}Cd | ^{235}U |
|------------------|-----------------|-------------------|------------------|
| 1. (n, α) | (n, p) | (n, γ) | (n, f) |
| 2. (n, α) | (n, γ) | (n, p) | (n, f) |
| 3. (n, p) | (n, α) | (n, γ) | (n, f) |
| 4. (n, p) | (n, α) | (n, f) | (n, γ) |
| 5. (n, α) | (n, γ) | (n, p) | (n, f) |

[解説] ^3He 에 열중성자가 충돌하면 α 입자가 되던가, 양자가 방출되던가 인데 $^3\text{He} + n \rightarrow ^4\text{He}$ 의 경우는 ^4He 이 안정한 원자핵이므로 ^3He 보다 질량결손($M - A$)이 적고 또 중성자가 들어오기 때문에 ^4He 은 높은 勵起狀態가 되어 $^3\text{He}(n, p)^3\text{H}$ 형으로 분해된다고 생각된다. 양자가 방출되면 그 검출은 쉽기 때문에 이 반응은 열중성자검출에 사용된다. 다음에, $^{10}\text{B}(n, p)^{10}\text{B}$ 와 $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ 의 반응을 비교해보면 ^{10}B 보다 ^7Li 이 N/Z 가 1에 가깝기 때문에 보다 안정한 핵이라고 판정해도 좋다. 入射에너지가 작을 때는 질량관계에서 안정한 핵을 생성하는 반응이 일반적으로 일어나기 쉽다고 생각해도 좋다. 그러므로 (n, α) 반응으로 판정된다. ^{112}Cd 과 같은 中重核이 되면 陽子放出은 速中性子が 아니면 일반적으로 일어나지 않는다. 또 핵분열은 U 과같이 무겁지 않으면 열중성자로서는 일어나지 않으므로 열중성자가 ^{112}Cd 에 부딪혔을 경우 勵起된 ^{113}Cd 이 생기고 α 선이 방출되는 (n, γ) 반응이 타당하다고 생각된다. ^{235}U 의 경우는 거의 틀림없이 (n, f) 입이 판단된다.

☐ 3