1. จงอธิบายถึงการทดลองของรัทเธอร์ฟอร์ด เพื่อหาโครงสร้างของอะตอม

ดูหนังสือฟิสิกส์รังสีหน้า 3

---

2. อะตอมของรัทเธอร์ฟอร์มีข้อขัดแย้งกับทฤษฎีฟิสิกส์อย่างไร

ดูหนังสือฟิสิกส์รังสีหน้า 4

---

3. สมบุติฐานเกี่ยวกับอะตอมของบอร์มีใจความอย่างไร

ดูหนังสือฟิสิกส์รังสีหน้า 6

---

4. จงหา ก. ความเร็วของอีเล็คตรอนในวงโคจรสามชั้นแรกของอะตอมไฮโดร-เจน

ข. รัศมีของวงโคจรทั้งสามนี้

<u>วิธีทำ</u> $V_n = \frac{2.18 \times 10^6}{n}$ เมตร / วินาที

$R_n = 5.3 \times 10^{-11} n^2$ เมตร

n	V_n	R_n
1	2.18×10^6	5.3×10^{-11}
2	1.09×10^6	21.2×10^{-11}
3	0.727×10^6	47.7×10^{-11}

5. จงหา ก. เวลาในการวิ่งครบรอบของอีเล็คตรอนในวงโคจรชั้นแรกของอะตอมไฮโดรเจน

ข. ความเร็วเชิงมุมของอีเล็คตรอน

<u>วิธีทำ</u> ก. เวลาวิ่งครบรอบ (T) = เส้นรอบวง / ความเร็ว

$= 2 R_1 / V_1$

$= \frac{2 \times 3.14 \times 5.3 \times 10^{-11}}{2.18 \times 10^{6}}$

$= 1.43 \times 10^{-16}$ วินาที / รอบ

II. ความเร็ว เชิงมุม (w) $= \frac{2\pi}{T}$

$= \frac{2 \times 3.4}{1.43 \times 10^{-16}}$

$= 4.4 \times 10^{16}$ เรเดียน / วินาที

---

6. จงหาพลังงานจลน์ของอีเล็คตรอนในวงโคจรชั้นที่ n ของอะตอมไฮโดรเจนแ
หาพลังงานจลน์ เมื่อ n = 1, 2, 3 และ ∞

<u>วิธีทำ</u> พลังงานจลน์ (K.E.) $= \frac{1}{2}mV_n^2$

แต่ $V_n^2 = \frac{Ke^2}{mR_n}$

ดังนั้น $K.E. = \frac{1}{2}m\left(\frac{Ke^2}{mR_n}\right)$

$= \frac{1\ Ke^2}{2\ R_n}$

แต่ $R_n = \frac{n^2\hbar^2}{mKe^2}$

ดังนั้น $X.E. = \frac{1}{2}Ke^2\left(\frac{mKe^2}{n^2\hbar^2}\right)$

$= \frac{mK^2e^4}{2n^2\hbar^2}$

แทนค่า $K.E. = \frac{(\ 9.11 \times 10^{-31}\ )(\ 9 \times 10^{9}\ )^2(\ 1.6 \times 10^{-19}\ )^4}{2n^2(\ 7.055 \times 10^{-32}\ )^2}$

$= \frac{2.172 \times 10^{-18}}{n^2}$ จูล

$= \frac{2.172 \times 10^{-18}}{1.6 \times 10^{-19}n^2}$ eV

$= \frac{13.6}{n^2}$ eV

$$\boxed{K.E. = \frac{13.6}{n^2}\ \text{eV}}$$

เมื่อ $n = 1$, K.E. $= 13.6$ eV

เมื่อ $n = 2$ K.E. $= \frac{13.6}{4} = 3.4$ eV

เมื่อ $n = 3$ K.E. $= \frac{13.6}{9} = 1.51$ eV

เมื่อ $n = \infty$ K.E. $= \frac{13.6}{\infty} = 0$ eV

---

7. จงหาพลังงานจลน์, พลังงานศักย์และพลังงานรวมของอีเล็คตรอนในวงโคจรชั้นแรกของอะตอมไฮโดรเจน

<u>วิธีทำ</u> พลังงานจลน์ $= \frac{mK^2e^4}{2n^2\hbar^2}$

$= \frac{13.6}{n^2}$

$= 13.6$ eV

พลังงานศักย์ $= -\frac{mK^2e^4}{n^2\hbar^2}$

$= -\frac{27.2}{n^2}$

$= -27.2$ eV

พลังงานรวม $=$ พลังงานจลน์ + พลังงานศักย์

$= 13.6 + (-27.2)$ eV

$= -13.6$ eV

---

8. จงหาพลังงานในการแตกตัวของอะตอมไฮโดรเจน

<u>วิธีทำ</u> ให้ U_i = พลังงานในการแตกตัว

W_i = งานในการทำให้อีเล็คตรอนเคลื่อนจากวงโคจรเข้าสู่

$$\boxed{eU_i = W_i}$$

สำหรับอะตอมไฮโดรเจน

$$W_i = h\nu = hcR\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right)$$

$$\boxed{U_i = \frac{hcR}{e}\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i}\right)}$$

เมื่อ $n_f = \infty$, $n_i = 1$

จะได้ $U_i = -\frac{hcR}{e} = -13.6$ eV

---

9. จงหา excitation potential ครั้งที่หนึ่งของอะตอมไฮโดรเจน

วิธีทำ $E_1 = -13.6$ eV

$E_2 = -3.4$ eV

excitation ครั้งที่หนึ่งเกิดขึ้นเมื่ออีเล็คตรอนได้รับพลังงานแล้วเคลื่อนที่จากวงโคจรชั้น n = 1 ไปยังวงโคจรชั้น n = 2

$$\Delta E = E_i - E_f$$

$$= (-13.6) - (-3.4) = -10.2 \text{ eV}$$

excitation potential ครั้งที่หนึ่งเท่ากับ 10.2 อีเล็คตรอนโวลต์

---

10. จงหาจำนวนโปรตอนและนิวตรอนของนิวเคลียสต่อไปนี้ ก. $^{24}_{12}Mg$ ข. $^{25}_{12}Mg$ ค. $^{26}_{12}Mg$

วิธีทำ ก. $^{24}_{12}Mg$ มี P = 12, n = 12

ข. $^{25}_{12}Mg$ มี P = 12, n = 13

ค. $^{26}_{12}Mg$ มี P = 12, n = 14

---

11. จงอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างเลขมวล (A) กับพลังงานยึดเหนี่ยวเฉลี่ยต่อนิวคลีออน (B.E. / A)

ดูหนังสือฟิสิกส์รังสีหน้า 36

---

12. จงหาพลังงานยึดเหนี่ยวของ $^{27}_{13}Al$

วิธีทำ $B.E. = \left[ZM_H + (A - Z)m_n - M \right] 931$

แทนค่า $B.E. = \left[13(1.00814) + (27 - 13)1.00899 - 26.9901 \right] 931$

$= 225$ MeV

พลังงานยึดเหนี่ยวของ $^{27}_{13}Al$ เท่ากับ 225 เอ็มอีวี

---

13. จงหาพลังงานยึดเหนี่ยวของ ก. $^{3}_{1}H$ ข. $^{3}_{2}He$ นิวเคลียสทั้งสองตัวนี้นิวเคลียสใดมีเสถียรภาพดีกว่า

วิธีทำ ก. $B.E. = [1(1.00814) + (3 - 1)1.00899 - 3.0171 \; 931$

$= 8.5$ MeV

$\frac{B.E.}{A} = \frac{8.3}{3} = 2.8$ MeV

ข. $B.E. = \left[2(1.00814) + (3 - 2)1.00899 - 3.01699 \right] 931$

$= 7.7$ MeV

$\frac{B.E.}{A} = \frac{7.7}{3} = 2.6$ MeV

เนื่องจาก $^{3}_{1}H$ มีค่า B.E. / A มากกว่า ดังนั้น $^{3}_{1}H$ จึงมีเสถียรภาพดีกว่า

---

14. จงหาพลังงานยึดเหนี่ยวของ $^{7}_{3}Li$

วิธีทำ $B.E. = \left[ZMH + (A - Z)m_n - M \right] 931$

แทนค่า $B.E. = \left[3(1.00814) + (7 - 3)1.00899 - 7.01823\right] 931$

$= 0.04215 \times 931$ MeV

$= 39.3$ MeV

พลังงานยึดเหนี่ยวของ $^{7}_{3}Li$ เท่ากับ 39.3 เอ็มอีวี

---

15. จงหาพลังงานยึดเหนี่ยวของ $^{4}_{2}He$

วิธีทำ $B.E. = \left[ZM_H + (A - Z)m_n - M \right] 931$

แทนค่า $B.E. = \left[2(1.00814) + (4 - 2)1.00899 - 4.003881\right] 931$

$= 28.3$ MeV

พลังงานยึดเหนี่ยวของ $^{4}_{2}He$ เท่ากับ 28.3 เอ็มอีวี

---

16. จงหาพลังงานที่ได้จากปฏิกริยานิวเคลียร์ต่อไปนี้

$$^{7}_{3}Li + ^{1}_{1}H \longrightarrow ^{4}_{2}He + ^{4}_{2}He$$

กำหนดให้ มวลอะตอมลิเธียม – 7 = 7.01823

มวลอะตอมไฮโดรเจน = 1.00814

มวลอะตอมฮีเลียม – 4 = 4.00388

วิธีทำ $Q = (M_{Li} + M_{H} - M_{He} - M_{He}) 931$

แทนค่า $Q = (7.01823 + 1.00814 - 4.03388 - 4.00388)931$

$= 0.01861 \times 931$ MeV

$= 17.3$ MeV

พลังงานที่ได้จากปฏิกริยานิวเคลียร์นี้เท่ากับ 17.3 เอ็มอีวี

---

17. จงหาพลังงานที่ถูกดูดกลืนจากปฏิกริยานิวเคลียร์ต่อไปนี้

$$^{14}_{7}N + ^{4}_{2}He \longrightarrow ^{1}_{1}H + ^{17}_{8}O$$

กำหนดให้ มวลอะตอมไนโตรเจน – 14 เท่ากับ 14.00752

มวลอะตอมออกซิเจน – 17 เท่ากับ 17.00453

วิธีทำ $Q = (M_{N} + M_{He} - M_{H} - M_{O}) 931$

$= (14.00752 + 4.00388 - 1.00814 - 17.00453)931$

$= -1.18$ MeV

พลังงานถูกดูดกลืน 1.18 เอ็มอีวี

---

18. ระดมยิง $^{6}_{3}Li$ ด้วยดิวเทอรอน ทำให้เกิดอนุภาคแอลฟาสองตัว พร้อมกับได้พลังงาน 22.3 เอ็มอีวี กำหนดให้ มวลอะตอมดิวเทอรอนเท่ากับ 2.01474 และมวลอะตอมฮีเลียมเท่ากับ 4.00388 จงหามวลของลิเธียม-6

วิธีทำ $Q = (M_{Li} + M_{D} - M_{He} - M_{He}) 931$

แทนค่า $22.3 = (M_{Li} + 2.01474 - 4.00388 - 4.00388) 931$

$M_{Li} = 6.017$ เอเอ็มยู

มวลของลิเธียม – 6 เท่ากับ 6.017 เอเอ็มยู

---

19. จงอธิบายฟิชชัน (Fission)

ดูหนังสือฟิสิกส์รังสีหน้า 42

---

20. จงอธิบายฟิวชัน (Fusion)

ดูหนังสือฟิสิกส์รังสีหน้า 43

---

21. จงหาพลังงาน, มวล และโมเมนตัมของโฟตอน ที่มีความยาวคลื่น 0.016 อังสตรอม

วิธีทำ พลังงาน (E) $= \frac{hc}{\lambda} = \frac{(6.625 \times 10^{-34})(3 \times 10^{8})}{0.16 \times 10^{-10}}$

$= 1.15 \times 10^{-13}$ จูลย์

มวล (m) = $\frac{h}{c}$ = $\frac{6.625 \times 10^{-34}}{('0.016 \times 10^{-10})(3 \times 10^{8})}$

= 1.38×10^{-30} กิโลกรัม

โมเมนตัม (P) = $\frac{h}{\lambda}$ = $\frac{6.625 \times 10^{-34}}{0.016 \times 10^{-10}}$

= 4.1×10^{-22} กิโลกรัม.เมตร / วินาที

---

22. จงหามวลของโฟตอนต่อไปนี้ ก. แสงสีแดง (ความยาวคลื่นเท่ากับ 7×10^{-5} ซม.) ข. รังสีเอ็กซ์ (ความยาวคลื่นเท่ากับ 0.25 อังสตรอม) ค. รังสีแกมมา (ความยาวคลื่นเท่ากับ 1.24×10^{-2} อังสตรอม)

วิธีทำ จาก $m = \frac{h}{c}$

ก. แสงสีแดง m = $\frac{6.625 \times 10\text{-}34}{(7 \times 10 \text{-} 5 \times 10^{2})(3 \times 10^{8})}$

= 3.2×10^{-36} กิโลกรัม

ข. รังสีเอ็กซ์ = $\frac{6.625 \times 10^{-34}}{(0.25 \times 10^{-10})(3 \times 10^{8})}$

= 8.8×10^{-32} กิโลกรัม

ค. รังสีแกมมา = $\frac{6.625 \times 10^{-34}}{(1.24 \times 10^{-2} \times 10^{-10})(3 \times 10^{8})}$

= 1.8×10^{-30} กิโลกรัม

23. จงหาความเร็วของอีเล็คตรอนที่มีโมเมนตัมเท่ากับโฟตอนที่มีความยาวคลื่น λ = 5,200 อังสตรอม

<u>วิธีทำ</u> โมเมนตัมของอีเล็คตรอน = โมเมนตัมของโฟตอน

$$mV = \frac{h}{\lambda}$$

$$\boxed{V = \frac{h}{m\lambda}} \quad (1)$$

แทนค่า $V = \dfrac{6.625 \times 10^{-34}}{(9.11 \times 10^{-31})(5,200 \times 10^{-10})}$

$= 1.400$ เมตร / วินาที

ความเร็วของอีเล็คตรอน = 1,400 เมตร / วินาที

---

24. จงหาความเร็วของอีเล็คตรอนที่มีพลังงานจลน์เท่ากับพลังงานของโฟตอนที่มีความยาวคลื่น λ = 5,200 อังสตรอม

<u>วิธีทำ</u> พลังงานจลน์ = พลังงานโฟตอน

$$\frac{1}{2}mV^2 = \frac{hc}{\lambda}$$

$$V^2 = \frac{2hc}{m\lambda}$$

$$v = \sqrt{\frac{2hc}{m\lambda}}$$

แทนค่า

$$v = \sqrt{\frac{2(6.625 \times 10^{-34})(3 \times 10^{8})}{(9.11 \times 10^{-31})(5{,}200 \times 10^{-10})}}$$

$$= 9.2 \times 10^{5} \text{ เมตร / วินาที}$$

ความเร็วของอีเล็คตรอน = $9.2. \times 10^{5}$ เมตร / วินาที

25. โมเมนตัมจากลำโฟตอนพลังงานเดียวที่วิ่งผ่านพื้นที่ S = 2 ตารางเซ็นติเมตร ในช่วงเวลา t = 0.5 นาที มีค่าเท่ากับ = 3×10^{-4} กรัม. เซ็นติเมตร / วินาที จงหาพลังงานที่ตกกระทบพื้นที่หนึ่งหน่วยของลำโฟตอนนี้

วิธีทำ $\boxed{E = \frac{\bar{P} \times c}{st}}$

แทนค่า $E = \frac{(3 \times 10^{-4} \times 10^{-3} \times 10^{-2})(3 \times 10^{8})}{(2 \times 10^{-4})(0.5 \times 60)}$

$$= 150 \text{ จูลย์ / ตารางเมตร}$$

พลังงานที่ตกกระทบ = 150 จูลย์ / ตารางเมตร

26. พลังงานของอีเล็คตรอนของอะตอมไฮโดรเจนจะเปลี่ยนไปเท่าไร ถ้าหากว่าอะตอมไฮโดรเจนส่งโฟตอนที่มีความยาวคลื่นเท่ากับ 4,860 อังสตรอม ออกมา

วิธีทำ $E = \frac{12.4x}{\lambda} = \frac{12.4 \times 10^3}{4,860} = 2.56$ eV

พลังงานของอีเล็คตรอนเปลี่ยนไป 2.56 eV

---

27. จงหาพลังงานของโฟตอนที่มีมวลเท่ากับมวลนิ่ง (rest mass) ของอีเล็คตรอน

วิธีทำ

$$E = mc^2$$

แทนค่า $E = (9.11 \times 10^{-31})(3 \times 10^8)^2$

$$= \frac{(9.11 \times 10^{-31})(3 \times 10^8)^2}{(1.6 \times 10^{-19})}$$

$$= \frac{(9.11 \text{ x10-3' })(3 \text{ x } 108)^2 (10\text{-}6)}{(1.6 \times 10^{-19})}$$

$$= 0.511 \text{ MeV}$$

---

28. จงอธิบายเครื่องกำเนิดรังสีเอ็กซ์ แสดงส่วนประกอบต่างๆพร้อมทั้งอธิบายการทำงานด้วย

ดูหนังสือฟิสิกส์รังสีหน้า 47

---

29. จงอธิบายกำเนิดรังสีเอ็กซ์ในระดับอะตอม

ดูหนังสือฟิสิกส์รังสีหน้า 48

---

30. จงอธิบายส่วนประกอบที่มีผลต่อความเข้มและพลังงานของรังสีเอ็กซ์

ดูหนังสือฟิสิกส์รังสีหน้า 53

---

31. ให้ความต่างศักย์แก่หลอดรังสีเอ็กซ์ 60 กิโลโวลต์ พบว่า รังสีเอ็กซ์ที่เกิดขึ้นมีความยาวคลื่นสั้นที่สุดเท่ากับ 0.206 อังสตรอม จงหาค่าคงที่ของแพลงค์

<u>วิธีทำ</u> $E_{max} = \frac{hc}{\lambda_{mim}}$

แต่ $E_{max} = eV$

ดังนั้น $eV = \frac{hc}{\lambda_{mim}}$

$$h = \frac{eV\lambda_{mim}}{c}$$

แทนค่า $h = \frac{(1.6 \times 10^{-19})(60 \times 10^{3})(0.206 \times 10^{-10})}{3 \times 10^{8}}$

$= 6.6 \times 10^{-34}$ J.s

ค่าคงที่ของแพลงค์เท่ากับ 6.6×10^{-34} จูลย์.วินาที

---

32. จงหาความยาวคลื่นที่สั้นที่สุดของรังสีเอ็กซ์จากหลอดรังสีเอ็กซ์ที่มีความต่างศักย์
ก. 30 กิโลโวลต์ ข. 40 กิโลโวลต์ ค. 50 กิโลโวลต์

วิธีทำ $\lambda_{mim} = \frac{hc}{E_{max}} = \frac{hc}{ev}$

ก. V = 30 กิโลโวลต์

$\lambda_{mim} = \frac{(6.625 \times 10^{-34})(3 \times 10^{8})(10^{-10})}{(1.6 \times 10^{-19})(30 \times 10^{3})}$

$= 0.413$ A^{o}

ข. V = 40 กิโลโวลต์

$\lambda_{mim} = \frac{(6.625 \times 10^{-34})(3 \times 10^{8})(10^{-10})}{(1.6 \times 10^{-19})(40 \times 10^{3})}$

$= 0.310$ A^{o}

ค. V = 50 กิโลโวลต์

$\lambda_{mim} = \frac{(6.625 \times 10^{-34})(3 \times 10^{8})(10^{-10})}{(1.6 \times 10^{-19})(50 \times 10^{3})}$

$= 0.248$ A^{o}

33. ความยาวคลื่นของรังสีแกมมาจากเรเดียม C เท่ากับ 0.016 อังสตรอม จงหาว่า จะต้องให้ความต่างศักย์แก่หลอดรังสีเอ็กซ์เท่าไร สำรังสีเอ็กซ์จึงจะมีความยาวคลื่นสั้นที่สุดเท่านี้

วิธีทำ จาก $\lambda_{mim} = \frac{hc}{eV}$

$$V = \frac{hc}{e\lambda_{mim}}$$

แทนค่า $V = \frac{(6.625 \times 10^{-34})(3 \times 10^{8})}{(1.6 \times 10^{-19})(0.016 \times 10^{-10})}$

$= 770$ KV

จะต้องให้ความต่างศักย์ 770 กิโลโวลต์

---

34. จงหาความยาวคลื่นที่สั้นที่สุดของรังสีเอ็กซ์ที่ได้จากหลอดรังสีเอ็กซ์ที่มีคุณสมบัติว่า เมื่อลดความต่างศักย์ลง 23 กิโลโวลต์ ความยาวคลื่นเพิ่มขึ้นสองเท่า

วิธีทำ $\lambda_{mim} = \frac{hc}{eV}$ (1)

$2\lambda_{mim} = \frac{hc}{e(V - 23)}$ (2)

(1) ÷ (2) $\frac{1}{2} = \frac{V - 23}{V}$

$V = 2V - 46$

$V = 46$ KV

จาก (1) $\lambda_{mim} = \frac{(6.625 \times 10^{-34})(3 \times 10^{8})}{(1.6 \times 10^{-19})(46 \times 10^{3})}$

$= 0.27 \ A^{o}$

ความยาวคลื่นที่สั้นที่สุดของรังสีเอ็กซ์เท่ากับ 0.27 อังสตรอม

---

35. เราจะพิจารณาถึงความสามารถในการทำงานของเครื่องกำเนิดรังสีเอ็กซ์ได้จากค่าอะไรบ้าง

ดูหนังสือฟิสิกส์รังสีหน้า 62

---

36. จงอธิบายการแผ่รังสีแอลฟา พร้อมทั้งแสดงสมการการสลายตัวและพลังงานที่ได้จากการสลายตัว

ดูหนังสือฟิสิกส์รังสีหน้า 75

---

37. จงอธิบายการแผ่รังสีเบตาทั้งสองชนิด แสดงสมการการสลายตัวและพลังงานที่ได้จากการสลายตัว

ดูหนังสือฟิสิกส์รังสีหน้า 79

---

38. จงอธิบายการแผ่รังสีแกมมา

ดูหนังสือฟิสิกส์รังสีหน้า 85

---

39. ระดมยิงไนโตรเจน – 14 โดยใช้นิวตรอน ทำให้เกิด $^{14}_{6}C$ ซึ่งสลายตัวให้รังสีเบตาชนิดลบ จงเขียนสมการแสดงปฏิกริยาทั้งสอง

วิธีทำ $$^{14}_{7}N + ^{1}_{0}N \longrightarrow ^{14}_{6}C + ^{1}_{1}H$$

$$^{14}_{6}C \longrightarrow ^{0}_{-1}\beta + ^{14}_{7}N$$

---

40. ระดมยิง $^{27}_{13}Al$ ด้วยอนุภาคแอลฟา ทำให้เกิด $^{30}_{15}P$ ซึ่งสลายตัวให้โพซิตรอน จงเขียนสมการแสดงปฏิกริยาทั้งสอง

วิธีทำ $$^{27}_{13}Al + ^{4}_{2}He \longrightarrow ^{30}_{15}P + ^{1}_{0}n$$

$$^{30}_{15}P \longrightarrow ^{0}_{+1}\beta + ^{30}_{14}Si$$

---

41. จงหากัมมันตภาพของแคลเซียม – 45 จำนวน 1 ไมโครกรัม กำหนดให้ครึ่งชีวิตของแคลเซียม – 45 เท่ากับ 164 วัน

วิธีทำ หาจำนวนอะตอมของแคลเซียมจำนวน 1 ไมโครกรัมก่อน

$$\text{จำนวนอะตอม} = \frac{\text{มวล}}{\text{เลขมวล}} \times \text{เลขอะโวกราโด}$$

$$\text{หรือ} \quad N = \frac{mN_A}{\text{เลขมวล}}$$

$$\text{แต่} \quad A = \lambda N = \frac{0.693}{T_{1/2}} N$$

$$A = \frac{0.693 m N_A}{\text{เลขมวล} \times T_{1/2}}$$

แทนค่า m = 10^{-9} กิโลกรัม

N_A = 6.02×10^{23}

เลขมวล = 45

$T_{1/2}$ = $164 \times 24 \times 36,000$

$$A = \frac{0.693 \times 10^{-9} \times 6.02 \times 10^{23}}{45 \times 164 \times 24 \times 3600}$$

= 6.53×10^{8} dps

= 1.77×10^{-2} คูรี

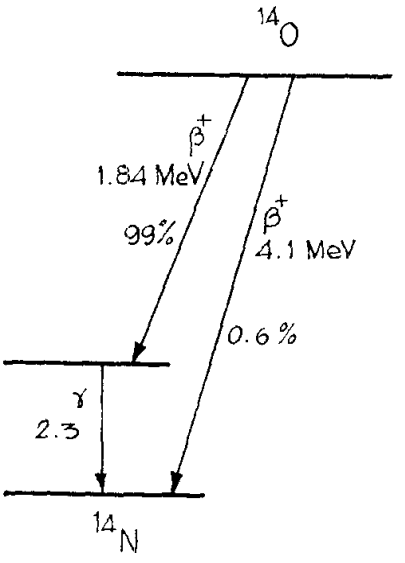
= 17.7 มิลลิคูรี

กัมมันตภาพ = 17.7 มิลลิคูรี

---

42. ออกซิเจน – 14 สลายตัวเป็นไนโตรเจน – 14 ให้รังสีเบตาชนิดบวกพลังงาน 1.84 เอ็มอีวี จำนวน 99% , รังสีเบตาชนิดบวกพลังงาน 4.1 เอ็มอีวี จำนวน 0.6% และรังสีแกมมาพลังงาน 2.3 เอ็มอีวี จงเขียนแผนภูมิแสดงการสลายตัว

<u>วิธีทำ</u> เมื่อออกซิเจน – 14 สลายตัวให้รังสีเบตาชนิดบวกพลังงาน 1.84 เอ็มอีวี แล้ว ยังมีพลังงานอยู่ในตัวมากเกินไปจะต้องสลายตัวต่อไปอีก โดยการให้รังสีแกมมาพลังงาน 2.3 เอ็มอีวี ดังนั้น จะเขียนแผนภูมิแสดงการสลายตัวได้ดังนี้



---

43. แมกนีเซียม – 27 สลายตัวเป็นอลูมิเนียม – 27 ได้รังสีเบตาชนิดลบพลังงาน 1.59 เอ็มอีวี จำนวน 30% , รังสีเบตาชนิดลบพลังงาน 1.78 เอ็มอีวีจำนวน 70% และรังสีแกมมาสามตัวพลังงาน 0.834, 1.015, 0.181 เอ็มอีวี จงเขียนแผนภูมิแสดงการสลายตัว

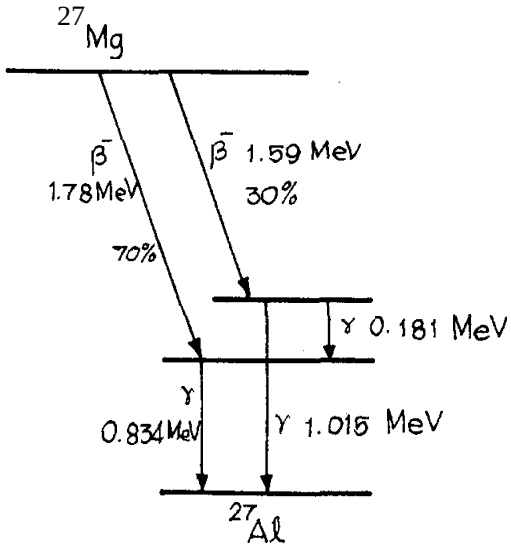
วิธีทำ การสลายตัวทั้งสองทาง จะต้องมีพลังงานเท่ากัน

ทางที่หนึ่ง = 1.78 + 0.834 = 2.614 MeV

ทางที่สอง = 1.59 + 0.181 + **0.834** = **2.605** MeV

หรือ = 1.59 + 1.015 = 2.605 MeV

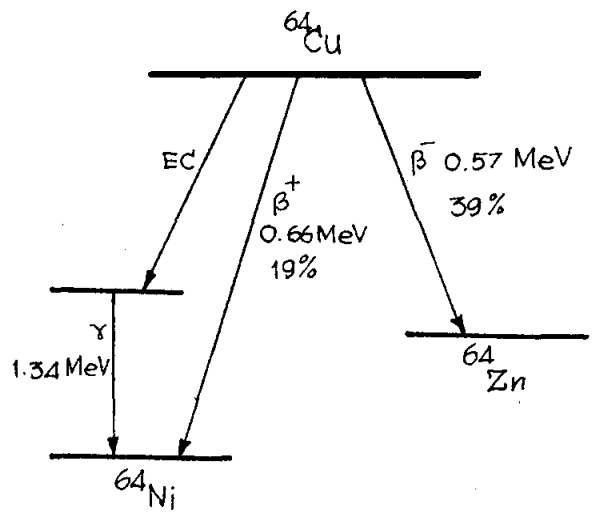
ซึ่งจะเขียนแผนภูมิแสดงการสลายตัวได้ดังนี้



---

44. ทองคำ – 64 สลายตัวได้ไอโซโทปสองชนิด คือ นิเกิล – 64 และสังกะสี – 64 รังสีที่ได้จากการสลายตัว คือ รังสีเบตาชนิดบวกพลังงาน 0.66 เอ็มอีวี จำนวน 39% รังสีเบตาชนิดลบพลังงาน 0.57 เอ็มอีวี จำนวน 19% และรังสีแกมมาพลังงาน 1.34 เอ็มอีวี นอกจากนี้ยังเกิดขบวนการอีเล็คตรอนแคพเจอร์ด้วย จงเขียนแผนภูมิแสดงการสลายตัว

วิธีทำ



---

45. ถ้าสารกัมมันตรังสีสลายตัวในช่วงเวลาเท่ากับอายุเฉลี่ยของสารกัมมันตรังสีนั้น จงหาอัตราส่วนของกัมมันตภาพที่เวลานี้กับกัมมันตภาพเริ่มต้น

วิธีทำ จาก $A = A_0 e^{-0.693t / T_{1/2}}$

แทนค่า t = อายุเฉลี่ย $= 1.44\ T_{1/2}$

$$= \frac{-0.693 \times 1.44\ T_{1/2}}{T_{1/2}}$$

$$A = A_0 e$$

$$= A_0 e^{-0.693 \times 1.44}$$

$$\frac{A}{A_0} = A_0 e^{-0.693 \times 1.44}$$

$$\frac{A}{A_0} = 0.369$$

อัตราส่วนของกัมมันตภาพ = 0.369

---

46. Bi – 210 บางตัวสลายตัวให้รังสีแอลฟา บางตัวสลายตัวให้เนกาตรอน จงเขียนสมการแสดงการสลายตัว

วิธีทำ $^{210}_{83}Bi \longrightarrow {}^{206}_{81}Tl + {}^{4}_{2}He$

$^{210}_{83}Bi \longrightarrow {}^{210}_{84}Pb + {}^{0}_{-1}e$

---

47. จงหาจำนวนอะตอมและจำนวนกรัมของ Y – 90 ซึ่งอยู่ในภาวะสมดุลย์อย่างถาวรกับ Sr – 90 จำนวน 50 มิลลิคูรี กำหนดให้ ครึ่งชีวิตของ Y – 90 = 64 ชั่วโมง

<u>วิธีทำ</u> ในภาวะสมดุลย์อย่างถาวร

$$A_Y = A_{Sr}$$

$$\frac{N_Y\ (\ 0.693\ )}{64 \times 3600} = 50 \times 10^{-3} \times 3.7 \times 10^{10}$$

$$N_Y = 6.2 \times 10^{14} \text{ อะตอม}$$

จำนวนอะตอม y – 90 เท่ากับ 6.2×10^{14}

$$\text{จำนวนกรัม} = \frac{\text{จำนวนอะตอม} \times \text{เลขมวล}}{\text{อะโวกราโด}}$$

$$= \frac{6.2 \times 10^{14} \times 90}{6.2 \times 10^{23}}$$

$$= 9.18 \times 10^{-8} \text{ กรัม}$$

จำนวนกรัมเท่ากับ 9.18 x 10-8 กรัม

---

48. ครึ่งชีวิตของ I – 132 เท่ากับ 2.3 ชั่วโมง จะต้องใช้เวลาเท่าไร I – 132 จำนวน 100 มิลลิคูรี จึงจะสลายตัวเหลือเพียง 25 มิลลิคูรี

$= 0.693t / T_{1/2}$

<u>วิธีทำ</u> จาก $A = A_0 e$

แทนค่า $25 = 100\, e^{-0.693t / 2.3}$

$t = 4.62$ ชั่วโมง

จะต้องใช้เวลา 4.62 ชั่วโมง

---

49. ถ้าหากว่า I – 132 อยู่ในภาวะสมดุลย์ชั่วขณะ (transsient equilibium) กับ Te – 132 ซึ่งมีครึ่งชีวิต 78 ชั่วโมง จงหาว่า I – 132 จำนวน 100 มิลลิคูรี จะสลายตัวเหลือเพียง 25 มิลลิคูรีโดยใช้เวลาเท่าไร

<u>วิธีทำ</u> เนื่องจาก I – 132 อยู่ในภาวะสมดุลย์กับ Te – 132 ซึ่งเป็น parent ดังนั้น ในการสลายตัวจะสลายตัวโดยมีครึ่งชีวิตเท่ากับของ parent คือ

Te – 132 = 78 ชั่วโมง

จาก $A = A_0 e^{-0.693\, t/T_{1/2}}$

แทนค่า $25 = 100e^{-693t / 78}$

$t = 156.1$ ชั่วโมง

เมื่ออยู่ในภาวะสมดุลย์ชั่วขณะจะต้องใช้เวลา 156.1 ชั่วโมง

---

50. จงหาจำนวนอะตอม Au – 198 ซึ่งสลายตัวใน 1 วัน กำหนดให้ตอนต้นมี Au – 198 อยู่ 10^8 อะตอม และ ของ Au – 198 = $0.255(\text{วัน})^{-1}$

<u>วิธีทำ</u> จาก $N = N_0 e^{-\lambda t}$

แทนค่า $N = 10^8 (e^{-0.255 \times 1})$

$= 7.7 \times 10^7$ อะตอม

จาก $N_d = N_0 - N$

$= 10^8 - 7.7 \times 107$

$= 2.3 \times 10^7$ อะตอม

Au - 198 สลายตัว 2.3×10^7 อะตอม

---

51. เรเดียมมีครึ่งชีวิต 1,622 ปี เข็มเรเดียมมีเรเดียม 1 มิลลิกรัม เลขมวลเรเดียมเท่ากับ 226 จงหาค่าคงที่การสลายตัวของเรเดียม และจำนวนการแตกตัวในหนึ่งวินาที

วิธีทำ $\lambda = \frac{0.693}{T_{1/2}} = \frac{0.693}{1{,}622 \times 3.1 \times 10^7}$

$= 1.378 \times 10^{-11} \times 5^{-1}$

จาก $A = \lambda N$

$A = \frac{(1.378 \times 10^{-11})(1 \times 10^{-3} \times 6.02 \times 10^{23})}{226}$

$= 3.67 \times 10^7$ dps

ค่าคงที่การสลายตัว $= 1.378 \times 10^{-11}$ s^{-1}

จำนวนการแตกตัว $= 3.67 \times 10^7$ dps

---

52. จงหาจำนวนอะตอมของ Co – 60 ซึ่งเกิดจากการวาง Co – 59 จำนวน 10 กรัมไว้ตรงกลางของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู ซึ่งมีค่านิวตรอนฟลักซ์ 10^{13} นิวตรอน / ซม^2 / วินาที เป็นเวลานาน 1 ปี กำหนดให้ น้ำหนักอะตอมของโคบอลท์ 58.94 และครอสเซคชัน 36 บาร์น ครึ่งชีวิตของ Co–60 = 5.3 ปี

วิธีทำ จาก $A = \phi N \sigma (1 - e^{-0.693t / T_{1/2}})$

แทนค่า $A = \dfrac{(10^{13})(10 \times 6.02 \times 10^{23})(36 \times 10^{-24})(1 - e^{-0.693/5.3})}{58.94}$

$= 4.4 \times 10^{12}$ dps

จาก $A = \lambda N$

$$A = \frac{A}{\lambda} = \frac{A.T_{1/2}}{0.693}$$

$$N = \frac{(4.4 \times 10^{12})(5.3 \times 3.16 \times 10^{7})}{0.693}$$

$= 1.06 \times 10^{21}$ อะตอม

Co – 60 เกิดขึ้น 1.06×10^{21} อะตอม

53. จงหากัมมันตภาพที่เกิดขึ้นในเวลาครึ่งปี ถ้าวางโคบอลท์เหมือนข้อ 52 ด้วยด้วยจำนวนเท่ากัน

วิธีทำ จาก $A = \phi N\sigma \left(1 - e^{-0.693t / T_{1/2}}\right)$

แทนค่า $A = \dfrac{10^{13} \times 10 \times 6.02 \times 10^{23} \times 36 \times 10^{-24} \left(1 - e^{-0.693 \times 0.5/5.3}\right)}{58.94}$

$= 2.6 \times 10^{12}$ dps

$= \dfrac{2.6 \times 10^{12}}{3.7 \times 10^{10}}$ Ci

$= 70.3$ Ci

กัมมันตภาพที่เกิดขึ้นในเวลาครึ่งปี เท่ากับ 70.3 คูรี

---

54. จงหากัมมันตภาพสูงสุดในข้อ 51

วิธีทำ เกิดกัมมันตภาพสูงสุด เมื่อ t มีค่ามาก

จาก $A_{max} = \phi N\sigma$

แทนค่า $A_{max} = \dfrac{10^{13} \times 10 \times 6.02 \times 10^{23} \times 36 \times 10^{-24}}{50.94}$

$= 3.67 \times 10^{13}$

$$= \frac{3.67 \times 10^{13}}{3.7 \times 10^{10}}$$

$$= 1 \times 10^{3} \text{ Ci}$$

กัมมันตภาพสูงสุดเท่ากับ 10^3 คูรี

---

55. จงอธิบายอนุกรมการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี

ดูหนังสือฟิสิกส์รังสีหน้า 125

---

56. จงอธิบายภาวะสมดุลย์ของสารกัมมันตรังสี

ดูหนังสือฟิสิกส์รังสีหน้า 124

---

57. จงอธิบายการสร้างสารกัมมันตรังสีโดยใช้นิวตรอน

ดูหนังสือฟิสิกส์รังสีหน้า 123

---

58. จงอธิบายการกระทำของรังสีที่เป็นอนุภาคกับวัตถุ

ดูหนังสือฟิสิกส์รังสีหน้า 134

---

59. ตารางต่อไปนี้แสดงถึงความหนาครึ่งหนึ่ง (HVL) ของวัตถุต่างๆสำหรับรังสีเอ็กซ์ที่มีพลังงาน 1 เอ็มอีวี จงหาสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงเส้น และสัมประสิทธิ์การดูดกลืนมวลของวัตถุเหล่านี้

วัตถุ	น้ำ	อลูมิเนียม	เหล็ก	ตะกั่ว
ความหนา(ซม.)	10.2	4.5	1.56	0.87

<u>วิธีทำ</u> จาก $\mu = \frac{0.693}{HVL}$

และ $\mu_m = \mu/\rho$

แทนค่า

วัตถุ	น้ำ	อลูมิเนียม	เหล็ก	ตะกั่ว
$\mu\ (m^{-1})$	6.7	16	44	77
$\mu_m \times 10^3 (m^2/Kg)$	6.7	6.2	5.6	6.8

60. จะต้องใช้กี่ HVL จึงจะทำให้ความเข้มของรังสีเอ็กซ์ลดลง 1/80 เท่า

วิธีทำ $n = \frac{\log_x 80}{\log_e 2} = 6.35$

จะต้องใช้ 6.35 HVL

---

61. จงอธิบายขบวนการต่างๆที่เกิดขึ้นเมื่อรังสีเอ็กซ์หรือรังสีแกมมาเคลื่อนผ่านตัวกลาง

ดูหนังสือฟิสิกส์รังสีหน้า 157

---

62. รังสีเอ็กซ์ที่มีความยาวคลื่น = 0.708 อังสตรอม เกิดขบวนการคอมป์ตันเมื่อวิ่งผ่านพาราฟิน จงหาความยาวของรังสีเอ็กซ์ที่สะท้อนเป็นมุม ก. $\pi/2$ ข. π

วิธีทำ ก. จาก

$$\Delta\lambda = 0.0243(1 - \cos\phi)$$

แทนค่า $\Delta h = 0.0243\left(1 - \cos\frac{\pi}{2}\right)$

$= 0.024\ A^{\circ}$

$\lambda' = \lambda + \Delta h$

$= 0.708 + 0.024 = 0.732\ A^{\circ}$

ความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์ที่สะท้อนเป็นมุม $\pi/2$ เท่ากับ 0.732 อังสตรอม

---

a . $\Delta\lambda = 0.0243 (1 - \cos \pi)$

$= 0.048 \ A^{o}$

$\lambda' = \lambda + \Delta\lambda$

$= 0.708 + 0.048 = 0.756 \ A^{o}$

ความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์ที่สะท้อนเป็นมุม เท่ากับ 0.756 อังสตรอม

---

63. จงหาความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์ที่เกิดขบวนการคอมป์ตัน เมื่อวิ่งผ่านกราไฟท์ แล้วสะท้อนไปเป็นมุม 60° โดยที่ความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์ สะท้อนเท่ากับ 2.54×10^{-9} เซ็นติเมตร

วิธีทำ $A\lambda = 0.0243 (1 - \cos \phi)$

$\Delta\lambda = 0.0243 (1 - \cos 60^{\circ})$

$= 0.012$

$\lambda = \lambda' - \Delta\lambda$

$= 0.254 - 0.012$

$= 0.242 \ A^{o}$

ความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์เท่ากับ 0.242 อังสตรอม

---

64. รังสีเอ็กซ์ความยาวคลื่น λ = 0.2 อังสตรอม เกิดขบวนการคอมป์ตันเปี่ยงเบนไปเป็นมุม 90° จงหา

ก. การเปลี่ยนแปลงความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์

ข. พลังงานของคอมป์ตันอีเล็คตรอน

ค. โมเมนตัมของคอมป์ตันอีเล็คตรอน

วิธีทำ ก. $\Delta\lambda = 0.0243\ (1 - \cos 90^\circ)$

$= 0.0243\ \text{A}^\circ$

ความยาวเปลี่ยนไป 0.0243 อังสตรอม

ข. $\lambda' = \Delta\lambda + \lambda$

$= 0.0243 + 0.2 = 0.2243\ \text{A}^\circ$

$$E' = \frac{12.4}{\lambda'}$$

$$E' = \frac{12.4}{0.2243} = 55.4\ \text{KeV}$$

พลังงานของรังสีเอ็กซ์สะท้อนเท่ากับ 55.4 เคอีวี

$$E = \frac{12.4}{\lambda} = \frac{12.4}{0.2} = 62\ \text{KeV}$$

พลังงานของรังสีเอ็กซ์ตกกระทบเท่ากับ 62 เคอีวี .

พลังงานของคอมป์ตันอีเล็คตรอน $= E - E'$

$= 62 - 55.4 = 6.6$ KeV

ค. $K.E. = \frac{1}{2}mV^2$

$v = \sqrt{\frac{2K.E.}{m}}$

$= \sqrt{\frac{2\ (\ 6.6 \times 10^3 \times 1.6 \times 10^{-19})}{9.11 \times 10^{-31}}}$

$= 5 \times 10^7$ m / s

$\bar{P} = mV$

$= (\ 9.11 \times 10^{-31}\ )(\ 5 \times 10^7\ )$

$= 4.4 \times 10^{-23}$ Kg.m / s

โมเมนตัมของคอมป์ตันอีเล็คตรอนเท่ากับ 4.4×10^{-23} กก.เมตร / วินาที

---

65. หลังจากเกิดขบวนการคอมป์ตัน พบว่า พลังงานของโฟตอนตกกระทบส่งต่อให้โฟตอนสะท้อนและอีเล็คตรอนจำนวนเท่ากัน โฟตอนเบี่ยงเบนไปเป็นมุม 90° จงหาพลังงานของโฟตอนสะท้อน

<u>วิธีทำ</u> พลังงานของโฟตอนสะท้อน(E') $=$ <u>พลังงานของโฟตอนตกกระทบ(E)</u>
2

$E' = \frac{E}{2}$

$$\frac{1.24}{\lambda'} = \frac{1.24}{2\lambda}$$

$$\boxed{\lambda = \frac{\lambda'}{2}}$$

$\Delta\lambda = 0.0243\ (\ 1 - \cos 90^{\circ}\ ) = 0.0243\ A^{\circ}$

$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$

$\Delta\lambda = \lambda' - \frac{\lambda'}{2} = \frac{\lambda'}{2}$

$\lambda' = 2\Delta\lambda$

$= 2\ (\ 0.0243\ ) = 0.0486\ A^{\circ}$

$E' = \frac{12.4}{\lambda'} = \frac{12.4}{0.0486} = 2.6 \times 10^{2}$ KeV

พลังงานของโฟตอนสะท้อนเท่ากับ 2.6×10^{2} เคอีวี

66. พลังงานของรังสีเอ็กซ์เท่ากับ 0.6 เอ็มอีวี จงหาพลังงานของคอมป์ตันอีเล็คตรอน ถ้าความยาวคลื่นของรังสีเปลี่ยนไป 20 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเขบวนการคอมป์ตัน

<u>วิธีทำ</u> $\Delta\lambda = \frac{20}{100}\lambda = 0.2\lambda$

$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = 0.2\lambda$

$\lambda' = 1.2\lambda$

$\frac{1}{E'} = \frac{1.2}{E}$

$$\boxed{E' = \frac{E}{1.2}}$$

แทนค่า $E' = \frac{0.6}{1.2} = 0.5$ MeV

พลังงานของโฟตอนสะท้อนเท่ากับ 0.5 เอ็มอีวี

ดังนั้น พลังงานของคอมป์ตันอีเล็คตรอน = 0.6 − 0.5

= 0.1 เอ็มอีวี

67. จงอธิบายหลักการทำงานของเครื่องวัดรังสีชนิดไกเกอร์

ดูหนังสือฟิสิกส์รังสีหน้า 179

---

68. จงอธิบายหลักการทำงานของเครื่องวัดรังสีชนิดซิลทิลเลชัน

ดูหนังสือฟิสิกส์รังสีหน้า 182

---

69. จงอธิบาย gamma ray spectrometry

ดูหนังสือฟิสิกส์รังสีหน้า 187

---

70. จงอธิบายวงจรอีเล็คโทรนิคส์ที่ใช้ในเครื่องวัดรังสีชนิดซิลทิลเลชัน

ดูหนังสือฟิสิกส์รังสีหน้า 199

---

71. จงอธิบาย Film badge และ TLD

ดูหนังสือฟิสิกส์รังสีหน้า 207, 209

---

72. จงอธิบายเอ็กโพเชอร์

ดูหนังสือฟิสิกส์รังสีหน้า 216

---

73. จงอธิบายโคส

ดูหนังสือฟิสิกส์รังสีหน้า 212

---

74. จงอธิบายพลังงานถ่ายทอดเชิงเส้น

ดูหนังสือฟิสิกส์รังสีหน้า 220

---

75. จงอธิบายค่าคงที่รังสีแกมมาจำเพาะ

ดูหนังสือฟิสิกส์รังสีหน้า 222

---

76. จงอธิบายวิธีวัดโดสของรังสีเมื่อแหล่งกำเนิดรังสีอยู่ภายนอกร่างกาย

ดูหนังสือฟิสิกส์รังสีหน้า 228

---

77. หน่วยเรินเกนท์ใช้กับรังสีเอ็กซ์ หรือรังสีแกมมาที่มีพลังงานมากกว่า 3 เอ็มอีวี ไม่ได้ จงหาขอบเขตจำกัดของความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์ที่ยังคงสามารถใช้หน่วยเรินเกนท์เป็นหน่วยวัดได้

<u>วิธีทำ</u> $E \leq 3$ MeV

$$\frac{hc}{\lambda} \leq 3 \text{ MeV}$$

$$\boxed{\lambda \geq \frac{hc}{3}}$$

แทนค่า $$\lambda \geq \frac{(6.625 \times 10^{-34})(3 \times 10^{8})(10^{10})}{3 \times 106 \quad 1.6 \times 10^{-19}}$$

$$\geq 4.1 \times 10^{-3}$$

หน่วยเรินเกนท์ใช้ได้กับรังสีเอ็กซ์หรือรังสีแกมมาที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 4.1×10^{-3} อังสตรอม

---

78. เมื่อฉายรังสีเอ็กซ์จำนวนหนึ่งผ่านอากาศ วัดโดสได้ 1 เรินเกนท์ จงหาจำนวนไอออนคู่ที่เกิดขึ้นในอากาศ 1 ลูกบาศก์เซ็นติเมตร

<u>วิธีทำ</u> ไอออนที่เกิดในอากาศมวล Δm เมื่อได้รับโดส D คิดเป็นประจุ ΔQ ดังนี้

$$\Delta Q = D\Delta m \qquad (1)$$

มวล Δm และปริมาณ ΔV ของอากาศมีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$\Delta m = \frac{\Delta V p \mu}{RT} \qquad (2)$$

เมื่อ P = ความดันของอากาศ

T = อุณหภูมิของอากาศ

μ = มวลของหนึ่งกิโลโมล

R = ค่าคงที่ของแกส

จำนวนไอออนคู่เท่ากับ

$$I? = A\& \qquad (3)$$

e

เมื่อ e = ประจุของไอออนแต่ละชนิด

จากสมการ 1, 2, และ 3

$$N = \frac{DVP\mu}{eRT}$$

แทนค่า D = 1 เรินเกนท์ = 2.58×10^{-4} C / Kg

V = 1 mu3 = 10^{-6} ม^3

P = 760 มม.ปรอท = 10^5 นิวตัน I ม^2

μ = 29 กก./ กิโลโมล

R = 8.31 x 103 จูลย์ I กิโลโมล.องศา

T = 273' เคลวิล

e = 1.6×10^{-19} คูลอมป์

$$N = \frac{(2.58 \times 10^{-4})(10^{-6})(10^{5})(29)}{(1.6 \times 10^{-19})(8.31 \times 10^{3})(273)}$$

$= 2.1 \times 10^9$ ไอออนคู่

เกิดไอออนคู่จำนวน 2.1×10^9 คู่

79. จงอธิบายการนำรังสีมาใช้เป็นประโยชน์ทางการแพทย์

ดูหนังสือฟิสิกส์รังสีหน้า 249

---

80. จงอธิบายการนำรังสีมาใช้เป็นประโยชน์ทางอุตสาหกรรม

ดูหนังสือฟิสิกส์รังสีหน้า 254

---

81. จงอธิบายการนำรังสีมาใช้เป็นประโยชน์ทางธรณีวิทยา

ดูหนังสือฟิสิกส์รังสีหน้า 257

---

82. จงอธิบายปฏิกริยาของรังสีที่มีต่อน้ำซึ่ง เป็นส่วนประกอบที่มากที่สุดของร่างกายมนุษย์

ดูหนังสือฟิสิกส์รังสีหน้า 260

---

83. จงอธิบายผลของรังสีที่มีต่อระบบต่างๆของร่างกาย

ดูหนังสีฟิสิกส์รังสีหน้า 263

---

84. จงบอกค่าปริมาณรังสีสูงสุดที่ยอมให้ร่างกายรับได้ (MPD)

ดูหนังสือฟิสิกส์รังสีหน้า 266

---

85. จงอธิบายการระวังป้องกันอันตรายจากรังสี

ดูหนังสือฟิสิกส์รังสีหน้า 269