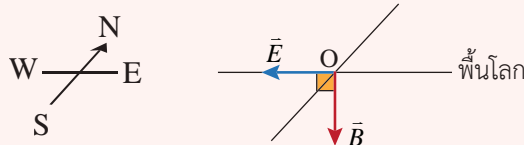


เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 18

?? | คำถาม

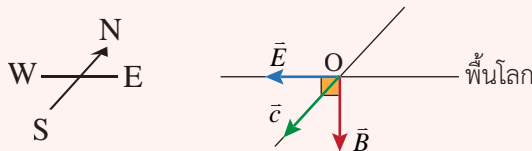
- ใช้ลวดตัวนำต่อกับแบตเตอรี่และหลอดไฟจนครบวงจร ขณะกระแสไฟฟ้าสม่ำเสมอ ลวดตัวนำนี้ปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้หรือไม่ เพราะเหตุใด
แนวคำตอบ ไม่ได้ เพราะขณะกระแสไฟฟ้าสม่ำเสมอ สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้ารอบลวดตัวนำไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา
- "คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกชนิดมีอัตราเร็วเท่ากันในทุกตัวกลาง เท่ากับอัตราเร็วของแสง" คำกล่าวข้างต้นนี้ถูกต้องหรือไม่ จงอธิบาย
แนวคำตอบ ไม่ถูกต้อง คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกชนิดมีอัตราเร็วเท่ากันเฉพาะในสุญญากาศ ส่วนในตัวกลางต่าง ๆ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแต่ละชนิดรวมทั้งแสงมีอัตราเร็วต่างกันและน้อยกว่าอัตราเร็วแสงในสุญญากาศ
- คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าขณะหนึ่ง ณ ตำแหน่ง O มีสนามไฟฟ้าขนานกับพื้นโลกชี้ไปทางทิศตะวันตก และสนามแม่เหล็กมีทิศทางตั้งฉากกับพื้นโลก ดังรูป



รูป ประกอบคำถามข้อ 3

แหล่งกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้อยู่ทางทิศใดของตำแหน่ง O

แนวคำตอบ ทิศเหนือ เพราะเมื่อหาทิศการเคลื่อนที่ด้วยมือขวาจะได้ทิศเคลื่อนที่ไปทางใต้ของจุด O แสดงว่าแหล่งกำเนิดอยู่ที่ทิศเหนือของจุด O ดังรูป



รูป ประกอบแนวคำตอบคำถามข้อ 3

4. การใช้ดาวเทียมสำรวจการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของโลก ต้องใช้เซนเซอร์หรือตัวรับรู้ที่ตรวจวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงใด เพราะเหตุใด
แนวคำตอบ อินฟราเรด เพราะวัตถุต่าง ๆ จะแผ่รังสีอินฟราเรดตลอดเวลา และสามารถผ่านเมฆหมอกได้ดี
5. ดาวฤกษ์สีน้ำเงินกับดาวฤกษ์สีเหลือง ดาวฤกษ์ดวงใดมีอุณหภูมิสูงกว่ากัน
แนวคำตอบ ดาวฤกษ์ที่มีสีน้ำเงินจะมีอุณหภูมิสูงกว่าดาวฤกษ์ที่มีสีเหลือง เพราะพลังงานของแสงจะขึ้นอยู่กับความถี่ โดย พลังงานของแสงที่มีความถี่สูงจะมีค่ามาก ความถี่ของแสงสีน้ำเงินสูงกว่าความถี่ของแสงสีเหลือง ดาวฤกษ์ที่มีสีน้ำเงินให้แสงสีน้ำเงินซึ่งมีพลังงานสูงจึงมีอุณหภูมิสูงกว่าดาวฤกษ์ที่มีสีเหลือง
6. ระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดใดในการรับส่งสารสนเทศ เพราะเหตุใด
แนวคำตอบ ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิด คลื่นวิทยุ ไมโครเวฟ แสง เพราะคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าดังกล่าวสามารถนำมาผสมกับสัญญาณไฟฟ้าในการรับส่งสารสนเทศได้

Ⓟ | ปัญหา

- จงพิจารณาข้อความต่อไปนี้ ข้อใดไม่ถูกต้อง
 - การเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้าทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก และการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กทำให้เกิดสนามไฟฟ้า
 - สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีเฟสต่างกัน 90 องศา
 - สำหรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กมีทิศตั้งฉากซึ่งกันและกัน และตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นด้วย
 - ในตัวกลางเดียวกัน คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกความถี่มีความเร็วเท่ากัน

วิธีทำ ข้อ ข. ไม่ถูกต้อง เพราะสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในสุญญากาศมีเฟสตรงกัน

ข้อ ง. ไม่ถูกต้อง เพราะคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกความถี่มีความเร็วเท่ากัน เฉพาะในสุญญากาศ

ตอบ ข้อ ข. และ ง.

- แสงที่คนเรามองเห็นมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 400 นาโนเมตร ถึง 700 นาโนเมตร จงหาช่วงความถี่ของแสงที่ตามองเห็น

วิธีทำ หาความถี่ได้จากสมการ $f = \frac{v}{\lambda}$ โดยความเร็วแสงในสุญญากาศเท่ากับ 3×10^8 m/s

หาความถี่ของแสง $\lambda = 400$ nm จาก

$$f = \frac{v}{\lambda}$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า} \quad f &= \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{400 \times 10^{-9} \text{ m}} \\ &= 7.50 \times 10^{14} \text{ Hz} \end{aligned}$$

หาความถี่ของแสง $\lambda = 700$ nm จาก

$$f = \frac{v}{\lambda}$$

$$\begin{aligned} f &= \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{700 \times 10^{-9} \text{ m}} \\ &= 4.29 \times 10^{14} \text{ Hz} \end{aligned}$$

ตอบ ช่วงความถี่ของแสงที่คนมองเห็นคือ 4.29×10^{14} เฮิรตซ์ ถึง 7.50×10^{14} เฮิรตซ์

3. ถ้าดวงจันทร์อยู่ห่างจากโลกเป็นระยะทาง 384 000 กิโลเมตร จงหาระยะเวลาที่แสงเคลื่อนที่จากดวงจันทร์ถึงโลก

วิธีทำ หาระยะเวลาที่แสงเคลื่อนที่จากดวงจันทร์ถึงโลกจากสมการ $t = \frac{s}{v}$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า} \quad t &= \frac{384\,000 \times 10^3 \text{ m}}{3 \times 10^8 \text{ m/s}} \\ &= 1.28 \text{ s} \end{aligned}$$

ตอบ ระยะเวลาที่แสงเคลื่อนที่จากดวงจันทร์ถึงโลก คือ 1.28 วินาที

4. แสงเคลื่อนที่จากดาวซิริอุสถึงโลกใช้เวลา 8.61 ปี จงหาระยะทางจากดาวซิริอุสถึงโลกในหน่วยกิโลเมตร

วิธีทำ หาระยะทางจากดาวซิริอุสถึงโลกจากสมการ $s = vt$

จากเวลาที่แสงเดินทางจากดาวซิริอุสถึงโลก คือ 8.61 ปี

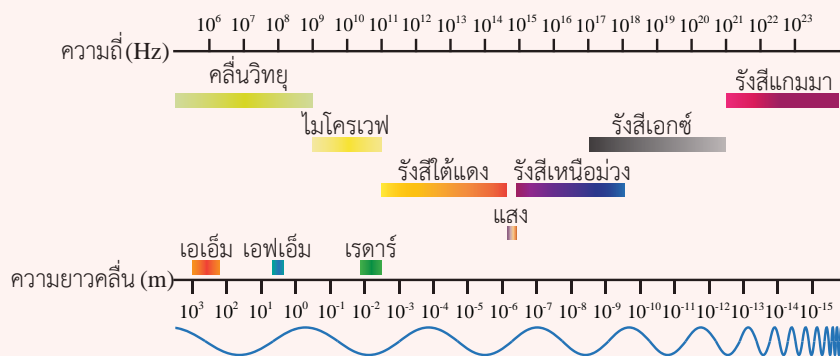
หรือเท่ากับ 8.61 ปี \times 365 วันต่อปี \times 24 ชั่วโมงต่อวัน \times 60 นาทีต่อชั่วโมง \times 60 วินาทีต่อนาที ซึ่งเท่ากับ 271 524 960 วินาที

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า} \quad s &= (3 \times 10^8 \text{ m/s})(271\,524\,960 \text{ s}) \\ &= 8.15 \times 10^{13} \text{ km} \end{aligned}$$

ตอบ ระยะทางจากดาวซิริอุสถึงโลกคือ 8.15×10^{13} กิโลเมตร

5. จงเรียงลำดับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าต่อไปนี้ รังสีเอกซ์ อินฟราเรด ไมโครเวฟ วิทยุ รังสีอัลตราไวโอเล็ต ตามความถี่จากมากไปน้อย

วิธีทำ จากรูป 18.5 สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ตามหนังสือเรียน



สามารถเรียงลำดับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามความถี่จากมากไปน้อยได้ดังนี้ รังสีเอกซ์ รังสีอัลตราไวโอเล็ต อินฟราเรด ไมโครเวฟ วิทยุ

ตอบ รังสีเอกซ์ รังสีอัลตราไวโอเล็ต อินฟราเรด ไมโครเวฟ วิทยุ

6. รังสีเอกซ์กับรังสีแกมมามีข้อเหมือนกันและข้อที่แตกต่างกันอย่างไรบ้าง

ตอบ ข้อที่เหมือนกัน คือ

ก. เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูง

ข. มีพลังงานสูง มีอำนาจทะลุผ่านสูง มีอันตรายต่อระบบทางชีวภาพมาก

ค. ไม่เป็ยเบนในสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า

ข้อที่แตกต่างกัน คือ รังสีเอกซ์เกิดจากการเปลี่ยนความเร็วของอิเล็กตรอนแล้วปลดปล่อยพลังงานในรูปรังสีเอกซ์หรืออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปชนอะตอมของธาตุที่เป็นเป้า ทำให้อะตอมของเป้าปล่อยพลังงานออกมาในรูปของรังสีเอกซ์ แต่รังสีแกมมาเกิดจากการสลายของธาตุกัมมันตรังสี

7. เพราะเหตุใด โทรทัศน์ที่ใช้ระบบรับสัญญาณแบบดิจิทัล จึงให้ภาพและเสียงที่คมชัดกว่าโทรทัศน์ที่ใช้ระบบสัญญาณแอนะล็อก

ตอบ เนื่องจากการส่งสัญญาณภาพและเสียงแบบดิจิทัลถูกรบกวนจากสัญญาณจากสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าการส่งด้วยสัญญาณแอนะล็อก

เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 19

?? | คำถาม

- จากแนวคิดการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของวัตถุดำ นักเรียนไม่สามารถมองเห็นสิ่งของต่างๆ ในห้องเรียนที่ปิดมิดชิด และไม่มีแสงสว่าง เพราะสิ่งของภายในห้องเรียนนั้น ไม่มีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ข้อความดังกล่าวถูกต้องหรือไม่ เพราะเหตุใด
แนวคำตอบ ไม่ถูกต้อง เพราะวัตถุดำอุณหภูมิสูงกว่า 0 เคลวิน จะมีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเสมอแต่ที่ไม่สามารถมองเห็น อาจเพราะคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกมามีความเข้มข้นน้อยเกินไป หรือมีความถี่ที่ไม่อยู่ในช่วงที่ตามองเห็น
- จากการทดลองปล่อยอนุภาคแอลฟาซึ่งมีประจุบวกไปยังแผ่นทองคำบาง พบว่าอนุภาคแอลฟาบางส่วนเบี่ยงเบนไปจากแนวเดิม และบางส่วนสะท้อนกลับออกมา เพราะเหตุใด
แนวคำตอบ เพราะอนุภาคแอลฟาได้รับแรงผลักจากอนุภาคที่มีประจุบวกที่รวมกันเป็นนิวเคลียส โดยอนุภาคแอลฟาที่เคลื่อนที่เข้าใกล้หรือเฉียดนิวเคลียสจะได้รับแรงผลักทำให้เบี่ยงเบนไปจากแนวเดิม ส่วนอนุภาคแอลฟาเคลื่อนที่เข้าหานิวเคลียสโดยตรงจะได้รับแรงผลักที่มีค่ามาก ทำให้สะท้อนกลับออกมา
- สมมติให้ระดับพลังงานต่าง ๆ ของอะตอม เป็นดังรูป

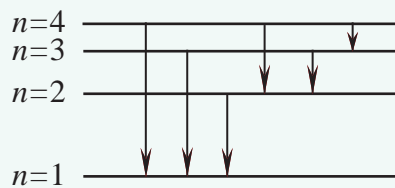
เลขควอนตัม n $n=4$ _____ $n=3$ _____ $n=2$ _____ $n=1$ _____

รูป ประกอบคำถามข้อ 2

จงบอกจำนวนเส้นสเปกตรัมทั้งหมดที่อะตอมนี้สามารถเปล่งออกมาได้ เมื่ออะตอมอยู่ในสถานะถูกกระตุ้น

แนวคำตอบ 6 เส้น โดยอะตอมที่ถูกกระตุ้น สามารถปลดปล่อยพลังงานในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่มีความถี่แตกต่างกัน แล้วลดพลังงานลงสู่ระดับพลังงานที่มีค่าน้อยกว่า จาก $n > 1$ ไปยัง $n = 1$ ดังรูป

เลขควอนตัม n



4. แสงที่มีความถี่และความเข้มค่าหนึ่งตกกระทบผิวโลหะชนิดหนึ่ง จะเกิดโฟโตอิเล็กตรอนหลุดออกมา เมื่อเพิ่มความถี่ของแสง ข้อใดต่อไปนี้ถูกต้อง เพราะเหตุใด

- ก. จำนวนโฟโตอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้น
- ข. พลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้น
- ค. ทั้งจำนวนและพลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้น

แนวคำตอบ ข้อ ข. ถูกต้อง เพราะ พลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนสำหรับผิวโลหะชนิดหนึ่ง ขึ้นกับความถี่ของแสงที่ตกกระทบตามสมการ $E_{k_{\max}} = hf - W$

5. แสงที่มีความถี่และความเข้มค่าหนึ่งตกกระทบผิวโลหะชนิดหนึ่ง จะเกิดโฟโตอิเล็กตรอนหลุดออกมา เมื่อเพิ่มความเข้มของแสง ข้อใดต่อไปนี้ถูกต้อง เพราะเหตุใด

- ก. จำนวนโฟโตอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้น
- ข. พลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้น
- ค. ทั้งจำนวนและพลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้น

แนวคำตอบ ข้อ ก. ถูกต้อง เพราะ จำนวนโฟโตอิเล็กตรอนขึ้นอยู่กับความเข้มแสงที่ตกกระทบ

6. แสงความถี่ค่าหนึ่งตกกระทบผิวโลหะต่างชนิดกัน จะให้โฟโตอิเล็กตรอนที่มีพลังงานจลน์สูงสุดเท่ากันหรือไม่ เหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น

แนวคำตอบ จะให้โฟโตอิเล็กตรอนที่มีพลังงานจลน์สูงสุดไม่เท่ากัน เพราะโลหะต่างชนิดกัน จะมีค่าความถี่ขีดเริ่มที่ต่างกัน ฟังก์ชันงานจึงมีค่าต่างกัน ตามสมการ $W = hf_0$ ทำให้พลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอน ตามสมการ $E_{k_{\max}} = hf - W$ ต่างกัน

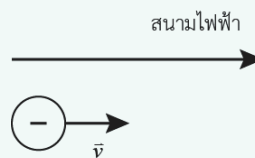
7. ในการทดลองปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก ความเข้มของแสงที่ตกกระทบผิวโลหะมีผลต่อความต่างศักย์หยุดยั้งหรือไม่ อธิบาย

แนวคำตอบ ความเข้มของแสงที่ฉายลงบนโลหะนั้นไม่มีผลต่อความต่างศักย์หยุดยั้ง เนื่องจากความต่างศักย์หยุดยั้ง V_0 นั้นขึ้นกับพลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอน ตามสมการ $E_{k_{\max}} = eV_0$ ซึ่งขึ้นกับความถี่ของแสง ตามสมการ $E_{k_{\max}} = hf - W$ แต่ความเข้มของแสงนั้นจะมีผลต่อจำนวนโฟโตอิเล็กตรอนที่หลุดออกมา

8. โฟโตอิเล็กตรอน สมการโฟโตอิเล็กทริกและฟังก์ชันงาน มีความสัมพันธ์กันอย่างไรในปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก จงอธิบาย

แนวคำตอบ ในปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก เมื่อมีแสงที่มีความถี่เหมาะสมตกกระทบผิวโลหะ จะมีอิเล็กตรอนหลุดออกจากผิวโลหะ อิเล็กตรอนที่หลุดออกมา เรียกว่า **โฟโตอิเล็กตรอน** โดยพลังงานจลน์สูงสุด $E_{k_{\max}}$ ของโฟโตอิเล็กตรอนขึ้นอยู่กับความถี่ f ของแสงที่ตกกระทบและฟังก์ชันงาน W ของโลหะ ตามสมการ $E_{k_{\max}} = hf - W$ เรียกว่า **สมการโฟโตอิเล็กทริก** ซึ่งเป็นสมการที่แสดงว่าพลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนที่หลุดจากผิวโลหะเท่ากับพลังงานของแสงที่ตกกระทบผิวโลหะลบด้วยฟังก์ชันงานของโลหะซึ่งเป็นพลังงานน้อยที่สุดที่ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอม และเป็นค่าเดียวกับพลังงานน้อยที่สุดที่ยึดอิเล็กตรอนให้อยู่ในอะตอม

9. อิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ในสนามไฟฟ้า ดังรูป ความยาวคลื่นเดอบรอยล์ของอิเล็กตรอนมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร



รูป ประกอบคำถามข้อ 9

แนวคำตอบ มีการเปลี่ยนแปลง โดยความยาวคลื่นเดอบรอยล์จะมีค่ามากขึ้น เพราะ อัตราเร็วของอิเล็กตรอนมีค่าลดลง (ในขณะที่อิเล็กตรอนยังคงเคลื่อนที่ในทิศดังรูป) โดยมวลของอิเล็กตรอนไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้น ความยาวคลื่นเดอบรอยล์ของอิเล็กตรอนนี้ จึงมีการเปลี่ยนแปลง โดยมีค่ามากขึ้น ตามสมการ $\lambda = \frac{h}{mv}$

Ⓟ | ปัญหา

1. ถ้าควอนตัมของพลังงานของแสงที่ตามองเห็นได้มีพลังงาน 3.62×10^{-19} จูล แสงที่เห็นนี้มีสีอะไร

วิธีทำ ควอนตัมของพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือโฟตอน มีควอนตัมของพลังงานตาม

$$\text{สมการ } \varepsilon = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

$$\text{ในที่นี้ } \varepsilon = 3.62 \times 10^{-19} \text{ J}, h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ Js และ } c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$\text{จะได้ } 3.62 \times 10^{-19} \text{ J} = \frac{(6.626 \times 10^{-34} \text{ Js})(3 \times 10^8 \text{ m/s})}{\lambda}$$

$$\lambda = 549 \times 10^{-9} \text{ m}$$

$$= 549 \text{ nm}$$

ความยาวคลื่นนี้อยู่ในช่วงของแสงสีเขียว

ตอบ แสงสีเขียว

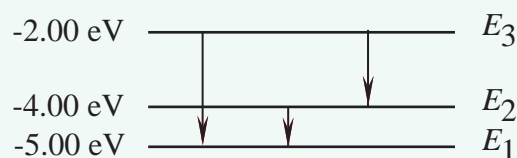
2. อะตอมหนึ่ง มีระดับพลังงาน ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาข้อ 2

เมื่อถูกกระตุ้นแล้ว จะปลดปล่อยพลังงานออกมา ทำให้เกิดสเปกตรัมแบบเส้นจำนวน 3 เส้น จงระบุค่าความยาวคลื่นของสเปกตรัมทั้งสามเส้น

วิธีทำ จากแผนภาพระดับพลังงานของอะตอม อะตอมที่ถูกกระตุ้น สามารถปล่อยโฟตอนที่ มีพลังงาน 1.00 อิเล็กตรอนโวลต์ 2.00 อิเล็กตรอนโวลต์ และ 3.00 อิเล็กตรอนโวลต์ ซึ่ง เปลี่ยนออกมาเมื่ออิเล็กตรอนในอะตอมกลับสู่สถานะพื้น ทำให้เกิดเส้นสเปกตรัมทั้งหมด 3 เส้น ดังรูป



รูป ประกอบวิธีทำสำหรับปัญหาข้อ 2

ความยาวคลื่นสเปกตรัมหาได้จากสมการ $\varepsilon = hf = \frac{hc}{\lambda}$

โฟตอนที่ม่พลังงาน 1.00 อิเล็กตรอนโวลต์ เมื่อคำนวณความยาวคลื่น
จะได้ $1.00 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J} = \frac{(6.626 \times 10^{-34} \text{ Js})(3 \times 10^8 \text{ m/s})}{\lambda}$
 $\lambda = 1.24 \times 10^{-6} \text{ m}$
 $= 1.24 \text{ } \mu\text{m}$

โฟตอนที่ม่พลังงาน 2.00 อิเล็กตรอนโวลต์ เมื่อคำนวณความยาวคลื่น
จะได้ $2.00 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J} = \frac{(6.626 \times 10^{-34} \text{ Js})(3 \times 10^8 \text{ m/s})}{\lambda}$
 $\lambda = 621 \times 10^{-9} \text{ m}$
 $= 621 \text{ nm}$

โฟตอนที่ม่พลังงาน 3.00 อิเล็กตรอนโวลต์ เมื่อคำนวณความยาวคลื่น
จะได้ $3.00 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J} = \frac{(6.626 \times 10^{-34} \text{ Js})(3 \times 10^8 \text{ m/s})}{\lambda}$
 $\lambda = 414 \times 10^{-9} \text{ m}$
 $= 414 \text{ nm}$

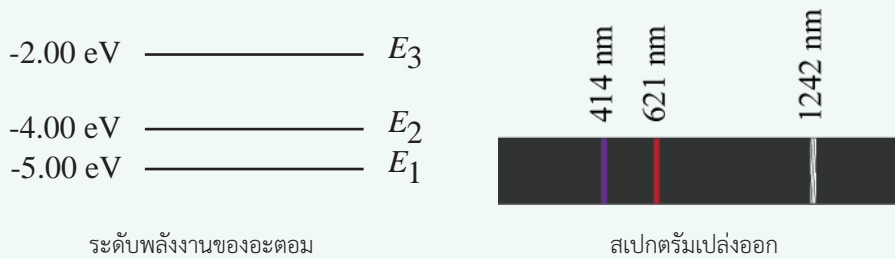
ตอบ ความยาวคลื่นของสเปกตรัมทั้งสามเส้นมีค่า 1.24 ไมโครเมตร 621 นาโนเมตร และ 414 นาโนเมตร ตามลำดับ

3. ถ้าอิเล็กตรอนในแบบจำลองอะตอมไฮโดรเจนของโบร์อยู่ห่างจากนิวเคลียสเป็นระยะ 25 เท่าของรัศมีโบร์ แสดงว่าอิเล็กตรอนนี้อยู่ที่ระดับพลังงานเท่าใด

วิธีทำ ในแบบจำลองอะตอมไฮโดรเจนของโบร์ รัศมีวงโคจรต่าง ๆ มีค่าตามสมการ $r_n = a_0 n^2$ เมื่อ a_0 คือรัศมีโบร์ ดังนั้นเมื่อ $r_n = 25a_0$ จะได้ $n^2 = 25$ หรือ $n = 5$ แสดงว่าอิเล็กตรอนนี้อยู่ที่ระดับพลังงาน

ตอบ อิเล็กตรอนนี้อยู่ที่ระดับพลังงาน $n = 5$

4. อะตอมหนึ่ง มีระดับพลังงาน ทำให้เกิดสเปกตรัมเปล่งออก 3 เส้น ที่มีความยาวคลื่น ดังรูป



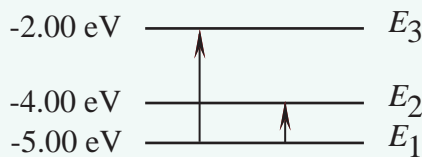
รูป ประกอบปัญหาข้อ 4

ถ้าต้องการกระตุ้นอะตอมนี้ จากสถานะพื้นไปยังสถานะถูกกระตุ้น จะต้องใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นเท่าใด

วิธีทำ จากแผนภาพระดับพลังงานของอะตอม ถ้าต้องการกระตุ้นอะตอมนี้จากสถานะพื้นให้อยู่ในระดับพลังงาน E_2 และ E_3 จะต้องใช้พลังงาน 1.00 อิเล็กตรอนโวลต์ และ 3.00 อิเล็กตรอนโวลต์ ตามลำดับ ซึ่งได้รับพลังงานจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นเท่ากับ 1242 nm และ 414 nm ตามลำดับ

$$\lambda = \frac{hc}{\varepsilon} = \frac{(6.626 \times 10^{-34} \text{ Js})(3 \times 10^8 \text{ m/s})}{1.00 \times 1.60 \times 10^{-19} \text{ J}} = 1242 \text{ nm}$$

และ $\lambda = \frac{hc}{\varepsilon} = \frac{(6.626 \times 10^{-34} \text{ Js})(3 \times 10^8 \text{ m/s})}{3.00 \times 1.60 \times 10^{-19} \text{ J}} = 414 \text{ nm}$ ตามลำดับ



รูป ประกอบวิธีสำหรับปัญหาข้อ 4

ตอบ จะต้องใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่น 414 นาโนเมตร และ 1242 นาโนเมตร

5. จงหาความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกดูดกลืนหรือเปล่งออกมาจากอะตอมไฮโดรเจน เมื่ออะตอมเปลี่ยนระดับพลังงานจาก $n = 1$ ไปยัง $n = 3$ และจาก $n = 6$ ไปยัง $n = 3$

วิธีทำ คำนวณความยาวคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกมา โดยใช้สมการ $\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$ เมื่ออะตอมเปลี่ยนจากระดับพลังงานจาก $n_i = 1$ ไปยัง $n_f = 3$

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{\lambda} &= R_H \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) \\
 &= R_H \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{1^2} \right) \\
 &= (1.0974 \times 10^7 \text{ m}^{-1}) \left(\frac{1}{9} - 1 \right) \\
 &= -0.97547 \times 10^7 \text{ m}^{-1} \\
 \lambda &= -102.52 \times 10^{-9} \text{ m} \\
 &= -102.52 \text{ nm}
 \end{aligned}$$

เครื่องหมายเป็นลบหมายถึงการดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และคำนวณหาความถี่จาก

$$\begin{aligned}
 f &= \frac{c}{\lambda} \\
 f &= \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{102.52 \times 10^{-9} \text{ m}} \\
 &= 2.9263 \times 10^{15} \text{ Hz}
 \end{aligned}$$

เมื่ออะตอมเปลี่ยนจากระดับพลังงานจาก $n_i = 6$ ไปยัง $n_f = 3$

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{\lambda} &= R_H \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) \\
 &= R_H \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{6^2} \right) \\
 &= (1.0974 \times 10^7 \text{ m}^{-1}) \left(\frac{1}{9} - \frac{1}{36} \right) \\
 &= 0.9145000 \times 10^7 \text{ m}^{-1} \\
 \lambda &= 1093.5 \times 10^{-9} \text{ m} \\
 &= 1093.5 \text{ nm}
 \end{aligned}$$

เครื่องหมายเป็นบวกหมายถึงการเปล่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และคำนวณหาความถี่จาก

$$\begin{aligned}
 f &= \frac{c}{\lambda} \\
 f &= \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{1093.5 \times 10^{-9} \text{ m}} \\
 &= 0.27435 \times 10^{15} \text{ Hz}
 \end{aligned}$$

ตอบ เมื่ออะตอมเปลี่ยนระดับพลังงานจาก $n = 1$ ไปยัง $n = 3$ จะดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ความถี่ 2.9263×10^{15} เฮิรตซ์

เมื่ออะตอมเปลี่ยนระดับพลังงานจาก $n = 6$ ไปยัง $n = 3$ จะเปล่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ความถี่ 0.27435×10^{15} เฮิรตซ์

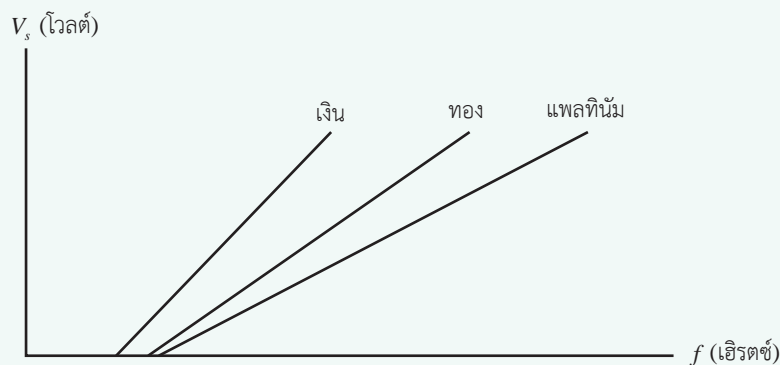
6. ฉายแสงที่มีความยาวคลื่น 2.5×10^{-7} เมตร ตกบนผิวซีเซียมที่มีฟังก์ชันงาน 2.1 อิเล็กตรอนโวลต์ โฟโตอิเล็กตรอนที่หลุดออกมาจะมีพลังงานจลน์สูงสุดเท่าใด

วิธีทำ หาพลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนจากสมการ $E_{k_{\max}} = hf - W = \frac{hc}{\lambda} - W$

$$\begin{aligned} E_{k_{\max}} &= \frac{hc}{\lambda} - W \\ &= (6.626 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}) \left(\frac{3.0 \times 10^8 \text{ m/s}}{2.5 \times 10^{-7} \text{ m}} \right) - (2.1 \text{ eV}) (1.60 \times 10^{-19} \text{ J/eV}) \\ &= (7.9512 \times 10^{-19} \text{ J}) - (3.3600 \times 10^{-19} \text{ J}) \\ &= 4.5912 \times 10^{-19} \text{ J} \\ &= \frac{4.5912 \times 10^{-19} \text{ J}}{1.60 \times 10^{-19} \text{ J/eV}} \\ &= 2.8695 \text{ eV} \end{aligned}$$

ตอบ พลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนเท่ากับ 4.6×10^{-19} จูล หรือเท่ากับ 2.9 อิเล็กตรอนโวลต์

7. ในการทดลองโฟโตอิเล็กทริก พบว่าได้ผลการทดลอง ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาข้อ 7

ผลการทดลองนี้ถูกต้องหรือไม่ เพราะเหตุใด

วิธีทำ จากสมการโฟโตอิเล็กทริก เมื่อเขียนความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์หยุดยั้งกับความถี่

ของคลื่นแสง จะได้ว่า

$$V_s = \frac{h}{e} f - \frac{W}{e}$$

แสดงให้เห็นว่าความชันของกราฟแต่ละเส้นมีค่า $\frac{h}{e}$ เท่ากัน

ดังนั้น กราฟในโจทย์จึงไม่ถูกต้อง เพราะกราฟแต่ละเส้นมีความชันไม่เท่ากัน

ตอบ ไม่ถูกต้อง เพราะความชันของกราฟแต่ละเส้นมีค่าไม่เท่ากัน

8. กำหนดให้ โลหะ A , B และ C มีค่าฟังก์ชันงานเท่ากับ 1.035 อิเล็กตรอนโวลต์ 2.070 อิเล็กตรอนโวลต์ และ 4.140 อิเล็กตรอนโวลต์

ก. จงหาความถี่ขีดเริ่มของโลหะทั้ง 3 ชนิด

ข. วาดกราฟระหว่างความต่างศักย์หยุดยั้งกับความถี่ของโฟตอนที่ตกกระทบแผ่นโลหะ โดยระบุชนิดของโลหะและความถี่ขีดเริ่ม ลงในกราฟแต่ละเส้น

วิธีทำ

ก. จากสมการ $W = hf_0$

$$\text{สำหรับโลหะ A จะได้ } f_0 = \frac{W}{h} = \frac{(1.035 \text{ eV})(1.60 \times 10^{-19} \text{ J/eV})}{(6.626 \times 10^{-34} \text{ Js})} = 0.25 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

$$\text{สำหรับโลหะ B จะได้ } f_0 = \frac{W}{h} = \frac{(2.070 \text{ eV})(1.60 \times 10^{-19} \text{ J/eV})}{(6.626 \times 10^{-34} \text{ Js})} = 0.50 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

$$\text{สำหรับโลหะ C จะได้ } f_0 = \frac{W}{h} = \frac{(4.140 \text{ eV})(1.60 \times 10^{-19} \text{ J/eV})}{(6.626 \times 10^{-34} \text{ Js})} = 1.00 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

ข. จากสมการโฟโตอิเล็กทริก $E_{k_{\max}} = hf - W$

$$\text{แต่ } E_{k_{\max}} = eV_s$$

$$\text{จะได้ว่า } eV_s = hf - W$$

$$\text{หรือ } V_s = \frac{h}{e} f - \frac{W}{e}$$

โดยความชันของกราฟมีค่า $\frac{h}{e}$ และจุดตัดแกน y หรือ V_s มีค่า $-\frac{W}{e}$

สำหรับโลหะ A จะได้

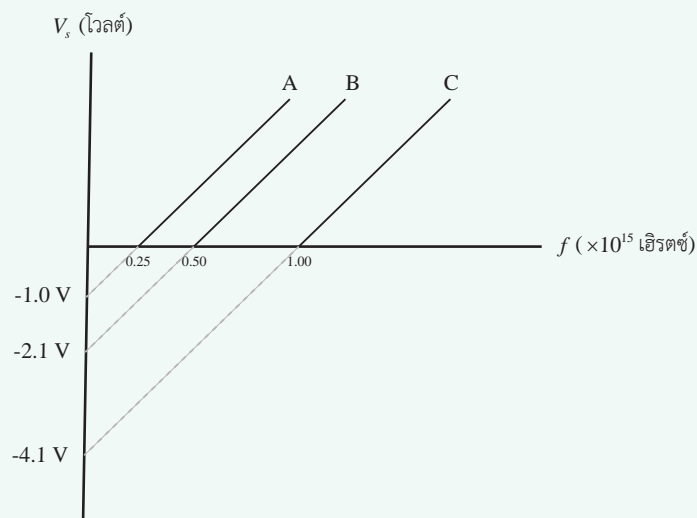
$$V_s = -\frac{W}{e} = -\frac{1.035 \text{ eV}}{e} = -1.0 \text{ V}$$

สำหรับโลหะ B จะได้

$$V_s = -\frac{W}{e} = -\frac{2.070 \text{ eV}}{e} = -2.1 \text{ V}$$

สำหรับโลหะ C จะได้
$$V_s = -\frac{W}{e} = -\frac{4.140\text{eV}}{e} = -4.1\text{V}$$

เมื่อนำข้อมูล f_0 ของโลหะทั้งสามและจุดตัดแกน y ไปเขียนกราฟจะได้กราฟเส้นตรงที่ขนานกัน โดยความชันของเส้นกราฟทั้งสามมีค่าเท่ากัน ดังรูป



รูป ประกอบวิธีทำสำหรับปัญหาข้อ 8 ข.

ตอบ ก. 0.25×10^{15} เฮิร์ตซ์ 0.50×10^{15} เฮิร์ตซ์ 1.00×10^{15} เฮิร์ตซ์ ตามลำดับ

ข. กราฟระหว่างความต่างศักย์หยุดยั้งกับความถี่ของโฟตอน ดังรูปประกอบวิธีทำ

9. เมื่อฉายแสงที่มีความถี่ 8.15×10^{14} เฮิร์ตซ์ ไปที่ธาตุต่อไปนี้

ธาตุ	ฟังก์ชันงาน $W(\text{eV})$
แบเรียม	2.6
อะลูมิเนียม	4.2
เงิน	4.6
ทองคำ	5.3

จะเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกกับธาตุใด

วิธีทำ ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อพลังงานของโฟตอนมีค่าเท่ากับหรือมากกว่าฟังก์ชันงานของธาตุโฟตอนของแสงที่มีความถี่ 8.15×10^{14} Hz จะมีพลังงาน $E = hf$

$$\begin{aligned} \text{จะได้} \quad E &= (6.626 \times 10^{-34} \text{ Js})(8.15 \times 10^{14} \text{ Hz}) \\ E &= 5.40 \times 10^{-19} \text{ J} \\ &= \frac{5.40 \times 10^{-19} \text{ J}}{1.6 \times 10^{-19} \text{ J/eV}} \\ E &= 3.38 \text{ eV} \end{aligned}$$

เมื่อพิจารณาจากตารางฟังก์ชันงานของแต่ละธาตุ พบว่าพลังงานของโฟตอนมากกว่าฟังก์ชันงานของแบเรียมเพียงธาตุเดียว ดังนั้นธาตุที่เกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกได้คือ แบเรียม

ตอบ แบเรียม

10. ในการทดลองปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก ถ้าโลหะที่ใช้มีฟังก์ชันงานเท่ากับ 1.10×10^{-19} จูล โฟตอนของแสงที่มีความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร จะทำให้อิเล็กตรอนหลุดจากผิวโลหะนี้มีความเร็วสูงสุดเท่าใด และความต่างศักย์หยุดยั้งของการทดลองนี้มีค่าเท่าใด

วิธีทำ หาความเร็วสูงสุดของอิเล็กตรอน จากสมการ $hf = W + E_{k_{\max}}$

$$\text{เนื่องจาก } c = f\lambda \text{ และ } E_{k_{\max}} = \frac{1}{2}mv_{\max}^2$$

$$\text{เมื่อแทนค่าใน } hf = W + E_{k_{\max}} \text{ จะได้ } \frac{hc}{\lambda} = W + \frac{1}{2}mv_{\max}^2$$

$$\text{ในที่นี้ } \lambda = 600 \text{ nm} = 6.00 \times 10^{-7} \text{ m} \text{ และ } W = 1.1 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$\text{เมื่อแทนค่าใน } \frac{hc}{\lambda} = W + \frac{1}{2}mv_{\max}^2$$

$$\frac{(6.626 \times 10^{-34} \text{ Js})(3.00 \times 10^8 \text{ m/s})}{600 \times 10^{-9} \text{ m}} = (1.10 \times 10^{-19} \text{ J}) + \frac{1}{2}(9.11 \times 10^{-31} \text{ kg})v_{\max}^2$$

$$\text{หาค่า } v_{\max} \text{ ได้ } v_{\max} = 6.97 \times 10^5 \text{ m/s}$$

$$\text{หาความต่างศักย์หยุดยั้งจาก } \frac{hc}{\lambda} = W + eV_s$$

เมื่อแทนค่า จะได้

$$\frac{(6.626 \times 10^{-34} \text{ Js})(3.00 \times 10^8 \text{ m/s})}{600 \times 10^{-9} \text{ m}} = (1.10 \times 10^{-19} \text{ J}) + (1.60 \times 10^{-19} \text{ C})V_s$$

$$\text{หาค่า } V_s \text{ ได้ } V_s = 1.38 \text{ V}$$

ตอบ ความเร็วสูงสุดเท่ากับ 6.97×10^5 เมตรต่อวินาที และความต่างศักย์หยุดยั้งเท่ากับ 1.38 โวลต์

11. คนที่อยู่กลางแจ้งในตอนกลางวันเป็นเวลานานๆจะทำให้ผิวหนังคล้ำจากการศึกษาพบว่าพลังงานโฟตอนของแสงแดดที่ทำให้ผิวหนังคล้ำ มีค่าประมาณ 3.50 อิเล็กตรอนโวลต์ จงหาความยาวคลื่นของโฟตอนและความยาวคลื่นของโฟตอนที่คำนวณได้นี้ อยู่ในช่วงรังสีชนิดใดในสเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

วิธีทำ หาความยาวคลื่นของโฟตอนจาก $\lambda = \frac{hc}{E}$
แทนค่าจะได้

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{(6.626 \times 10^{-34} \text{ Js})(3.00 \times 10^8 \text{ m/s})}{3.50 \times 1.60 \times 10^{-19} \text{ J}} \\ &= 3.55 \times 10^{-7} \text{ m} \\ &= 355 \text{ nm}\end{aligned}$$

ความยาวคลื่น 355 นาโนเมตร อยู่ในช่วงรังสีอัลตราไวโอเล็ต

ตอบ ความยาวคลื่นของโฟตอนเท่ากับ 355 นาโนเมตร อยู่ในช่วงรังสีอัลตราไวโอเล็ต

12. ฟังก์ชันงานของโลหะชนิดหนึ่งมีค่า 3.3×10^{-19} จูล

ก. จงหาความถี่ต่ำสุดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกกับโลหะนี้
ข. เมื่อให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าต่อไปนี้ตกกระทบโลหะจะเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกหรือไม่

(1) คลื่นที่มีความยาวคลื่น 5.0×10^{-7} เมตร

(2) คลื่นที่มีความถี่ 4.0×10^{14} เฮิร์ตซ์

วิธีทำ ก. ความถี่ต่ำสุดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก

$$\text{จากสมการ } W = hf_0 \text{ หรือ } f_0 = \frac{W}{h}$$

$$\text{เนื่องจากฟังก์ชันงานของโลหะ } W = 3.3 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$\text{ดังนั้น ความถี่ขีดเริ่มของโลหะนี้ } f_0 = \frac{3.3 \times 10^{-19} \text{ J}}{6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}} = 5.0 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

ข. (1) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีความยาวคลื่น $\lambda = 5.0 \times 10^{-7} \text{ m}$

$$\text{จะมีความถี่ } f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3.00 \times 10^8 \text{ m/s}}{5.0 \times 10^{-7} \text{ m}} = 6.0 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

ซึ่งมีความถี่สูงกว่าความถี่ขีดเริ่ม จึงทำให้เกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก

(2) คลื่นที่มีความถี่ 4.0×10^{14} เฮิร์ตซ์ ไม่ทำให้เกิดเพราะความถี่ต่ำกว่าความถี่ขีดเริ่ม ไม่ทำให้เกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก

ตอบ ก. ความถี่ขีดเริ่มของโลหะเท่ากับ 5.0×10^{14} เฮิร์ตซ์

ข. (1) คลื่นที่มีความยาวคลื่น 5.0×10^{-7} เมตร นี้ เมื่อกระทบโลหะจะเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกได้

(2) คลื่นที่มีความถี่ 4.0×10^{14} เฮิร์ตซ์ ต่ำกว่าความถี่ขีดเริ่ม เมื่อกระทบโลหะจะไม่เกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก

13. โฟตอนของรังสีเอกซ์ที่มีความยาวคลื่น 30 พิโกเมตร จะมีความถี่และพลังงานเท่าใด

วิธีทำ จากสมการ $f = \frac{c}{\lambda}$

เนื่องจากความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ $\lambda = 30 \times 10^{-12}$ m

ดังนั้น ความถี่ของรังสีเอกซ์ $f = \frac{3.00 \times 10^8 \text{ m/s}}{30 \times 10^{-12} \text{ m}} = 1.0 \times 10^{19} \text{ Hz}$

เนื่องจากพลังงานโฟตอน $E = hf$

ดังนั้น พลังงานโฟตอนของรังสีเอกซ์

$$E = (6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}) (1.0 \times 10^{19} \text{ Hz})$$

$$E = 6.626 \times 10^{-15} \text{ J}$$

$$= \frac{6.626 \times 10^{-15} \text{ J}}{1.6 \times 10^{-19} \text{ J/eV}}$$

$$E = 41.4 \text{ KeV}$$

ตอบ โฟตอนของรังสีเอกซ์มีความถี่เท่ากับ 1.0×10^{19} เฮิร์ตซ์ และ

มีพลังงานเท่ากับ 6.626×10^{-15} จูล หรือ 41.4 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์

14. โฟตอนของรังสีชนิดหนึ่งมีพลังงาน 24.8 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ จะมีความถี่และความยาวคลื่นเท่าใด

วิธีทำ จากสมการ $E = hf$ หรือ $f = \frac{E}{h}$

เนื่องจากพลังงานของโฟตอน $= 24.8 \times 10^3 \text{ eV} = (24.8 \times 10^3 \text{ eV})(1.60 \times 10^{-19} \text{ J/eV})$

ดังนั้น ความถี่ของรังสี $f = \frac{24.8 \times 10^3 \times 1.60 \times 10^{-19} \text{ J}}{6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}} = 5.98 \times 10^{18} \text{ Hz}$

จากสมการ $\lambda = \frac{c}{f}$

$$\lambda = \frac{3.00 \times 10^8 \text{ m/s}}{5.98 \times 10^{18} \text{ Hz}} = 1.00 \times 10^{-10} \text{ m} = 0.10 \text{ nm}$$

ตอบ โฟตอนของรังสีมีความถี่เท่ากับ 5.98×10^{18} เฮิร์ตซ์ และมีความยาวคลื่นเท่ากับ 0.10 นาโนเมตร

15. ฟังก์ชันงานของทองคำเท่ากับ 5.3 อิเล็กตรอนโวลต์ จงหาความถี่ขีดเริ่มของแสงที่ทำให้เกิดโฟโตอิเล็กตรอนจากทองคำ แสงที่ตามองเห็นจะทำให้เกิดโฟโตอิเล็กตรอนจากทองคำได้หรือไม่
วิธีทำ หาความถี่ขีดเริ่มจากสมการ $W = hf_0$

$$f_0 = \frac{W}{h}$$

ฟังก์ชันงานของทองคำ $W = (5.3 \text{ eV}) \times (1.6 \times 10^{-19} \text{ J/eV}) = 8.5 \times 10^{-19} \text{ J}$

ความถี่ขีดเริ่มของทองคำ $f_0 = \frac{8.5 \times 10^{-19} \text{ J}}{6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}} = 1.3 \times 10^{15} \text{ Hz}$

แสงที่ตามองเห็นมีความถี่ 3.8×10^{14} เฮิรตซ์ -9.5×10^{14} เฮิรตซ์ ส่วนทองคำมีความถี่ขีดเริ่มเท่ากับ 1.3×10^{15} เฮิรตซ์ ซึ่งสูงกว่าความถี่สูงสุดของแสงที่ตามองเห็น

ตอบ แสงที่ตามองเห็นจะไม่ทำให้เกิดโฟโตอิเล็กตรอนจากทองคำได้

16. พิจารณา โปรตอน อิเล็กตรอน และนิวเคลียสของฮีเลียม ที่เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วเท่ากัน จงเรียงลำดับความยาวคลื่นเดอบรอยล์ของอนุภาคทั้งสามจากน้อยไปมาก

วิธีทำ ความยาวคลื่นเดอบรอยล์ (λ) สามารถหาได้จาก

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

ดังนั้น เมื่ออัตราเร็วของแต่ละอนุภาคมีค่าเท่ากัน และมวลของนิวเคลียสของฮีเลียม โปรตอน และ อิเล็กตรอน ที่มีค่า 6.68×10^{-27} กิโลกรัม 1.67×10^{-27} กิโลกรัม และ 9.10×10^{-31} กิโลกรัม ตามลำดับ จะได้ว่า ความยาวคลื่นเดอบรอยล์ของนิวเคลียสของฮีเลียมมีค่าน้อยที่สุด และ ความยาวคลื่นเดอบรอยล์ของอิเล็กตรอนมีค่ามากที่สุด

ตอบ นิวเคลียสของฮีเลียม โปรตอน และอิเล็กตรอน มีความยาวคลื่นเดอบรอยล์จากน้อยไปมากตามลำดับ

17. โฟตอนและอิเล็กตรอนที่ประพุดิตัวเป็นคลื่นมีความยาวคลื่น 0.20 นาโนเมตร จะมีโมเมนตัมและพลังงานเท่าใด

วิธีทำ โฟตอนและอิเล็กตรอนที่มีความยาวคลื่นเท่ากันจึงมีโมเมนตัมเท่ากัน ซึ่งหาได้จาก

สมการ $p = \frac{h}{\lambda}$

ในที่นี้ $\lambda = 0.20 \text{ nm} = 0.20 \times 10^{-9} \text{ m}$, $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}$

จะได้ $p = \frac{6.626 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}}{0.20 \times 10^{-9} \text{ m}}$
 $p = 3.31 \times 10^{-24} \text{ kg m/s}$

พลังงานของโฟตอนหาได้จาก $E = \frac{h}{\lambda}c$ เมื่อ c เป็นอัตราเร็วของแสง

ในที่นี้ $p = 3.31 \times 10^{-24} \text{ kg m/s}$ และ $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$

$$\begin{aligned} \text{จะได้} \quad E &= \frac{(6.626 \times 10^{-34} \text{ kg m/s})}{(0.2 \times 10^{-9} \text{ m})} (3 \times 10^8 \text{ m/s}) \\ &= 9.94 \times 10^{-16} \text{ J} \end{aligned}$$

$$\text{หรือ} \quad E = 6.2 \text{ keV}$$

พลังงานของโฟตอนมีค่า 6.2 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์

พลังงานของอิเล็กตรอนหาได้จากสมการ $E = \frac{p^2}{2m}$ เมื่อ m เป็นมวลของอิเล็กตรอน

ในที่นี้ $p = 3.31 \times 10^{-24} \text{ kg m/s}$ และ $m = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$

$$\begin{aligned} \text{จะได้} \quad E &= \frac{(3.31 \times 10^{-24} \text{ kg m/s})^2}{2(9.11 \times 10^{-31} \text{ kg})} \\ &= 6.01 \times 10^{-18} \text{ J} \end{aligned}$$

$$\text{หรือ} \quad E = 37.6 \text{ eV}$$

พลังงานของอิเล็กตรอนมีค่า 37.6 อิเล็กตรอนโวลต์

ตอบ โฟตอนและอิเล็กตรอนมีโมเมนตัม 3.31×10^{-24} กิโลกรัมเมตรต่อวินาที

โฟตอนมีพลังงาน 6.2 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ อิเล็กตรอนมีพลังงาน 37.6 อิเล็กตรอนโวลต์

18. ร่างกายมนุษย์สามารถแผ่รังสีอินฟราเรดได้ ถ้าความยาวคลื่นสูงสุดของอินฟราเรดที่แผ่ออกมามีค่า 9350 นาโนเมตร ความถี่ของพลังงานของอินฟราเรดที่ร่างกายมนุษย์แผ่ออกมามีพลังงานเท่าใด

วิธีทำ ความถี่ของพลังงาน (หรือโฟตอน) ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีพลังงานตามสมการ $E = hf$

ความถี่ของพลังงานของอินฟราเรดที่ร่างกายมนุษย์แผ่ออกมามีพลังงาน $E = hf = \frac{hc}{\lambda}$

ในที่นี้ $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}$, $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ และ $\lambda = 30 \times 10^{-12} \text{ m}$

$$\text{จะได้} \quad E = \frac{(6.626 \times 10^{-34} \text{ Js})(3 \times 10^8 \text{ m/s})}{9.35 \times 10^{-6} \text{ m}}$$

$$E = 0.213 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$\text{หรือ} \quad E = 0.133 \text{ eV}$$

ควอนตัมของพลังงานของอินฟราเรดที่ร่างกายมนุษย์สามารถแผ่ออกมามีพลังงานเท่ากับ 2.13×10^{-20} จูล หรือ 0.133 อิเล็กตรอนโวลต์

ตอบ 2.13×10^{-20} จูล หรือ 0.133 อิเล็กตรอนโวลต์

19. อิเล็กตรอนในอะตอมไฮโดรเจนอยู่ในสถานะพื้น ตามทฤษฎีอะตอมของโบร์ สถานะนี้จะมีพลังงาน -13.6 อิเล็กตรอนโวลต์ พลังงานจลน์และพลังงานศักย์ไฟฟ้าของอิเล็กตรอนที่ระดับพลังงานนี้มีค่าเท่าใด

วิธีทำ จากทฤษฎีอะตอมของโบร์ พลังงานจลน์หาได้จาก

$$F = F_c$$

$$\frac{ke^2}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$$

$$mke^2 = \frac{m^2 v^2 r^2}{r}$$

จาก $E_k = \frac{1}{2} mv^2$

ดังนั้น $E_k = \frac{1}{2} \frac{ke^2}{r}$ (1)

พลังงานศักย์หาได้จากพลังงานศักย์ไฟฟ้าของอิเล็กตรอนในวงโคจร

$$E_p = -\frac{ke^2}{r}$$
 (2)

จากสมการ (1) และ (2) จะได้

$$E_p = -2E_k$$
 (3)

ดังนั้นพลังงานรวม E ของอิเล็กตรอนในอะตอมไฮโดรเจนที่อยู่ในสถานะพื้น หาได้จาก

$$E = E_k + E_p$$

$$= -E_k$$
 (4)

$$= \frac{1}{2} E_p$$
 (5)

ถ้าพลังงานรวมของอิเล็กตรอนในอะตอมไฮโดรเจนที่อยู่ในสถานะพื้นมีค่า $E = -13.6$ eV จากสมการ (4) และ (5) พบว่า พลังงานจลน์มีค่า $E_k = -E = 13.6$ eV และพลังงานศักย์มีค่า $E_p = 2E = -27.2$ eV ตามลำดับ

ตอบ 13.6 อิเล็กตรอนโวลต์ และ -27.2 อิเล็กตรอนโวลต์ ตามลำดับ

 | ปัญหาท้าทาย

20. รังสีอัลตราไวโอเล็ตความเข้ม 0.0500 วัตต์ต่อตารางเมตร ตกกระทบบนแผงผิวโลหะชนิดหนึ่งที่มีฟังก์ชันงาน 5.30 อิเล็กตรอนโวลต์ และโฟโตอิเล็กตรอนที่หลุดออกมาเมื่ออัตราเร็วสูงสุด 4.20×10^5 เมตรต่อวินาที โฟโตอิเล็กตรอนที่หลุดออกมาจากพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตร ทุก 1 วินาที มีจำนวนเท่าใด (สมมติว่าโฟตอนของรังสีอัลตราไวโอเล็ตถูกดูดกลืนทั้งหมด)

วิธีทำ หา hf จากสมการโฟโตอิเล็กทริก

$$E_{k\max} = hf - W$$

$$\frac{1}{2}mv_{\max}^2 = hf - W$$

$$hf = \frac{1}{2}mv_{\max}^2 + W$$

ในที่นี้ $m = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$, $v = 4.2 \times 10^5 \text{ m/s}$

และ $W = (5.30 \text{ eV})(1.6 \times 10^{-19} \text{ J/eV}) = 8.48 \times 10^{-19} \text{ J}$

จะได้ $hf = \frac{1}{2}(9.11 \times 10^{-31} \text{ kg})(4.20 \times 10^5 \text{ m/s})^2 + (5.30 \text{ eV})(1.6 \times 10^{-19} \text{ J/eV})$

$$hf = 9.28 \times 10^{-19} \text{ J}$$

เมื่อ I เป็นพลังงานของรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ตกกระทบบนแผงผิวโลหะต่อหนึ่ง

หน่วยพื้นที่ต่อหนึ่งหน่วยเวลาหาได้จากสมการ $I = \frac{E}{tA}$

จะได้ $E = ItA$

ในที่นี้ $I = 0.0500 \text{ W/m}^2$, $t = 1 \text{ s}$ และ $A = 1 \text{ cm}^2 = 10^{-4} \text{ m}^2$

จะได้ $E = (0.0500 \text{ W/m}^2)(1 \text{ s})(10^{-4} \text{ m}^2)$

$$E = 5.00 \times 10^{-6} \text{ J}$$

เมื่อ E เป็นพลังงานทั้งหมดของรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ตกกระทบบนแผงผิวโลหะ

จากสมการ $E = nhf$

ในที่นี้ $E = 5.00 \times 10^{-6} \text{ J}$ และ $hf = 9.28 \times 10^{-19} \text{ J}$

จะได้ $5.00 \times 10^{-6} \text{ J} = n(9.28 \times 10^{-19} \text{ J})$

$$n = 5.39 \times 10^{12}$$

จำนวนอิเล็กตรอนที่หลุดออกมาจากพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตรทุก 1 วินาที เท่ากับ

5.39×10^{12} อนุภาค

ตอบ 5.39×10^{12} อนุภาค

21. โฟตอนความยาวคลื่น 320 นาโนเมตร ตกกระทบผิวโพแทสเซียมที่มีฟังก์ชันงาน 2.30 อิเล็กตรอนโวลต์ จะมีอิเล็กตรอนหลุดออกมาหรือไม่ ถ้ามี พลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนมีค่าเท่าใด และ ถ้าไม่มีพลังงานที่ต้องเพิ่มมีค่าเท่าใด

แนวคิด อิเล็กตรอนจะหลุดจากผิวโพแทสเซียมก็ต่อเมื่อโฟตอนของแสงที่ไปตกกระทบมีพลังงานเท่ากับหรือมากกว่าฟังก์ชันงานของโพแทสเซียม

โฟตอนความยาวคลื่น 320 นาโนเมตร มีพลังงานตามสมการ $E = hf = \frac{hc}{\lambda}$

ในที่นี้ $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}$ $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ และ $\lambda = 320 \times 10^{-9} \text{ m}$

$$\text{จะได้} \quad E = \frac{(6.626 \times 10^{-34} \text{ Js})(3 \times 10^8 \text{ m/s})}{320 \times 10^{-9} \text{ m}}$$

$$E = 6.212 \times 10^{-19} \text{ J}$$

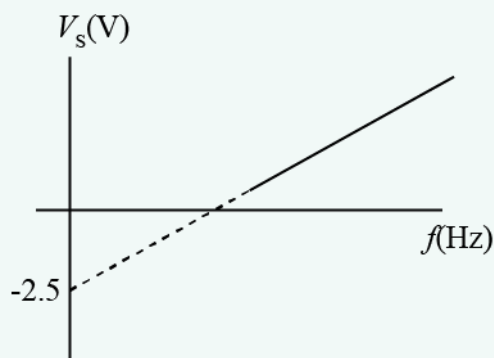
$$\text{หรือ} \quad E = 3.88 \text{ eV}$$

พลังงานของโฟตอนที่ตกกระทบผิวโพแทสเซียมมีค่ามากกว่าฟังก์ชันงาน

$3.88 \text{ eV} - 2.30 \text{ eV} = 1.58 \text{ eV}$ จึงมีอิเล็กตรอนหลุดออกมา โดยมีพลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนมีค่าเท่ากับ 1.58 อิเล็กตรอนโวลต์

ตอบ 1.58 อิเล็กตรอนโวลต์

22. ในการทดลองปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก โดยการฉายแสงความถี่ f ไปตกกระทบผิวโลหะชนิดหนึ่ง กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์หยุดยั้ง (V_s) กับความถี่แสง (f) เป็นดังรูป



รูป ประกอบปัญหาท้าทาย ข้อ 22

เมื่อโฟตอนพลังงาน 3.6×10^{-19} จูล ตกกระทบแผ่นโลหะ จะมีอิเล็กตรอนหลุดออกมาหรือไม่
วิธีทำ อิเล็กตรอนจะหลุดจากผิวโลหะเมื่อพลังงานของแสงที่ไปตกกระทบมีค่ามากกว่าฟังก์ชันงาน

$$\text{จากสมการ} \quad E_{k \max} = hf - W$$

$$eV_s = hf - W$$

จากสมการ $V_s = \left(\frac{h}{e}\right)f - \frac{W}{e}$ โดย $-\frac{W}{e}$ เป็นระยะตัดแกนตั้ง

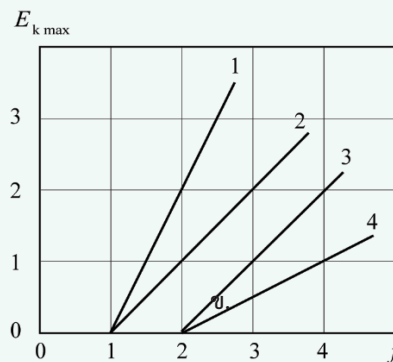
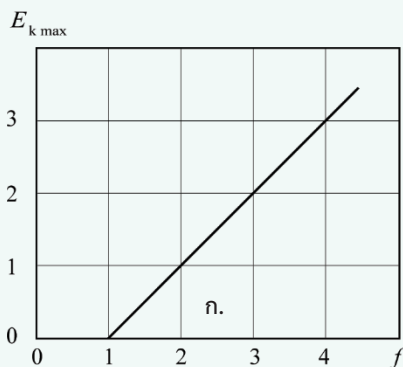
จากกราฟ จะได้ $\frac{W}{e} = 2.5 \text{ V}$

จะได้ ฟังก์ชันงาน $W = e(2.5 \text{ V}) = (1.6 \text{ v C})(2.5 \text{ V}) = 4.0 \times 10^{-19} \text{ J}$

จะเห็นว่า พลังงานโฟตอนมีค่าน้อยกว่าฟังก์ชันงาน ดังนั้นจึงไม่มีอิเล็กตรอนหลุดออกมา

ตอบ ไม่มีอิเล็กตรอนหลุดออกมา

23. ในการทดลองปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกโดยให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความเข้มคงตัว I_0 แต่มีความถี่ต่าง ๆ ตกกระทบโลหะชนิดหนึ่ง พบว่าพลังงานจลน์สูงสุด $E_{k \text{ max}}$ ของโฟโตอิเล็กตรอน และความถี่ f ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตกกระทบ มีความสัมพันธ์ดังกราฟรูป ก. จงใช้กราฟรูป ข. (ซึ่งมีสเกลเดียวกับรูป ก.) ตอบคำถามต่อไปนี้



รูป ประกอบปัญหาท้าทาย ข้อ 23

ก. ถ้าความเข้มเพิ่มเป็น $2I_0$ ความสัมพันธ์ระหว่าง $E_{k \text{ max}}$ และ f จะเป็นเส้นใด

ข. ถ้าความเข้มเป็น I_0 เท่าเดิม แต่เคลือบผิวโลหะเดิมด้วยโลหะใหม่ที่มีฟังก์ชันงานเป็น

2 เท่าของโลหะเดิม ความสัมพันธ์ระหว่าง $E_{k \text{ max}}$ และ f จะเป็นเส้นใด

วิธีทำ ก. จากสมการโฟโตอิเล็กทริก

$$E_{k \text{ max}} = hf - W$$

เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอน และความถี่ จะพบว่าความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ไม่มีความเกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ดังกล่าว ดังนั้นถ้าความเข้มเพิ่มเป็น $2I_0$ กราฟ เส้นกราฟที่ถูกต้องในรูป ข. จะต้องมีความชันและจุดตัดแกนเช่นเดียวกับเส้นกราฟในรูป ก. คำตอบจึงเป็นเส้นกราฟที่ 2

ข. จากสมการโฟโตอิเล็กทริก

$$E_{k \max} = hf - W$$

เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอน และความถี่ จะพบว่าความถี่จะมีค่าเท่ากับ h เช่นเดิม สำหรับจุดตัดแกน x พิจารณาเมื่อ

$$E_{k \max} = 0$$

หรือ

$$0 = hf_0 - W$$

$$f_0 = \frac{W}{h}$$

จุดตัดแกน x จึงมีค่าเท่ากับฟังก์ชันงานของโลหะนั้น ๆ

ถ้าเคลือบผิวโลหะเดิมด้วยโลหะใหม่ที่มีฟังก์ชันงานเป็น 2 เท่าของโลหะเดิม

$W_{\text{new}} = 2W$ ดังนั้น $f_{0 \text{ new}} = 2f_0$ จุดตัดแกน x ของเส้นกราฟที่ถูกต้องในรูป ข. จะมีค่าเป็น 2 เท่าของจุดตัดแกน x ในรูป ก. คำตอบจึงเป็นเส้นกราฟที่ 3

ตอบ ก. เส้นที่ 2 เพราะพลังงานจลน์สูงสุดขึ้นอยู่กับความถี่ของแสงไม่ได้ขึ้นกับความเข้มแสง

ข. เส้นที่ 3 เพราะกราฟเส้น 3 มีฟังก์ชันงานเป็น 2 เท่าของกราฟในรูป ก. และมีความถี่ขีดเริ่มเป็น 2 เท่าของกราฟในรูป ก ด้วย

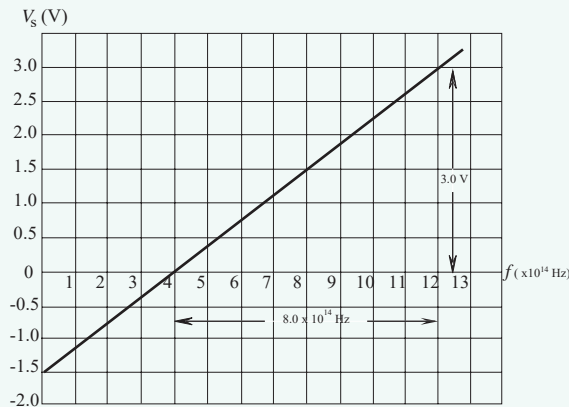
24. ในการศึกษาปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก ผู้ทดลองได้บันทึกความถี่ f และความต่างศักย์หยุดยั้ง V_s ดังตาราง

f ($\times 10^{14}$ Hz)	12.0	9.5	8.2	5.5
V_s (V)	3.00	2.10	1.60	0.50

ก. เขียนกราฟระหว่าง f กับ V_s โดยให้ f อยู่บนแกนนอนและ V_s อยู่บนแกนตั้ง

ข. จากกราฟในข้อ ก. ความถี่ขีดเริ่ม ค่าคงตัวพลังค์และฟังก์ชันงานมีค่าประมาณเท่าใด

วิธีทำ ก. จากข้อมูลในตารางเขียนกราฟระหว่าง V_s กับ f ได้ดังนี้



รูป ประกอบวิธีทำสำหรับปัญหาท้าทาย ข้อ 24 ก.

ข. จาก

$$eV_s + W = hf$$

$$V_s = \frac{hf}{e} - \frac{W}{e}$$

จะได้ว่า ความชัน = $\frac{h}{e}$ และ จุดตัดแกน $y = -\frac{W}{e}$

จากรูป กราฟตัดแกนตอนที่ 4.0×10^{14} Hz ดังนั้น ความถี่ขีดเริ่ม $f_0 = 4.0 \times 10^{14}$ Hz

จากรูป ความชันของเส้นกราฟ = $\frac{3.0\text{V}}{8.0 \times 10^{14}\text{Hz}} = 3.75 \times 10^{-15}$ Vs

แต่ความชันของกราฟ = $\frac{h}{e} = 3.75 \times 10^{-15}$ Vs

จะได้ $h = (3.75 \times 10^{-15} \text{ Vs})(1.60 \times 10^{-19} \text{ C}) = 6.0 \times 10^{-34} \text{ Js}$

จากรูป กราฟตัดแกนตั้งที่ -1.5 V ดังนั้น $-\frac{W}{e} = -1.5 \text{ V}$

จะได้ $W = (1.5\text{V})(1.60 \times 10^{-19} \text{ C}) = 2.4 \times 10^{-19} \text{ J} = 1.5 \text{ eV}$

ตอบ ความถี่ขีดเริ่ม ค่าคงตัวพลังค์และฟังก์ชันงานมีค่าประมาณ 4.0×10^{14} เฮิร์ตซ์ , 6.0×10^{-34} จูลวินาที และ 2.4×10^{-19} จูล (หรือ 1.5 อิเล็กตรอนโวลต์) ตามลำดับ

25. จงเปรียบเทียบความยาวคลื่นเดอบรอยล์ของอิเล็กตรอนและนิวเคลียสไฮโดรเจนที่ถูกเร่งด้วยความต่างศักย์ไฟฟ้า 300 โวลต์ เท่ากัน กำหนดให้มวลของนิวเคลียสไฮโดรเจนเท่ากับ 1.67×10^{-27} กิโลกรัม

วิธีทำ หาความยาวคลื่นเดอบรอยล์ของอิเล็กตรอน จาก

$$\lambda_e = \frac{h}{m_e v_e} \quad (1)$$

ในที่นี้ อิเล็กตรอนมีมวล $m_e = 9.11 \times 10^{-31}$ kg และ v_e หาได้ดังนี้
อิเล็กตรอนที่ถูกเร่งผ่านความต่างศักย์ V จะมีพลังงานจลน์เป็น

$$\frac{1}{2} m_e v_e^2 = eV$$

$$\frac{1}{2} (9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}) v_e^2 = (1.60 \times 10^{-19} \text{ C})(300 \text{ V})$$

$$v_e = 1.027 \times 10^7 \text{ m/s}$$

แทนค่า m_e และ v_e ใน (1) จะได้

$$\begin{aligned} \lambda_e &= \frac{6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}}{(9.11 \times 10^{-31} \text{ kg})(1.027 \times 10^7 \text{ m/s})} \\ &= 7.082 \times 10^{-11} \text{ m} \end{aligned}$$

หาความยาวคลื่นของนิวเคลียสไฮโดรเจน จาก

$$\lambda_H = \frac{h}{m_H v_H} \quad (2)$$

ในที่นี้ นิวเคลียสไฮโดรเจนมีมวล $m_H = 1.67 \times 10^{-27}$ kg และ v_H หาได้ดังนี้
นิวเคลียสไฮโดรเจนที่ถูกเร่งผ่านความต่างศักย์ V มีพลังงานจลน์เป็น

$$\frac{1}{2} m_H v_H^2 = qV$$

$$\frac{1}{2} (1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}) v_H^2 = (1.60 \times 10^{-19} \text{ C})(300 \text{ V})$$

$$v_H = 2.398 \times 10^5 \text{ m/s}$$

แทนค่า m_H และ v_H ใน (2) จะได้

$$\begin{aligned} \lambda_H &= \frac{6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}}{(1.67 \times 10^{-27} \text{ kg})(2.398 \times 10^5 \text{ m/s})} \\ &= 1.655 \times 10^{-12} \text{ m} \end{aligned}$$

$$\frac{\lambda_e}{\lambda_H} = \frac{7.082 \times 10^{-11} \text{ m}}{1.655 \times 10^{-12} \text{ m}}$$

$$\lambda_e = 42.8 \lambda_H$$

หรือวิธีเปรียบเทียบความยาวคลื่น จากสมการ $\lambda = \frac{h}{p}$ $p = \sqrt{2mE_k}$

และ $E_k = qV$

เนื่องจากทั้งอิเล็กตรอนและไฮโดรเจนมีขนาดประจุเท่ากัน และเคลื่อนที่ผ่านความต่างศักย์ไฟฟ้า V เท่ากัน จึงมีพลังงานจลน์เท่ากัน เมื่อจัดรูป

$$\begin{aligned}\frac{\lambda_e}{\lambda_H} &= \frac{h/p_e}{h/p_H} \\ &= \frac{p_H}{p_e} \\ &= \frac{\sqrt{2m_H E_k}}{\sqrt{2m_e E_k}} \\ &= \sqrt{\frac{m_H}{m_e}}\end{aligned}$$

แทนค่า จะได้

$$\begin{aligned}\frac{\lambda_e}{\lambda_H} &= \sqrt{\frac{1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}}{9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}}} \\ &= 42.8 \\ \lambda_e &= 42.8 \lambda_H\end{aligned}$$

ตอบ ความยาวคลื่นเดอบรอยล์ของอิเล็กตรอนมีค่าประมาณ 42.8 เท่าของความยาวคลื่นเดอบรอยล์ ของนิวเคลียสไฮโดรเจน

5. การยึดเหนี่ยวกันของควาร์กเกี่ยวข้องกับอนุภาคสื่อแรงชนิดใดและแรงพื้นฐานแรงใด
แนวคำตอบ การยึดเหนี่ยวกันของควาร์กเกี่ยวข้องกับอนุภาคสื่อแรงชื่อกลูออน และเกี่ยวข้องกับแรงเข้ม
6. ในแบบจำลองมาตรฐาน การสลายให้บีตาทำให้ควาร์กมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร และเกี่ยวข้องกับอนุภาคสื่อแรงชนิดใด
แนวคำตอบ ในแบบจำลองมาตรฐาน การสลายให้บีตาทำให้ควาร์กมีการเปลี่ยนชนิด จากควาร์กดาวน์เปลี่ยนไปเป็นควาร์กอัพ ซึ่งเกี่ยวข้องกับอนุภาคสื่อแรงชื่อดับเบิลยูโบซอนลบ
7. จงยกตัวอย่างประโยชน์ที่ได้จากค้นคว้าวิจัยด้านฟิสิกส์อนุภาคอย่างน้อย 2 ตัวอย่าง
แนวคำตอบ
1. การใช้โปรตอนพลังงานสูงในการรักษาโรคมะเร็งที่เรียกว่าการบำบัดด้วยโปรตอน
 2. การใช้เครื่องเร่งอนุภาคในการผลิตชิปในคอมพิวเตอร์ให้มีคุณภาพดีขึ้น

เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 20

?? | คำถาม

1. แรงแม่เหล็กเป็นแรงที่กระทำระหว่างอนุภาคคู่ใดบ้าง
แนวคำตอบ แรงแม่เหล็กเป็นแรงที่กระทำระหว่างโปรตอนกับโปรตอน นิวตรอนกับนิวตรอน และ โปรตอนกับนิวตรอน
2. นิวเคลียสของไอโซโทปของธาตุเดียวกัน ที่มีจำนวนนิวตรอนต่างกัน มีเสถียรภาพต่างกันหรือไม่อย่างไร
แนวคำตอบ นิวเคลียสของไอโซโทปที่มีจำนวนนิวตรอนมากกว่า มีเสถียรภาพมากกว่านิวเคลียสของไอโซโทปที่มีจำนวนนิวตรอนน้อยกว่า เพราะจำนวนนิวตรอนที่เพิ่มขึ้น ทำให้นิวเคลียสมีแรงนิวเคลียร์เพิ่มขึ้น การชดเชยแรงผลักทางไฟฟ้าด้วยแรงยึดเหนี่ยวทางนิวเคลียร์จึงมีมากกว่า แต่อย่างไรก็ตาม จำนวนนิวตรอนที่เพิ่มขึ้น ถ้ามากเกินไป จะทำให้นิวเคลียสไม่มีเสถียรภาพ
3. เพราะเหตุใด มวลของนิวเคลียสจึงน้อยกว่ามวลรวมของนิวคลีออนในนิวเคลียส
แนวคำตอบ เพราะการที่นิวคลีออนจะสามารถรวมกันอยู่ได้ภายในนิวเคลียส ต้องมีการเปลี่ยนมวลบางส่วนเป็นพลังงาน สำหรับใช้ในการยึดเหนี่ยวให้อยู่รวมกัน เพื่อทำให้นิวเคลียสมีเสถียรภาพ

4. นิวเคลียสที่มีพลังงานยึดเหนี่ยวสูงจะมีเสถียรภาพมากกว่านิวเคลียสที่มีพลังงานยึดเหนี่ยวต่ำกว่าหรือไม่ เพราะเหตุใด

แนวคำตอบ ไม่ เพราะพลังงานยึดเหนี่ยวขึ้นกับจำนวนนิวคลีออนในนิวเคลียส ยิ่งนิวเคลียสมีจำนวนนิวคลีออนมาก ยิ่งมีพลังงานยึดเหนี่ยวมาก การพิจารณาเสถียรภาพของนิวเคลียสต้องพิจารณาพลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออน

5. ใช้สมบัติต่อไปนี้เรียงลำดับของรังสีที่แผ่ออกมาจากธาตุกัมมันตรังสีจากมากไปน้อย

ก. มวล

ข. อำนาจทะลุผ่าน

ค. ความสามารถในการทำให้อากาศแตกตัวเป็นไอออน

แนวคำตอบ ก. เรียงลำดับจากรังสีที่มีมวลมากไปน้อย

รังสีแอลฟา รังสีบีตา รังสีแกมมา

ข. เรียงลำดับจากรังสีที่มีอำนาจทะลุผ่านมากไปน้อย

รังสีแกมมา รังสีบีตา รังสีแอลฟา

ค. เรียงลำดับรังสีที่มีความสามารถในการทำให้อากาศแตกตัวเป็นไอออนมากไปน้อย

รังสีแอลฟา รังสีบีตา รังสีแกมมา

6. นำธาตุกัมมันตรังสี 3 ชนิดใส่กล่องตะกั่วหมายเลข 1 2 และ 3 กล่องละ 1 ชนิด จากนั้นทดลองให้รังสีที่แผ่ออกมาจากธาตุกัมมันตรังสีผ่านแผ่นกระดาษและผ่านสนามแม่เหล็ก ได้ผลการทดลองดังตาราง

รังสีจากกล่องตะกั่ว	การทะลุผ่าน	การเบน
1	ผ่านกระดาษได้	ไม่เบนในสนามแม่เหล็ก
2	ผ่านกระดาษไม่ได้	เบนในสนามแม่เหล็ก
3	ผ่านกระดาษได้	เบนในสนามแม่เหล็ก

ถ้าธาตุในกล่องตะกั่วแต่ละใบแผ่รังสีเพียงชนิดเดียว ธาตุกัมมันตรังสีในกล่องแต่ละใบแผ่รังสีชนิดใด อธิบาย

แนวคำตอบ อนุภาคมันตรังสีในกล่องที่ 1 แผ่รังสีแกมมา เพราะรังสีแกมมาเป็นกลางทางไฟฟ้า จึงไม่เบนในสนามแม่เหล็ก และสามารถทะลุผ่านแผ่นกระดาษได้
 อนุภาคมันตรังสีในกล่องที่ 2 แผ่รังสีแอลฟา เพราะรังสีแอลฟาไม่สามารถผ่านแผ่นกระดาษได้ และรังสีแอลฟามีประจุไฟฟ้า จึงเบนในสนามแม่เหล็ก
 อนุภาคมันตรังสีในกล่องที่ 3 แผ่รังสีบีตา เพราะรังสีบีตาสามารถผ่านแผ่นกระดาษได้ และรังสีบีตามีประจุไฟฟ้า จึงเบนในสนามแม่เหล็ก

7. เมื่อนิวเคลียสมีการสลายและให้อนุภาคหรือรังสีต่อไปนี้ จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร

- ก. อนุภาคแอลฟา
- ข. อนุภาคบีตา
- ค. รังสีแกมมา

แนวคำตอบ ก. นิวเคลียสที่สลายให้อนุภาคแอลฟา จะมีเลขมวลลดลง 4 และเลขอะตอมลดลง 2
 ข. นิวเคลียสที่สลายให้อนุภาคบีตา จะมีเลขมวลเท่าเดิม แต่เลขอะตอมเพิ่มขึ้น 1
 ค. นิวเคลียสที่สลายให้รังสีแกมมา จะมีเลขมวลและเลขอะตอมเท่าเดิม แต่มีระดับพลังงานลดลง

8. สำหรับการแผ่รังสีของอนุภาคมันตรังสี ข้อความต่อไปนี้ ข้อใดถูกต้อง

- ก. อนุภาคมันตรังสีเมื่อแผ่รังสีและกลายเป็นอนุภาคใหม่ อนุภาคใหม่นี้อาจเป็นอนุภาคมันตรังสีหรือเป็นอนุภาคเสถียรก็ได้
- ข. อนุภาคมันตรังสีมีการแผ่รังสีแอลฟา รังสีบีตา และแกมมา ออกมาพร้อมกัน
- ค. รังสีที่แผ่ออกมาจากอนุภาคมันตรังสีทุกชนิดจะเบี่ยงเบนในสนามแม่เหล็ก
- ง. อนุภาคที่เกิดภายหลังการแผ่รังสีจะมีเลขอะตอมลดลง

แนวคำตอบ

- ข้อ ก. ถูกต้อง
- ข้อ ข. ไม่ถูกต้อง เพราะอนุภาคมันตรังสี หลายอนุภาคสามารถสลายได้หลายทาง โดยอาจสลายให้รังสีชนิดเดียว หรือ อาจสลายให้รังสี 2 ชนิดพร้อมกัน
- ข้อ ค. ไม่ถูกต้อง รังสีที่แผ่ออกมาจากอนุภาคมันตรังสีไม่เบี่ยงเบนในสนามแม่เหล็ก เช่น รังสีแกมมา
- ข้อ ง. ไม่ถูกต้อง เพราะอนุภาคที่เกิดภายหลังการแผ่รังสีบางชนิด มีเลขอะตอมเพิ่มขึ้น เช่น อนุภาคที่เกิดภายหลังการแผ่รังสีบีตา

9. นิวเคลียส $^{216}_{84}\text{Po}$ สลายเป็น $^{212}_{82}\text{Pb}$ และ นิวเคลียส $^{198}_{79}\text{Au}$ สลายเป็น $^{198}_{80}\text{Hg}$

ก. ในการสลายของแต่ละนิวเคลียสมี้อนุภาคใดถูกปล่อยออกมา

ข. จงเขียนสมการการสลายของนิวเคลียสแต่ละนิวเคลียส

แนวคำตอบ ก. ในการสลายของ $^{216}_{84}\text{Po}$ มีการปล่อยอนุภาคแอลฟาออกมา เนื่องจากเลขมวลของ $^{212}_{82}\text{Pb}$ น้อยกว่าเลขมวลของ $^{216}_{84}\text{Po}$ อยู่ 4 ส่วนในการสลายของนิวเคลียส $^{198}_{79}\text{Au}$ มีการปล่อยอนุภาคบีตาออกมา เนื่องจากเลขอะตอมของ $^{198}_{80}\text{Hg}$ มากกว่าเลขอะตอมของ $^{198}_{79}\text{Au}$ อยู่ 1



10. โรงพยาบาลต่าง ๆ ใช้โคบอลต์ -60 ($^{60}_{27}\text{Co}$) ในการฉายรังสีรักษามะเร็ง เมื่อโคบอลต์-60 แผ่รังสีแล้วจะกลายเป็นนิกเกิล -60 ($^{60}_{28}\text{Ni}$) ซึ่งจะแผ่รังสีแกมมาต่อไปอีก

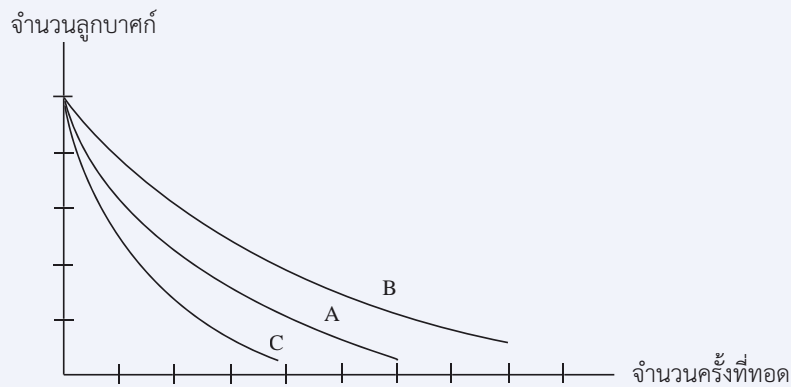
ก. จงเขียนสมการนิวเคลียร์แสดงการสลายของโคบอลต์ -60 ไปเป็นนิกเกิล -60

ข. รังสีที่ได้จากการแผ่รังสีของโคบอลต์ -60 คือรังสีใด และมีสมบัติอย่างไร



ข. รังสีที่ได้จากการแผ่รังสีของโคบอลต์ -60 คือรังสีบีตา มีประจุไฟฟ้า $-1e$ มีอำนาจทะลุผ่านแผ่นกระดาษบาง ๆ ได้ แต่ทะลุผ่านแผ่นโลหะบางไม่ได้ นอกจากนี้ยังสามารถทำให้อากาศแตกตัวเป็นไอออนได้อีกด้วย

11. ในกิจกรรมจำลองการสลายของนิวเคลียสกัมมันตรังสีด้วยการทอดลูกบาศก์ โดยใช้ลูกบาศก์ 6 หน้าแต้มสีไว้ 2 หน้า เมื่อเขียนกราฟระหว่างจำนวนลูกบาศก์ที่เหลือกับจำนวนครั้งที่ทอดจะได้กราฟ A ถ้าลูกบาศก์นั้นแต้มสีไว้เพียงหน้าเดียว กราฟที่ได้จะเป็นกราฟ B หรือ C จงอธิบาย



รูป ประกอบคำถามข้อ 11

แนวคำตอบ กราฟ B เพราะโอกาสที่ลูกบาศก์จะหงายหน้าแต้มสีน้อยลง การลดลงของ จำนวนลูกบาศก์ที่เหลืออยู่จึงลดลงในอัตราที่ช้ากว่าในกรณีที่แต้มสีไว้ 2 หน้า

12. ถ้าเปรียบเทียบให้ลูกบาศก์ 6 หน้าเป็นนิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสี และการหงายหน้าแต้มสีเปรียบได้กับการสลายของนิวเคลียส จงตอบคำถามต่อไปนี้

ก. ครึ่งชีวิตของธาตุกัมมันตรังสีเปรียบได้กับปริมาณใดในการทอดลูกบาศก์

ข. ถ้าลูกบาศก์ชุดหนึ่งมีการแต้มสี 2 หน้า ส่วนอีกชุดมีการแต้มสี 3 หน้า ลูกบาศก์ชุดใด มีครึ่งชีวิตมากกว่า เพราะเหตุใด

แนวคำตอบ ก. ครึ่งชีวิตของธาตุกัมมันตรังสีเปรียบได้กับจำนวนครั้งที่ทอดลูกบาศก์แล้วทำให้เหลือลูกบาศก์อยู่จำนวนครึ่งหนึ่งของจำนวนเริ่มต้น

ข. ลูกบาศก์ชุดที่มีการแต้มสี 2 หน้า มีครึ่งชีวิตมากกว่าลูกบาศก์ชุดที่มีการแต้มสี 3 หน้า เพราะลูกบาศก์ชุดที่มีการแต้มสี 2 หน้ามีโอกาสที่จะสลายน้อยกว่าลูกบาศก์ชุดที่มีการแต้มสี 3 หน้า อัตราการสลายจึงช้ากว่า ทำให้เวลาที่ใช้ในการลดลงเหลือครึ่งหนึ่งของจำนวนเริ่มต้นมากกว่า

13. ถ้าเปรียบเทียบให้เหรียญ 1 บาทเป็นนิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสี และการหงายด้านก้อยเปรียบได้กับการสลาย ให้ตอบคำถามต่อไปนี้

ก. ค่าคงตัวการสลายหาได้จากปริมาณใด

ข. ค่าคงตัวการสลาย มีค่าเท่าใด

แนวคำตอบ ก. ค่าคงตัวการสลายหาได้จากโอกาสที่เหรียญจะหงายด้านก้อยเมื่อโยนเหรียญ ซึ่งเท่ากับจำนวนหน้าที่หงายด้านก้อยหารด้วยจำนวนหน้าทั้งหมดของเหรียญ

ข. ค่าคงตัวการสลาย มีค่า $1/2$ หรือ 0.5

14. กัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสี มีความสัมพันธ์กับครึ่งชีวิตอย่างไร

แนวคำตอบ ยิ่งธาตุกัมมันตรังสีมีกัมมันตภาพมาก ยิ่งมีครึ่งชีวิตสั้น เนื่องจาก การมีกัมมันตภาพมากแสดงว่ามีอัตราการแผ่รังสีมาก ดังนั้น จึงใช้เวลาในการแผ่รังสีจนลดลงเหลือครึ่งหนึ่งของปริมาณเดิมได้เร็ว

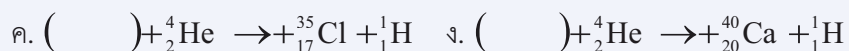
15. ระบุปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการแผ่รังสีของธาตุกัมมันตรังสีชนิดใดชนิดหนึ่ง

แนวคำตอบ ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการแผ่รังสีของธาตุกัมมันตรังสีชนิดใดชนิดหนึ่งคือ ค่าคงตัวการสลายและจำนวนนิวเคลียสที่มีอยู่ในขณะนั้น

16. จงอธิบายความแตกต่างระหว่างฟิชชันกับฟิวชัน

แนวคำตอบ ฟิชชันเป็นการแยกออกจากกันของนิวเคลียสของธาตุหนัก ส่วนฟิวชันเป็นการรวมกันของนิวเคลียสของธาตุเบา ทั้งนี้ ฟิชชันต้องได้รับการกระตุ้นจากอนุภาคอื่น ๆ และสามารถเกิดขึ้นได้ในสภาวะอุณหภูมิต่ำและความดันปกติ ส่วนฟิวชันไม่ต้องอาศัยอนุภาคอื่นมากระตุ้น แต่ต้องอาศัยสภาวะที่มีอุณหภูมิและความดันสูงมาก

17. จงเติมสัญลักษณ์นิวเคลียร์ของธาตุ ไอโซโทปของธาตุ หรืออนุภาคที่เหมาะสมลงในวงเล็บ เพื่อให้ปฏิกิริยานิวเคลียร์สมดุล



18. พลังงานนิวเคลียร์ต่อมวลที่ได้จากฟิวชันระหว่างดิวเทรอนกับทริทอนแตกต่างจากพลังงานนิวเคลียร์ต่อมวลที่ได้จากฟิชชันของยูเรเนียม-235 อย่างไร

แนวคำตอบ พลังงานนิวเคลียร์ต่อมวลที่ได้จากฟิวชันระหว่างดิวเทรอนกับทริทอน มีค่ามากกว่าพลังงานนิวเคลียร์ต่อมวลที่ได้จากฟิชชันของยูเรเนียม-235 ประมาณ 4 เท่า

19. เหตุใด การทำให้เกิดฟิวชันขึ้นบนโลก จึงยากกว่า ฟิชชัน

แนวคำตอบ เพราะการทำให้เกิดฟิวชัน ต้องสร้างสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงหลายล้านองศาเซลเซียส หรือมีความดันมหาศาลมากกว่าความดันบรรยากาศหลายล้านเท่า จึงสามารถทำให้นิวเคลียสของธาตุเบาเคลื่อนที่เข้าหากันและรวมกันได้ ในขณะที่ การทำให้เกิดฟิชชัน สามารถทำได้ในสภาวะอุณหภูมิต่ำและความดันปกติ

20. ถ้ามนุษย์สามารถควบคุมพลังงานนิวเคลียร์จากฟิวชันให้เปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าในรูปแบบที่ใช้ประโยชน์ได้ จะช่วยแก้ปัญหาด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมได้อย่างไร

แนวคำตอบ เนื่องจากการสร้างฟิวชัน ใช้วัตถุดิบที่ได้จากส่วนประกอบของน้ำ ปัญหาการขาดแคลนแหล่งพลังงานจึงได้รับการแก้ไข อีกทั้ง ฟิวชันไม่มีการปล่อยแก๊สเรือนกระจก มลพิษ หรือกากกัมมันตรังสี จึงสามารถช่วยแก้ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมจากการผลิตไฟฟ้าด้วยเชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์ได้

21. อาหารที่ผ่านการฉายรังสี มีอันตรายหรือไม่ อธิบาย

แนวคำตอบ อาหารที่ผ่านการฉายรังสีไม่มีอันตราย เพราะเมื่อรังสีตกกระทบอาหาร จะถ่ายโอนพลังงานให้กับโมเลกุลของอาหาร ไม่มีการตกค้างหรือปนเปื้อน เนื่องจากอาหารไม่มีการสัมผัสกับธาตุหรือไอโซโทปกัมมันตรังสี

22. รังสีที่มากเกินไป ทำให้เกิดความเสียหายทางชีวภาพกับร่างกายมนุษย์อย่างไร

แนวคำตอบ รังสีที่มากเกินไป สามารถไปทำลายโครงสร้างโมเลกุลของดีเอ็นเอในร่างกาย ซึ่งส่งผลให้ดีเอ็นเอผิดปกติหรืออาจทำให้เซลล์ตายได้

23. ไอโซโทปกัมมันตรังสีที่ฉีดเข้าไปในร่างกายเพื่อการตรวจวินิจฉัยของแพทย์ ควรสมบัติที่สำคัญอย่างไร ระบุมา 2 ข้อ

แนวคำตอบ ไอโซโทปกัมมันตรังสีที่ฉีดเข้าไปในร่างกาย ควรสมบัติดังนี้

1. มีอัตราการแผ่รังสีน้อย ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อร่างกาย
2. มีครึ่งชีวิตที่สั้นไม่เกิน 2 – 3 วัน เพื่อที่จะสลายไปจนหมดภายในกึ่งวัน และไม่มีการตกค้างภายในร่างกาย

24. จงบอกแนวทางป้องกันอันตรายจากรังสีอย่างน้อย 3 แนวทาง

แนวคำตอบ

1. เมื่อจำเป็นต้องอยู่ในบริเวณที่มีแหล่งกำเนิดรังสี ให้ใช้เวลาให้สั้นที่สุด
2. เมื่อทราบว่า มีแหล่งกำเนิดรังสีในบริเวณใกล้เคียง ให้พยายามอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดรังสีให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้
3. ถ้าจำเป็นต้องอยู่ใกล้แหล่งกำเนิดรังสีเป็นเวลานาน ควรใช้วัสดุที่รังสีทะลุผ่านได้ยากมาเป็นอุปกรณ์กำบังรังสี

25. สัญลักษณ์เตือนภัยจากรังสีทั้งสองดังรูป มีความหมายแตกต่างกันอย่างไร



รูป ประกอบคำถามข้อ 25

แนวคำตอบ รูปด้านซ้ายมือ แจ้งให้ผู้พบเห็นทราบว่า มีแหล่งกำเนิดรังสีหรือรังสีในบริเวณนั้น
ควรระมัดระวังปฏิบัติตามแนวทางป้องกันรังสี ส่วนรูปด้านขวามือ แจ้งให้ผู้พบเห็นทราบว่า มี
แหล่งกำเนิดรังสีที่เป็นอันตรายสูงอยู่ในบริเวณนั้น ควรรีบออกห่างทันที

26. ให้อธิบายถึงความจำเป็นที่ต้องใช้เครื่องเร่งอนุภาคในการศึกษาอนุภาคมูลฐาน โดยใช้แนวคิดทวิภาวะ
ของคลื่นและอนุภาคของเดอบรอยล์

แนวคำตอบ การที่อนุภาคได้รับการเร่งให้มีความเร็วสูง จะทำให้อนุภาคมีโมเมนตัมสูง และจาก
สมการความยาวคลื่นเดอบรอยล์ $\lambda = \frac{h}{p}$ อนุภาคที่มีโมเมนตัมสูงจะมีความยาวคลื่นสั้นมาก
จึงทำให้สามารถใช้ศึกษาองค์ประกอบที่เล็กมากยิ่งขึ้น ๆ ขึ้นได้

27. อนุภาคใดต่อไปนี้ เป็นอนุภาคมูลฐาน

ก. บีตาแลบ ข. ดิวเทรอน ค. โปรตอน ง. เลปตอน จ. มีซอน ฉ. ดับเบิลยูโบซอน

แนวคำตอบ ก. และ ฉ. เป็นอนุภาคมูลฐาน ส่วน ง. เป็นชื่อของกลุ่มอนุภาคมูลฐาน

28. แรงแม่เหล็กเป็นแรงพื้นฐานหรือไม่ จงอธิบาย

แนวคำตอบ แรงแม่เหล็กไม่เป็นแรงพื้นฐาน เนื่องจากแรงแม่เหล็กเป็นแรงระหว่างนิวคลีออน
ในนิวเคลียส ซึ่งไม่ใช่อนุภาคมูลฐาน แรงแม่เหล็กเป็นผลข้างเคียงที่เกิดจากแรงเข้มระหว่าง
ควาร์กภายในนิวคลีออน

29. ในแบบจำลองมาตรฐาน อันตรกิริยาระหว่างอนุภาคมูลฐานเกิดขึ้นได้อย่างไร

แนวคำตอบ อันตรกิริยาระหว่างอนุภาคมูลฐานเกิดจากการแลกเปลี่ยนอนุภาคสื่อแรง

30. อันตรกิริยาต่อไปนี้เกี่ยวข้องกับอนุภาคสื่อแรงชนิดใด

ก. การยึดเหนี่ยวกันของควาร์กในโปรตอน

ข. การที่ควาร์กเปลี่ยนชนิดในการสลายให้บีตาแลบ

ค. การผลักรันระหว่างอนุภาคแอลฟา กับนิวเคลียส

ง. การยึดเหนี่ยวกันระหว่างนิวคลีออนในนิวเคลียส

แนวคำตอบ ก. กลูออน

ข. ดับเบิลยูโบซอนลบ

ค. โฟตอน

ง. มีซอน

31. การรักษามะเร็งด้วยวิธีการบำบัดด้วยโปรตอน มีข้อดีอย่างไร ให้ระบุนมา 2 ข้อ

แนวคำตอบ การรักษามะเร็งด้วยวิธีการบำบัดด้วยโปรตอนทำให้น้ำเนื้อเยื่อบริเวณใกล้เคียงได้รับผลข้างเคียงน้อยกว่า และเนื้อเยื่อส่วนที่ได้รับรังสีมีปริมาณน้อยกว่า การรักษาด้วยรังสีเอกซ์

32. ยกตัวอย่าง ประโยชน์ที่ได้จากการค้นคว้าวิจัยด้านฟิสิกส์อนุภาคในด้านอุตสาหกรรมและด้านความปลอดภัยมาอย่างน้อยด้านละ 1 ตัวอย่าง

แนวคำตอบ ด้านอุตสาหกรรม เช่น การผลิตชิปในคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นแต่ราคาต่ำลง ส่วนด้านความปลอดภัย เช่น การตรวจวัตถุอันตรายด้วยรังสีเอกซ์ที่กำเนิดมาจากการเร่งอนุภาค

Ⓢ | ปัญหา

กำหนดให้

- มวล 1 u เท่ากับ 1.66×10^{-27} กิโลกรัม
- มวล 1 u เทียบเท่ากับพลังงาน 931.5 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์
- พลังงาน 1 อิเล็กตรอนโวลต์ เท่ากับ 1.6×10^{-19} จูล
- มวลอะตอมของไฮโดรเจนเท่ากับ 1.007825 u
- มวลของโปรตอนเท่ากับ 1.007276 u
- มวลของนิวตรอนเท่ากับ 1.008665 u
- มวลของอิเล็กตรอนเท่ากับ 0.000549 u
- กำหนด 1 ปี เท่ากับ 3.15×10^7 วินาที
- ค่าคงตัวอวอกาโดร N_A มีค่าเท่ากับ 6.023×10^{23} อะตอมต่อโมล
- กัมมันตภาพ 1 คูรีเท่ากับ 3.7×10^{10} เบ็กเคอเรล

1. จงคำนวณส่วนพร่องมวล พลังงานยึดเหนี่ยว และ พลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออน ของนิวเคลียสของธาตุและไอโซโทปต่อไปนี้

- ก. ลิเทียม-7 (${}^7_3\text{Li}$) มวลอะตอมเท่ากับ 7.016005 u
- ข. โพแทสเซียม-39 (${}^{39}_{19}\text{K}$) มวลอะตอมเท่ากับ 38.963710 u
- ค. แคดเมียม-114 (${}^{114}_{48}\text{Cd}$) มวลอะตอมเท่ากับ 113.903361 u

วิธีทำ ก. อะตอมของ ${}^7_3\text{Li}$ ประกอบด้วยโปรตอน 3 โปรตอน อิเล็กตรอน 3 อิเล็กตรอน และ นิวตรอน 4 นิวตรอน

หาส่วนพร่องมวลจากสมการ

$$\Delta m = [Zm_p + (A - Z)m_n + Zm_e] - m_{\text{Li-7}}$$

แทนค่า จะได้

$$\begin{aligned}\Delta m &= [3(1.007276 \text{ u}) + 4(1.008665 \text{ u}) + 3(0.000549 \text{ u}) - 7.016005 \text{ u}] \\ &= 0.042130 \text{ u}\end{aligned}$$

หาพลังงานยึดเหนี่ยวที่เทียบเท่ากับส่วนพร่องมวล

$$\begin{aligned}E &= (0.04213 \text{ u})(931.5 \text{ MeV/u}) \\ &= 39.244095 \text{ MeV}\end{aligned}$$

นิวเคลียสของลิเทียมมีนิวคลีออน (A) เท่ากับ 7

ดังนั้นพลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออนเท่ากับ

$$\begin{aligned}\frac{E}{A} &= \frac{39.244095 \text{ MeV}}{7 \text{ nucleons}} \\ &= 5.606299 \text{ MeV/nucleons}\end{aligned}$$

ข. อะตอมของ ${}^{39}_{19}\text{K}$ ประกอบด้วยโปรตอน 19 โปรตอน อิเล็กตรอน 19 อิเล็กตรอน และ นิวตรอน 20 นิวตรอน

หาส่วนพร่องมวลจากสมการ

$$\Delta m = [Zm_p + (A - Z)m_n + Zm_e] - m_{\text{K-39}}$$

แทนค่า จะได้

$$\begin{aligned}\Delta m &= [19(1.007276 \text{ u}) + 20(1.008665 \text{ u}) + 19(0.000549 \text{ u}) - 38.963710 \text{ u}] \\ &= 0.347834 \text{ u}\end{aligned}$$

หาพลังงานยึดเหนี่ยวที่เทียบเท่าส่วนพร่องมวล

$$\begin{aligned}E &= (0.347834 \text{ u})(931.5 \text{ MeV/u}) \\ &= 324.0074 \text{ MeV}\end{aligned}$$

นิวเคลียสของโพแทสเซียมมีนิวคลีออน (A) เท่ากับ 39

ดังนั้นพลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออนเท่ากับ

$$\begin{aligned}\frac{E}{A} &= \frac{324.0074 \text{ MeV}}{39 \text{ nucleons}} \\ &= 8.308 \text{ MeV/nucleons}\end{aligned}$$

ค. อะตอมของ $^{114}_{48}\text{Cd}$ ประกอบด้วยโปรตอน 48 โปรตอน อิเล็กตรอน 48 อิเล็กตรอน และนิวตรอน 66 นิวตรอน

หาส่วนพร่องมวลจากสมการ

$$\Delta m = [Zm_p + (A - Z)m_n + Zm_e] - m_{\text{Cd-114}}$$

แทนค่า จะได้

$$\begin{aligned}\Delta m &= [48(1.007276 \text{ u}) + 66(1.008665 \text{ u}) + 48(0.000549 \text{ u}) - 113.903361 \text{ u}] \\ &= 114.947490 \text{ u} - 113.903361 \text{ u} \\ &= 1.044129 \text{ u}\end{aligned}$$

หาพลังงานยึดเหนี่ยวที่เทียบเท่าส่วนพร่องมวล

$$\begin{aligned}E &= (1.044129 \text{ u})(931.5 \text{ MeV/u}) \\ &= 972.606635 \text{ MeV}\end{aligned}$$

นิวเคลียสของแคดเมียมมีนิวคลีออน (A) เท่ากับ 114

ดังนั้นพลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออนเท่ากับ

$$\begin{aligned}\frac{E}{A} &= \frac{972.6061635 \text{ MeV}}{114 \text{ nucleon}} \\ &= 8.53 \text{ MeV/nucleons}\end{aligned}$$

ตอบ ก. ลิเทียม-7 มีส่วนพร่องมวล 0.042130 u มีพลังงานยึดเหนี่ยว 39.24 MeV และ พลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออน 5.606 MeV ต่อนิวคลีออน

ข. โปแทสเซียม-39 มีส่วนพร่องมวล 0.347834 u พลังงานยึดเหนี่ยว 324.0 MeV และ พลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออน 8.308 MeV ต่อนิวคลีออน

ค. แคดเมียม-114 มีส่วนพร่องมวล 1.044129 u พลังงานยึดเหนี่ยว 972.6 MeV และ พลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออน 8.53 MeV ต่อนิวคลีออน

2. นิวเคลียสของนิกเกิล-60 ($^{60}_{28}\text{Ni}$) มีพลังงานยึดเหนี่ยว 526.80 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ จงหามวลอะตอมนิกเกิล-60

วิธีทำ ถ้า E_B เป็นพลังงานยึดเหนี่ยวของ $^{60}_{28}\text{Ni}$ และ Δm เป็นส่วนพร่องมวล จะได้

$$E_B = \Delta m (931.5 \text{ MeV/u})$$

$$\begin{aligned}\text{ดังนั้น} \quad \Delta m &= \frac{526.80 \text{ MeV}}{931.5 \text{ MeV/u}} \\ &= 0.565539 \text{ u}\end{aligned}$$

ถ้า M เป็นมวลอะตอมของ $^{60}_{28}\text{Ni}$ จะได้

$$\begin{aligned}\Delta m &= \text{มวลขององค์ประกอบของอะตอม } {}^{60}_{28}\text{Ni} - M \\ 0.565539 \text{ u} &= 28(1.044129 \text{ u}) + (60 - 28)(1.008665 \text{ u}) + 28(0.0005498 \text{ u}) - M \\ M &= 28.203728 \text{ u} + 32.27728 \text{ u} + 0.015372 \text{ u} - 0.565539 \text{ u} \\ &= 59.930841 \text{ u}\end{aligned}$$

ตอบ มวลอะตอม ${}^{60}_{28}\text{Ni}$ เท่ากับ 59.930841 u

3. พลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออนของนิวเคลียสแมกนีเซียม-24 (${}^{24}_{12}\text{Mg}$) เท่ากับ 8.26 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ต่อนิวคลีออน จงหาส่วนพร่องมวลของนิวเคลียสแมกนีเซียม-24

วิธีทำ นิวเคลียสของแมกนีเซียม-24 มีนิวคลีออน (A) เท่ากับ 24

ดังนั้น นิวเคลียสของแมกนีเซียม-24 มีพลังงานยึดเหนี่ยวเท่ากับ

$$\begin{aligned}E &= (8.26 \text{ MeV/nucleon})(24) \\ &= 198.24 \text{ MeV}\end{aligned}$$

หาพลังงานยึดเหนี่ยวที่เทียบเท่าส่วนพร่องมวลจากสมการ

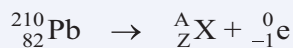
$$E = (\Delta m)(931.5 \text{ MeV/u})$$

จัดรูปใหม่ และแทนค่า จะได้

$$\begin{aligned}\Delta m &= \frac{198.24 \text{ MeV}}{931.5 \text{ MeV/u}} \\ &= 0.212828 \text{ u}\end{aligned}$$

ตอบ ส่วนพร่องมวลของนิวเคลียสแมกนีเซียม-24 เท่ากับ 0.213 u

4. สมการต่อไปนี้แสดงการสลายของตะกั่ว-210



ก. A และ Z มีค่าเท่าใด

ข. X เป็นนิวเคลียสของธาตุใด

วิธีทำ ก. จากสมการ ${}^{210}_{82}\text{Pb} \rightarrow {}^A_Z\text{X} + {}^0_{-1}\text{e}$

เนื่องจากผลรวมของเลขมวลก่อนปฏิกิริยาและหลังปฏิกิริยาเท่ากัน

$$\text{ดังนั้น } 210 = A + 0$$

$$A = 210$$

และผลรวมของเลขอะตอมก่อนปฏิกิริยาและหลังปฏิกิริยาเท่ากัน

$$\text{ดังนั้น } 82 = Z - 1$$

$$Z = 83$$

ข. จากตารางธาตุ X เป็นนิวเคลียสของธาตุบิสมัท ${}_{83}^{210}\text{Bi}$

X เป็นนิวเคลียสของธาตุบิสมัท

ตอบ ก. A เท่ากับ 210 และ Z เท่ากับ 83

ข. X เป็นนิวเคลียสของธาตุบิสมัท

5. ในการสลายของนิวเคลียสยูเรเนียม-238 (${}_{92}^{238}\text{U}$) ได้นิวเคลียสสุดท้ายที่เสถียรคือ นิวเคลียสของตะกั่ว ซึ่งการสลายของนิวเคลียสยูเรเนียม-238 นี้จะได้อนุภาคแอลฟา 8 อนุภาคและอนุภาคบีตา 6 จงหาเลขอะตอมและเลขมวลของนิวเคลียสตะกั่วที่ได้จากการสลายของนิวเคลียสยูเรเนียม-238

วิธีทำ ถ้านิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสีสลายให้แอลฟา (${}^4_2\text{He}$) จะทำให้นิวเคลียสนั้นมีเลขอะตอมลดลง 2 ส่วนเลขมวลลดลง 4 ส่วนนิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสีที่สลายให้บีตา (${}^0_{-1}\text{e}$) จะทำให้นิวเคลียสนั้นมีเลขอะตอมเพิ่มขึ้น 1 ส่วนเลขมวลคงเดิม ดังนั้นนิวเคลียสยูเรเนียม-238 สลายให้อนุภาคแอลฟา 8 อนุภาค และอนุภาคบีตา 6 อนุภาค แล้วได้นิวเคลียสเสถียรคือตะกั่วให้ Z และ A เป็นเลขอะตอมและเลขมวลของตะกั่วตามลำดับ จะได้

$$\begin{aligned} Z &= 92 - (8 \times 2) + 6 \\ &= 82 \end{aligned}$$

เลขอะตอมของตะกั่วเท่ากับ 82

$$\begin{aligned} A &= 238 - (8 \times 4) + 0 \\ &= 206 \end{aligned}$$

เลขมวลของตะกั่วเท่ากับ 206

สัญลักษณ์ของนิวเคลียสสุดท้ายก็คือ

ตอบ เลขอะตอมและเลขมวลของตะกั่วเท่ากับ 82 และ 206 ตามลำดับ

6. ในอนุกรมการสลายของยูเรเนียม-238 (${}_{92}^{238}\text{U}$) มีทั้งการสลายให้แอลฟา บีตาและแกมมา จนได้ธาตุสุดท้ายเป็นตะกั่ว-206 (${}_{82}^{206}\text{Pb}$) ถ้าในอนุกรมการสลาย พบว่ามีการปล่อยอนุภาคแอลฟาออกมา 8 อนุภาค การสลายนี้จะมีอนุภาคบีตาออกมากี่อนุภาค

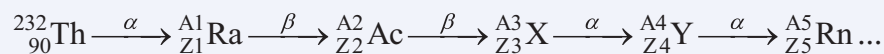
วิธีทำ ในการปล่อยอนุภาคแอลฟา 1 อนุภาค (${}^4_2\text{He}$) เลขมวล (A) หรือจำนวนนิวคลีออนจะลดลง 4 และเลขอะตอม (Z) หรือจำนวนโปรตอนจะลดลง 2 ส่วนการปล่อยอนุภาคบีตา 1 อนุภาค (${}^0_{-1}\text{e}$) จะมีเลขอะตอม (Z) หรือจำนวนโปรตอนเพิ่มขึ้น 1

ถ้าการสลายของยูเรเนียม-238 ตลอดอนุกรมมีการปล่อยอนุภาคแอลฟา 8 อนุภาค ซึ่งแต่ละครั้งจะมีจำนวนโปรตอนลดลง 2 โปรตอน

ดังนั้น จำนวนโปรตอนทั้งหมดที่ลดลง = $8 \times 2 = 16$ ตัว
 หลังจากยูเรเนียม-238 ปลดปล่อยอนุภาคแอลฟา 8 อนุภาค
 จะเหลือโปรตอน = $92 - 16 = 76$ อนุภาค
 แต่ธาตุสุดท้ายเป็นตะกั่ว-206 ($^{206}_{82}\text{Pb}$) ซึ่งมีจำนวนโปรตอน 82 อนุภาค
 แสดงว่าในการเปลี่ยนเป็นตะกั่ว-206 ต้องมีจำนวนโปรตอนเพิ่มขึ้น
 $82 - 76 = 6$ อนุภาค
 นั่นคือ ต้องมีการปลดปล่อยอนุภาคบีตา 6 อนุภาค
 ในอนุกรมการสลายนี้ จะมีการปลดปล่อยอนุภาคบีตา 6 อนุภาค

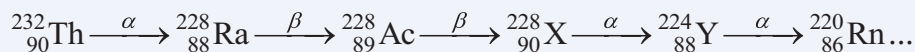
ตอบ การสลายนี้ จะมีการปลดปล่อยอนุภาคบีตาออกมา 6 อนุภาค

7. สมการการสลายต่อไปนี้ เป็นบางส่วนของอนุกรมการสลายของทอเรียม-232



จงหา ค่า A1 ถึง A5 และ Z1 ถึง Z5 พร้อมทั้งระบุว่า X และ Y เป็นนิวเคลียสของธาตุใด

วิธีทำ การสลายให้อนุภาคแอลฟา เลขอะตอมลดลง 2 และเลขมวลลดลง 4 ส่วนการสลายให้อนุภาคบีตา เลขอะตอมเพิ่มขึ้น 1 และเลขมวลไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นจากสมการการสลายข้างต้นจะได้



จากตารางธาตุ ธาตุที่มีเลขอะตอม 90 และ 88 คือทอเรียม (Th) และเรเดียม (Ra) ตามลำดับ
 ดังนั้น X คือ นิวเคลียสของธาตุทอเรียม และ Y คือ นิวเคลียสของธาตุเรเดียม

ตอบ A1 เท่ากับ 228 A2 เท่ากับ 228 A3 เท่ากับ 228

A4 เท่ากับ 224 A5 เท่ากับ 220

Z1 เท่ากับ 88 Z2 เท่ากับ 89 Z3 เท่ากับ 90

Z4 เท่ากับ 88 Z5 เท่ากับ 86

X เป็นนิวเคลียสของธาตุทอเรียม และ Y เป็นนิวเคลียสของธาตุเรเดียม

8. ในการทดลองอุปมาอุปไมยการทอดลูกบาศก์กับการสลายของนิวเคลียสกัมมันตรังสี ถ้าลูกบาศก์มี 20 หน้า และมีหน้าที่แต้มสีไว้ 3 หน้า

ก. จงหาโอกาสที่ลูกบาศก์จะหงายหน้าที่แต้มสีไว้

ข. ถ้าใช้ลูกบาศก์เดียวกันนี้จำนวน 200 ลูกมาทดลอง แล้วคัดลูกบาศก์ที่หงายหน้าแต้มสีออก จงหาจำนวนครั้งของการทอดที่ทำให้ลูกบาศก์เหลือประมาณ 50 ลูก

วิธีทำ ก. โอกาสที่ลูกบาศก์จะหงายหน้าที่แต้มสี่หาได้จากอัตราส่วนระหว่างจำนวนหน้าที่แต้มสี่กับจำนวนหน้าทั้งหมดของลูกบาศก์ ดังนั้น โอกาสที่ลูกบาศก์จะหงายหน้าที่แต้มสี่เท่ากับ $\frac{3}{20}$

ข. ถ้าเดิมมีลูกบาศก์ N_0 ลูก

ทอดครั้งแรก ลูกบาศก์ที่ถูกคัดออกประมาณ $\frac{3}{20} N_0$

ทอดไป 1 ครั้ง เหลือลูกบาศก์ประมาณ $\frac{17}{20} N_0$

ทอดครั้งที่สอง ลูกบาศก์ที่ถูกคัดออกประมาณ $\left(\frac{3}{20}\right)\left(\frac{17}{20}\right) N_0$

ทอดไป 2 ครั้ง เหลือลูกบาศก์ประมาณ $\frac{17}{20} N_0 - \left(\frac{3}{20}\right)\left(\frac{17}{20}\right) N_0 = \left(\frac{17}{20}\right)^2 N_0$

ดังนั้น ทอดไป t ครั้ง เหลือลูกบาศก์ประมาณ $N = \left(\frac{17}{20}\right)^t N_0$ (a)

หาจำนวนครั้งของการทอดที่ทำให้ลูกบาศก์เหลือประมาณ 50 ลูก

$$\text{ซึ่ง } 50 = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times 200$$

จะเห็นว่า ถ้าให้ $T_{1/2}$ เป็นจำนวนครั้งที่ทอดแล้วทำให้เหลือลูกบาศก์ประมาณครึ่งหนึ่งของจำนวนที่เริ่มทอด หรือ $\frac{N_0}{2}$

การทอดลูกบาศก์เป็นจำนวน $2T_{1/2}$ ครั้ง โดยที่เริ่มต้นมีลูกบาศก์ 200 ลูก จะทำให้เหลือลูกบาศก์ประมาณ $\left(\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}\right) \times 200 = 50$ ลูก

หา $T_{1/2}$ โดยใช้สมการ (a)

ถ้าทอดไป $T_{1/2}$ ครั้ง ทำให้เหลือลูกบาศก์ประมาณครึ่งหนึ่งของจำนวนที่เริ่มทอด $\frac{N_0}{2}$ แทนลงในสมการ (a) จะได้

$$\begin{aligned} \frac{N_0}{2} &= \left(\frac{17}{20}\right)^{T_{1/2}} N_0 \\ \left(\frac{20}{17}\right)^{T_{1/2}} &= 2 \\ T_{1/2} \log\left(\frac{20}{17}\right) &= \log 2 \\ T_{1/2} &= \frac{\log 2}{\log 20 - \log 17} \\ T_{1/2} &= 4.265 \end{aligned}$$

ดังนั้น จำนวนครั้งที่ทอดที่ทำให้ลูกบาศก์เหลือประมาณ 50 ลูก

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

$$= 2(4.265) = 8.5 \text{ ครั้ง}$$

ตอบ ก. โอกาสที่ลูกบาศก์หงายหน้าที่แต้มสีไว้นั้นเท่ากับ $\frac{3}{20}$

ข. โดยเฉลี่ยต้องทอดลูกบาศก์ 9 ครั้ง จึงจะเหลือลูกบาศก์ประมาณ 50 ลูก

9. ในการทดลองหาครึ่งชีวิตของธาตุกัมมันตรังสี โดยใช้เครื่องนับไกเกอร์วัดกัมมันตภาพ ได้ผลการทดลองดังข้อมูลในตาราง

เวลาวัดจากเริ่มต้น (นาทิจ)	0	2	4	6	8	10	12
กัมมันตภาพที่วัดได้ (ต่อวินาที)	116	96	80	69	58	50	44

ครึ่งชีวิตของธาตุกัมมันตรังสีนี้มีค่าประมาณเท่าใด และเมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที จะตรวจวัดกัมมันตภาพได้ประมาณเท่าใด

วิธีทำ เริ่มต้นที่เวลา $t = 0$ s กัมมันตภาพ $A_0 = 116 \text{ s}^{-1}$

เมื่อเวลาผ่านไปเท่ากับครึ่งชีวิต $t = T_{1/2}$ กัมมันตภาพจะลดลงเหลือครึ่งหนึ่งของกัมมันตภาพเริ่มต้น หรือ $A = \frac{A_0}{2}$ ซึ่งในที่นี้ $A = \frac{116 \text{ s}^{-1}}{2} = 58 \text{ s}^{-1}$

จากตาราง กัมมันตภาพที่วัดได้เหลือ 58 ต่อวินาที เมื่อเวลาผ่านไป 8 นาที

ดังนั้น ครึ่งชีวิตของธาตุกัมมันตรังสีนี้คือ 8 นาที

และเมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที หากกัมมันตภาพได้โดยพิจารณาได้ดังนี้

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \quad (\text{a})$$

หาค่าคงตัวการสลาย จากสมการ $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{8 \text{ min}} \quad (\text{b})$$

แทน $t = 20 \text{ min}$ และ λ จาก (b) ลงใน (a) จะได้

$$A = (116 \text{ s}^{-1}) \left(e^{-\left(\frac{\ln 2}{8 \text{ min}}\right)(20 \text{ min})} \right)$$

$$= (116 \text{ s}^{-1}) (e^{-0.693(2.5)})$$

$$= (116 \text{ s}^{-1}) (e^{-1.7325})$$

$$= (116 \text{ s}^{-1}) (0.176842)$$

$$= 20.5136 \text{ s}^{-1}$$

ตอบ ครึ่งชีวิตของธาตุกัมมันตรังสีนี้คือ 8 วินาที และเมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที จะตรวจวัดกัมมันตภาพได้ประมาณ 20.5 ต่อวินาที

10. นำลูกบาศก์ที่มีหน้า 10 หน้า โดยมีหน้าแต้มสี 2 หน้า จำนวน 60 ลูก มาทอดแล้วคัดลูกที่หงายหน้าแต้มสีออก จะต้องทอดลูกบาศก์ประมาณกี่ครั้งจึงเหลือลูกบาศก์ประมาณ $\frac{1}{4}$ ของจำนวนลูกบาศก์เริ่มต้น

วิธีทำ เนื่องจากลูกเหลี่ยมมี 10 หน้า แต่แต้มสีไว้เพียง 2 หน้า ดังนั้นโอกาสในการหงายหน้าที่แต้มสีเท่ากับ $\frac{2}{10}$ นั่นคือ ค่าคงตัวการสลาย $\lambda = 0.2$

$$\text{จากสมการ} \quad T_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda}$$

$$\text{จะได้} \quad T_{1/2} = \frac{0.693}{0.2} \\ = 3.5$$

จากความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนิวเคลียสที่เหลืออยู่ (N) กับจำนวนนิวเคลียสเริ่มต้น (N_0) เมื่อเวลาผ่านไป $t = nT_{1/2}$

$$N = \frac{N_0}{2^n}$$

เมื่อทอดลูกบาศก์จนเหลือลูกบาศก์ประมาณ $\frac{1}{4}$ จะได้

$$\frac{N_0}{4} = \frac{N_0}{2^n}$$

$$n = 2$$

$$\text{ดังนั้น} \quad t = nT_{1/2} \\ = 2(3.5) \\ = 7$$

จะต้องทอดลูกเหลี่ยมชนิด 10 หน้า 7 ครั้ง จึงเหลือลูกเหลี่ยม $\frac{1}{4}$ ของจำนวนลูกเหลี่ยมเริ่มต้น

ตอบ 7 ครั้ง

11. การฉายรังสีเพื่อรักษาโรคมะเร็งต้องใช้โคบอลต์-60 ($^{60}_{27}\text{Co}$) ที่มีกัมมันตภาพ 0.1 มิลลิคูรี จงหามวลของ โคบอลต์-60 กำหนดครึ่งชีวิตของโคบอลต์-60 เท่ากับ 5.26 ปี

วิธีทำ หาค่าคงตัวการสลายของโคบอลต์-60 จากสมการ $T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$
จัดรูปสมการ และแทนค่า $T_{1/2} = 5.26$ ปีจะได้

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \\ &= \frac{0.693}{5.26 \text{ year}} \\ &= \frac{0.693}{(5.26 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60) \text{ s}} \\ &= 4.2 \times 10^{-9} \text{ s}^{-1}\end{aligned}$$

โคบอลต์-60 มีกัมมันตภาพ A เท่ากับ $0.1 \text{ mCi} = 3.7 \times 10^6 \text{ Bq}$

จากสมการ $A = \lambda N$

ในที่นี้ $A = 3.7 \times 10^6 \text{ Bq}$, $\lambda = 4.2 \times 10^{-9} \text{ s}^{-1}$

แทนค่าจะได้ $3.7 \times 10^6 \text{ s}^{-1} = (4.2 \times 10^{-9} \text{ s}^{-1}) N$

$$N = 8.81 \times 10^{14}$$

จากค่าคงตัวอวาโวกาโดร $N = 6.023 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

ดังนั้นโคบอลต์-60 จำนวน 1 โมล หรือ 6.023×10^{23} อนุภาค มีมวล 60 กรัม

หรือ $60 \times 10^{-3} \text{ kg}$

นั่นคือ ถ้าโคบอลต์-60 จำนวน 8.81×10^{14} อนุภาค จะมีมวล (m) เท่ากับ

$$\begin{aligned}m &= \frac{(8.81 \times 10^{14})(60 \times 10^{-3} \text{ kg})}{6.023 \times 10^{23}} \\ &= 8.78 \times 10^{-11} \text{ kg} \\ &= 8.78 \times 10^{-8} \text{ g}\end{aligned}$$

ตอบ มวลของโคบอลต์-60 เท่ากับ 8.78×10^{-8} กรัม

12. เรดอน-222 ($^{222}_{86}\text{Rn}$) มีครึ่งชีวิต 3.82 วัน ถ้าเริ่มต้นมีเรดอน-222 ปริมาณ 1.0 มิลลิกรัม กัมมันตภาพของเรดอนมีค่าเท่าใด

วิธีทำ เรดอน-222 1 โมล มีมวล 222 กรัม และจำนวนอะตอม 6.023×10^{23}

ดังนั้น เรดอน-222 1 มิลลิกรัม จะมีจำนวนอะตอม

$$N = \frac{(6.023 \times 10^{23})(1 \times 10^{-6} \text{ kg})}{222 \times 10^{-3} \text{ kg}}$$

$$= 2.71 \times 10^{18}$$

หาค่าคงตัวการสลายจาก $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$

แทนค่า $T_{1/2} = 3.82$ วัน โดยแปลงให้อยู่ในหน่วยวินาทีจะได้

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$$

$$= \frac{0.693}{(3.82 \times 24 \times 60 \times 60) \text{ s}}$$

จากสมการ $A = \lambda N$

แทนค่า $N = 2.71 \times 10^{18}$ และ λ ข้างต้น จะได้

$$A = \frac{0.693}{(3.82 \times 24 \times 60 \times 60) \text{ s}} (2.71 \times 10^{18})$$

$$= 5.69 \times 10^{12} \text{ s}^{-1}$$

$$= 5.69 \times 10^{12} \text{ Bq}$$

ตอบ กัมมันตภาพของเรดอนมีค่า 5.7×10^{12} เบ็กเคอเรล

13. ธาตุกัมมันตรังสีปริมาณหนึ่ง เมื่อทิ้งไว้ 6 ชั่วโมง พบว่าสลายไป $\frac{31}{32}$ เท่าของปริมาณเดิม จงหาครึ่งชีวิตของธาตุกัมมันตรังสีนี้

วิธีทำ หากครึ่งชีวิตของธาตุกัมมันตรังสีเมื่อเวลาผ่านไป t ใด ๆ จากสมการ $t = nT_{1/2}$

ให้ N_0 เป็นจำนวนนิวเคลียสกัมมันตรังสีในตอนเริ่มต้น

$$\Delta N \text{ เป็นนิวเคลียสกัมมันตรังสีที่สลาย } \Delta N = \frac{31}{32}(N_0)$$

N เป็นจำนวนนิวเคลียสเหลืออยู่ เมื่อเวลาผ่านไป t จะได้

$$N = N_0 - \Delta N$$

$$= N_0 - \frac{31}{32}(N_0)$$

$$N = \frac{1}{32}(N_0) \tag{a}$$

$$\begin{aligned}
 \text{จากสมการ} & N = \frac{N_0}{2^n} \\
 \text{แทนค่า } N \text{ จาก (a) จะได้} & \frac{1}{32}(N_0) = \frac{N_0}{2^n} \\
 & \frac{N_0}{2^5} = \frac{N_0}{2^n} \\
 \text{ดังนั้น} & n = 5 \\
 \text{จากสมการ} & t = nT_{1/2} \\
 \text{ในที่นี้ } t = 6 \text{ h, } n = 5 & \\
 \text{แทนค่า จะได้} & 6 = 5(T_{1/2}) \\
 & T_{1/2} = 1.2 \text{ h} \\
 & = (1.2 \text{ h})\left(\frac{60\text{min}}{1 \text{ h}}\right) \\
 & = 72 \text{ min}
 \end{aligned}$$

ตอบ ครึ่งชีวิตของสารกัมมันตรังสีเท่ากับ 72 นาที

14. ธาตุกัมมันตรังสี X มีจำนวนอะตอม 8×10^{13} อะตอม และมีครึ่งชีวิต 10 ปี สลายไปเป็นธาตุ Y ที่เสถียร หลังจากเริ่มสลายไปแล้ว 30 ปี ธาตุ X และ Y จะมีจำนวนอะตอมเป็นเท่าใด

วิธีทำ ครึ่งชีวิตของธาตุกัมมันตรังสี X คือ 10 ปี หรือ $T_{1/2} = 10$ ปี

เมื่อเวลาผ่านไป (t) 30 ปี ซึ่งเท่ากับ 3 เท่าของครึ่งชีวิตของธาตุ X
จะได้ $t = 3T_{1/2}$

หาจำนวนอะตอมที่เหลือเมื่อเวลาผ่านไป n เท่าของครึ่งชีวิตจากสมการ

$$N = \frac{N_0}{2^n}$$

แทนค่า $N = 8 \times 10^{13}$ อะตอม และ $n = 3$ จะได้

$$\begin{aligned}
 N &= \frac{8 \times 10^{13}}{2^3} \\
 &= 1 \times 10^{13} \text{ อะตอม}
 \end{aligned}$$

นั่นคือ ธาตุ X มีจำนวนอะตอมเหลือ 1×10^{13} อะตอม

ดังนั้น มีธาตุ Y เกิดขึ้นจำนวน $8 \times 10^{13} - 1 \times 10^{13} = 7 \times 10^{13}$

ตอบ หลังจากสลายไป 30 ปี มีธาตุกัมมันตรังสี X เหลือ 1×10^{13} อะตอม
มีธาตุ Y เกิดขึ้น 7×10^{13} อะตอม

15. ซีโนน-135 ($^{135}_{54}\text{Xe}$) เป็นธาตุกัมมันตรังสีซึ่งมีครึ่งชีวิต 9 ชั่วโมง เมื่อเวลาผ่านไป 10 ชั่วโมง จะเหลือจำนวนนิวเคลียสซีโนน-135 เท่าใดของจำนวนเริ่มต้น กำหนด $e^{-0.77}$ เท่ากับ 0.463

วิธีทำ ถ้า N_0 เป็นจำนวนนิวเคลียสซีโนน-135 ตอนเริ่มต้น และ N เป็นจำนวนนิวเคลียสซีโนน-135 หลังการสลาย

จากสมการการสลาย $N = N_0 e^{-\lambda t}$ จะได้

$$\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t} \quad (\text{a})$$

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

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

$$= \frac{0.693}{9\text{h}}$$

$$= 0.077\text{ h}^{-1}$$

และ $\lambda t = (0.077\text{ h}^{-1})(10\text{h})$

$$= 0.77$$

แทนค่า λt ในสมการ (a) จะได้

$$\frac{N}{N_0} = e^{-0.77}$$

$$N = 0.463$$

$$= 0.463 N_0$$

ตอบ จะเหลือจำนวนนิวเคลียสซีโนน-135 เท่ากับ 0.463 เท่าของจำนวนเริ่มต้น

16. ธาตุกัมมันตรังสีชนิดหนึ่งมีครึ่งชีวิต 10 ชั่วโมง เริ่มต้นมีจำนวนนิวเคลียส N_0 และเมื่อเวลาผ่านไป t นิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสีนี้จะสลายให้นิวเคลียสใหม่ ถ้า N เป็นจำนวนนิวเคลียสที่เหลือ

ก. จงหาอัตราส่วนระหว่าง $\frac{N}{N_0}$ เมื่อเวลาผ่านไป 0, 10, 20, 30 และ 40 ชั่วโมง

ข. จงเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{N}{N_0}$ กับ t เมื่อเวลาผ่านไปนาน 40 ชั่วโมง

ค. จากกราฟที่ได้ในข้อ ก. จงประมาณเวลาที่ทำให้ $\frac{N}{N_0} = 0.40$

วิธีทำ ก. เมื่อเวลา $t = 0$ ชั่วโมง $\frac{N}{N_0} = 1$

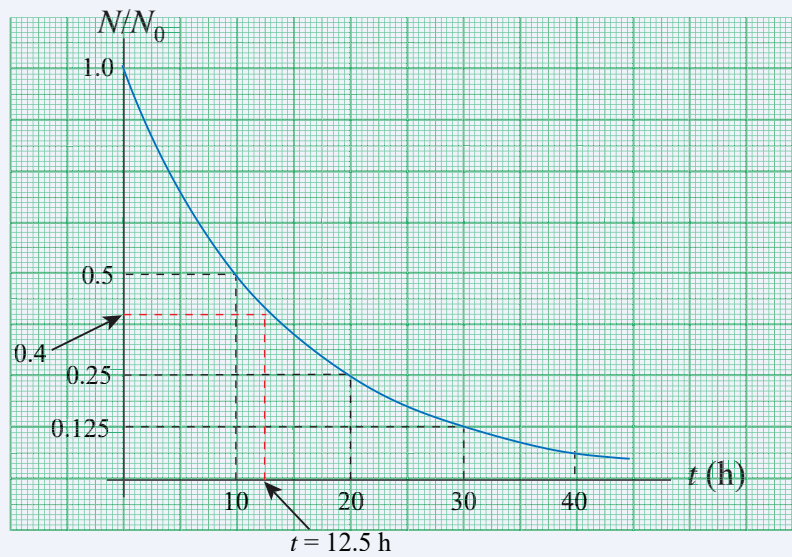
$t = 10$ ชั่วโมง $\frac{N}{N_0} = \frac{1}{2} = 0.5$

$t = 20$ ชั่วโมง $\frac{N}{N_0} = \frac{1}{4} = 0.25$

$t = 30$ ชั่วโมง $\frac{N}{N_0} = \frac{1}{8} = 0.125$

และ $t = 40$ ชั่วโมง $\frac{N}{N_0} = \frac{1}{16} = 0.0625$

ข. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{N}{N_0}$ กับ t ได้ดังนี้



ค. จากกราฟ เวลาที่ทำให้ $\frac{N}{N_0} = 0.40$ มีค่าประมาณ 12.5 ชั่วโมง

ตอบ ก. 1, 0.5, 0.25, 0.125 และ 0.0625

ข. เขียนกราฟได้ดังรูป

ค. 12.5 ชั่วโมง

17. โพแทสเซียม-44 (${}^{44}_{19}\text{K}$) มีครึ่งชีวิต 20 นาที สลายให้แคลเซียม-44 (${}^{44}_{20}\text{Ca}$) ซึ่งเป็นไอโซโทปเสถียร ถ้ามีโพแทสเซียม-44 ปริมาณ 10.0 มิลลิกรัม จงหาว่า

ก. มีโพแทสเซียม-44 กี่นิวเคลียส

ข. เริ่มต้น โพแทสเซียม-44 มีกัมมันตภาพเท่าใด

ค. เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง โพแทสเซียม-44 มีกัมมันตภาพเท่าใด

ง. เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง อัตราส่วนระหว่างอะตอมโพแทสเซียม-44 ต่ออะตอมแคลเซียม-44 เป็นเท่าใด

วิธีทำ ก. โพแทสเซียม-44 จำนวน 1 โมล มีมวล 44 g และจำนวนนิวเคลียส 6.023×10^{23}

ดังนั้นโพแทสเซียม-44 ปริมาณ 10×10^{-6} kg มีจำนวนนิวเคลียส

$$N = \frac{(6.023 \times 10^{23})(10 \times 10^{-6} \text{ kg})}{44 \times 10^{-3} \text{ kg}}$$

$$= 1.37 \times 10^{20}$$

ข. จากสมการ $A = \lambda N$

$$\text{ณ เวลาเริ่มต้น } A_0 = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} N_0$$

$$= \frac{0.693}{20 \times 60 \text{ s}} (1.37 \times 10^{20})$$

$$= 7.91 \times 10^{16} \text{ Bq}$$

ค. เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง หรือ 60 นาที จะได้

$$t = 3 \times 20 \text{ นาที}$$

$$= 3T_{1/2}$$

หาจำนวนนิวเคลียสที่เหลืออยู่ (N) เมื่อเวลาผ่านไปเป็น n เท่าของครึ่งชีวิตได้จาก

$$N = \frac{N_0}{2^n}$$

แทนค่า $n = 3$ และ $N = 1.37 \times 10^{20}$ จะได้

$$N = \frac{1.37 \times 10^{20}}{2^3}$$

$$= 0.17 \times 10^{20}$$

หาค่าคงตัวการสลาย $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$ โดย $T_{1/2}$ เท่ากับ 20 นาที

$$\text{แทนค่า จะได้ } \lambda = \frac{0.693}{20 \times 60 \text{ s}}$$

หากัมมันตภาพเมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที จากสมการ $A = \lambda N$
แทนค่า จะได้

$$\begin{aligned} A &= \left(\frac{0.693}{20 \times 60 \text{ s}} \right) (0.17 \times 10^{20}) \\ &= 9.82 \times 10^{15} \text{ Bq} \end{aligned}$$

ง. วิธีที่ 1 จากข้อ ค. เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง อะตอมโพแทสเซียมที่เหลือเท่ากับ 0.17×10^{20} ดังนั้น อะตอมแคลเซียมซึ่งเกิดขึ้นใหม่มีจำนวน $(1.37 \times 10^{20} - 0.17 \times 10^{20}) = 1.20 \times 10^{20}$

นั่นคือ อัตราส่วนระหว่างอะตอมโพแทสเซียมต่ออะตอมแคลเซียมเท่ากับ

$$\frac{0.17 \times 10^{20}}{1.20 \times 10^{20}} \cong \frac{1}{7}$$

วิธีที่ 2 เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมงหรือ $3T_{1/2}$ จะได้

$$N = \frac{N_0}{2^3} = \frac{N_0}{8}$$

แสดงว่าอะตอมแคลเซียมที่เกิดขึ้นใหม่หรือ

$$N_{\text{Ca}} = N_0 - \frac{N_0}{8} = \frac{7}{8} N_0$$

นั่นคือ อัตราส่วนระหว่างอะตอมโพแทสเซียมต่ออะตอมแคลเซียมเท่ากับ

$$\frac{\left(\frac{N_0}{8} \right)}{\left(\frac{7}{8} N_0 \right)} = \frac{1}{7}$$

ตอบ ก. มีโพแทสเซียม-44 จำนวน 1.37×10^{20} นิวเคลียส

ข. เริ่มต้น โพแทสเซียม-44 มีกัมมันตภาพ 7.91×10^{16} เบ็กเคอเรล

ค. เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง โพแทสเซียม-44 มีกัมมันตภาพ 9.82×10^{15} เบ็กเคอเรล

ง. เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง อัตราส่วนระหว่างอะตอมโพแทสเซียมต่ออะตอมแคลเซียมเท่ากับ $\frac{1}{7}$

18. ไอโอดีน-125 ($^{125}_{53}\text{I}$) เป็นไอโซโทปที่ใช้มากในทางการแพทย์ มีครึ่งชีวิต 60 วัน และ ถ้าเริ่มต้น ไอโอดีน-125 มีกัมมันตภาพ 4 เมกะเบ็กเคอเรล จะต้องใช้เวลานานเท่าใดเพื่อให้ไอโอดีน-125 จึงสลายไปร้อยละ 75 ของปริมาณเริ่มต้น

วิธีทำ เมื่อจำนวนนิวเคลียสที่เหลือเป็นจำนวน n เท่าของจำนวนเริ่มต้น สามารถหา

$$\text{กัมมันตภาพได้จากสมการ } A = \frac{A_0}{2^n}$$

ให้ A_0 เป็นกัมมันตภาพของไอโอดีน-125 ในตอนเริ่มต้น

A เป็นกัมมันตภาพที่เหลืออยู่ เมื่อเวลาผ่านไป t

$$\text{จะได้ } A = \frac{25}{100}(A_0)$$

$$\text{แทนค่าในสมการ } A = \frac{A_0}{2^n}$$

$$\text{จะได้ } \frac{25}{100}(A_0) = \frac{A_0}{2^n}$$

$$n = 2$$

สามารถหาเวลาที่ใช้ในการสลายของสารกัมมันตรังสีได้จากสมการ $t = nT_{1/2}$

หาเวลาที่ไอโอดีน-125 ใช้ในการสลาย จากสมการ

$$t = nT_{1/2}$$

ในที่นี้ $T_{1/2} = 60$ วัน และ $n = 2$

$$\text{จะได้ } t = 2(60 \text{ d})$$

$$t = 120 \text{ d}$$

ตอบ ไอโอดีน-125 ใช้เวลาในการสลายนาน 120 วัน

19. ยูเรเนียม-238 ($^{238}_{92}\text{U}$) มวล 1 กิโลกรัม แผ่รังสีแอลฟา โดยมีครึ่งชีวิต 4.5×10^9 ปี จงหา กัมมันตภาพของยูเรเนียม-238 นี้

วิธีทำ $^{238}_{92}\text{U}$ 1 นิวเคลียส มีมวล $238 \text{ u} = 238(1.66 \times 10^{-27} \text{ kg})$

ดังนั้น $^{238}_{92}\text{U}$ มวล 1 กิโลกรัม มีจำนวนนิวเคลียส

$$N = \frac{1}{238(1.66 \times 10^{-27})}$$

$$= 2.53 \times 10^{24} \text{ นิวเคลียส}$$

$^{238}_{92}\text{U}$ มีครึ่งชีวิต 4.5×10^9 ปี

$$\text{จาก } \lambda = \frac{0.693}{T_{1/2}}$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า จะได้} \quad \lambda &= \frac{0.693}{4.5 \times 10^9 \times 365 \times 24 \times 3600} \text{ s}^{-1} \\ &= 4.883 \times 10^{-18} \text{ s}^{-1} \end{aligned}$$

$$\text{จากสมการ} \quad A = \lambda N$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า จะได้} \quad A &= (4.883 \times 10^{-18})(2.53 \times 10^{24} \text{ s}^{-1}) \\ &= 1.24 \times 10^7 \text{ s}^{-1} \end{aligned}$$

ตอบ กัมมันตภาพของ ${}_{92}^{238}\text{U}$ เท่ากับ 1.2×10^7 ต่อวินาที หรือ 1.2×10^7 เบ็กเคอเรล

20. ทอเรียม-230 (${}_{90}^{230}\text{Th}$) มีมวล 0.1 มิลลิกรัม และกัมมันตภาพ 7.20×10^4 เบ็กเคอเรล ครึ่งชีวิตของทอเรียม-230 มีค่ากี่ปี

วิธีทำ เนื่องจากทอเรียม-230 ปริมาณ 1 โมล มีมวลประมาณ 230 กรัม และมีจำนวนนิวเคลียส 6.023×10^{23}

ดังนั้น ถ้ามีทอเรียม-230 มวล 0.1 มิลลิกรัม จะมีจำนวนนิวเคลียส N ดังนี้

$$N = \frac{(6.023 \times 10^{23})(0.1 \times 10^{-3} \text{ g})}{(230 \text{ g})}$$

$$N = 2.62 \times 10^{17}$$

จากสมการ $A = \lambda N$ และ $\lambda = \frac{0.693}{T_{1/2}}$ จะได้

$$A = \left(\frac{0.693}{T_{1/2}} \right) N$$

ในที่นี้ $A = 7.20 \times 10^4 \text{ Bq}$ และ $N = 2.62 \times 10^{17}$

แทนค่า จะได้

$$7.20 \times 10^4 \text{ Bq} = \left(\frac{0.693}{T_{1/2}} \right) (2.62 \times 10^{17})$$

$$T_{1/2} = 2.52 \times 10^{12} \text{ s}$$

$$T_{1/2} = 8.0 \times 10^4 \text{ year}$$

ตอบ ครึ่งชีวิตของทอเรียม-230 เท่ากับ 8×10^4 ปี

21. ถ้าแคลเซียม-45 ($^{45}_{20}\text{Ca}$) แผ่รังสีบีตาแล้วกลายเป็นสแกนเดียม-45 ($^{45}_{21}\text{Sc}$) โดยเริ่มต้น แคลเซียม-45 มีกัมมันตภาพ 20 มิลลิวินาที เมื่อเวลาผ่านไป 100 วัน จะมีกัมมันตภาพเหลือ 13.14 มิลลิวินาที จงหาครึ่งชีวิตของแคลเซียม-45 กำหนด $\ln(0.657)$ เท่ากับ -0.42

วิธีทำ ให้ A_0 เป็นกัมมันตภาพเริ่มต้นของ ^{45}Ca

A เป็นกัมมันตภาพเมื่อเวลาผ่านไป t

หาค่าคงตัวการสลายของไอโซโทปกัมมันตรังสีจากสมการ $A = A_0 e^{-\lambda t}$ และ

$$\text{หาค่าครึ่งชีวิตจากสมการ } T_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda}$$

จากสมการ $A = A_0 e^{-\lambda t}$ เมื่อเวลาผ่านไป (t) 100 วัน กัมมันตภาพเริ่มต้น (A) ลดลงจาก 20 มิลลิวินาที เหลือกัมมันตภาพ (A_0) 13.14 มิลลิวินาที แทนค่า จะได้

$$13.14 \text{ mCi} = (20 \text{ mCi})e^{-\lambda(100 \text{ d})}$$

$$e^{-\lambda(100 \text{ d})} = 0.657$$

$$-\lambda(100 \text{ d}) = \ln(0.657)$$

$$= -0.42$$

$$\lambda = 4.2 \times 10^{-3} \text{ d}^{-1}$$

(a)

$$\text{จากสมการ } T_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda} \text{ จะได้}$$

$$\text{แทนค่า } \lambda \text{ จาก (a) จะได้ } T_{1/2} = \frac{0.693}{4.2 \times 10^{-3} \text{ d}^{-1}}$$

$$= 165 \text{ d}$$

ตอบ ครึ่งชีวิตของแคลเซียม-45 เท่ากับ 165 วัน

22. ทองคำ-198 ($^{198}_{79}\text{Au}$) มีครึ่งชีวิต 2.7 วัน และมีกัมมันตภาพเริ่มต้น 50 ไมโครคูรี จงหาจำนวนนิวเคลียสของทองคำ-198 ที่สลายไปในช่วงเวลา 10 – 15 ชั่วโมง กำหนด $e^{-0.1069}$ เท่ากับ 0.8986 และ $e^{-0.16035}$ เท่ากับ 0.8518

วิธีทำ ให้ A_0 เป็นกัมมันตภาพเริ่มต้น เมื่อเวลา $t = 0$

N_0 เป็นจำนวนนิวเคลียส เมื่อเวลา $t = 0$

λ เป็นค่าคงตัวการสลายของ $^{198}_{79}\text{Au}$

หาจำนวนนิวเคลียสของ $^{198}_{79}\text{Au}$ เมื่อเวลาผ่านไป t จากสมการ $A_0 = \lambda N_0$ และ

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \text{ โดยเริ่มจากหาค่าคงตัวการสลายจากสมการ } \lambda = \frac{0.693}{T_{1/2}}$$

แทนค่าครึ่งชีวิต 2.7 วัน โดยแปลงเป็นหน่วยวินาที จะได้

$$\lambda = \frac{0.693}{2.7 \text{ day} \times (24 \times 60 \times 60) \text{ s}}$$

$$= 2.97 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1} \quad (\text{a})$$

หรือ ในหน่วยต่อชั่วโมง จะได้ $\lambda = 1.069 \times 10^{-2} \text{ h}^{-1}$ (b)

แทนค่า λ จาก (a) และกัมมันตภาพเริ่มต้น (A_0) 50 ไมโครคูรี ใน $A_0 = \lambda N_0$ โดยแปลงหน่วยไมโครคูรีเป็นเบ็กเคอเรล จะได้

$$(50 \times 10^{-6} \text{ Ci}) \left(\frac{3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}}{1 \text{ Ci}} \right) = (2.97 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}) N_0$$

$$N_0 = 6.23 \times 10^{12} \quad (\text{c})$$

จากสมการ

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

ที่เวลา $t_1 = 10 \text{ h}$ จะเหลือนิวเคลียส $^{198}_{79}\text{Au}$ คือ N_1

จาก (b) และ (c) จะได้

$$N_1 = (6.23 \times 10^{12}) e^{-(1.069 \times 10^{-2} \text{ h}^{-1})(10 \text{ h})}$$

$$= (6.23 \times 10^{12}) e^{(-0.1069)}$$

$$= (6.23 \times 10^{12})(0.8986)$$

$$= 5.598 \times 10^{12}$$

ที่เวลา $t_2 = 15 \text{ h}$ จะเหลือนิวเคลียส $^{198}_{79}\text{Au}$ คือ N_2 ดังนี้

จาก (b) และ (c) จะได้

$$N_2 = (6.23 \times 10^{12}) e^{-(1.069 \times 10^{-2} \text{ h}^{-1})(15 \text{ h})}$$

$$= (6.23 \times 10^{12}) e^{(-0.16035)}$$

$$= (6.23 \times 10^{12})(0.8518)$$

$$= 5.307 \times 10^{12}$$

จำนวนนิวเคลียส ^{198}Au ที่สลายในช่วงเวลา 10 – 15 h

$$N_1 - N_2 = 2.91 \times 10^{11} \text{ นิวเคลียส}$$

ตอบ ในช่วงเวลา 10 – 15 ชั่วโมง จำนวนนิวเคลียสที่สลายไปเท่ากับ 2.9×10^{11} นิวเคลียส

23. เรเดียม-224 ($^{224}_{88}\text{Ra}$) มีครึ่งชีวิต 3.5 วัน และมีอัตราการสลาย 2.4×10^2 เบ็กเคอเรล เมื่อเวลาผ่านไป 21 วัน เรเดียม-224 มีกัมมันตภาพเท่าใดในหน่วยไมโครคูรี

วิธีทำ ให้ A_0 เป็นกัมมันตภาพเริ่มต้นของเรเดียม-224 และ

A เป็นกัมมันตภาพของเรเดียม-224 เมื่อเวลาผ่านไป t
 ในที่นี้ เวลาที่ผ่านไปเท่ากับ 21 วัน และครึ่งชีวิตของเรเดียม-224 เท่ากับ 3.5 วัน
 จะได้

$$\frac{t}{T_{1/2}} = \frac{21 \text{ d}}{3.5 \text{ d}}$$

$$= 6$$

เมื่อเวลาที่ผ่านไปเป็นจำนวนเท่าของครึ่งชีวิต หรือ $t = nT_{1/2}$

หากัมมันตภาพของเรเดียมได้จากสมการ

$$A = \frac{A_0}{2^n}$$

แทนค่า A_0 และ n จะได้

$$A = \frac{(2.4 \times 10^2 \text{ Bq})}{2^6}$$

$$= 3.75 \text{ Bq}$$

$$= 1.01 \times 10^{-4} \mu\text{Ci}$$

ตอบ เรเดียม-224 มีกัมมันตภาพเท่ากับ 1.0×10^{-4} ไมโครคูรี

24. คาร์บอน-14 ($^{14}_6\text{C}$) มีครึ่งชีวิต 5730 ปี ถ้าเริ่มต้นมีคาร์บอน-14 จำนวน 2.00 ไมโครกรัม ขณะนั้นกัมมันตภาพของคาร์บอน-14 มีค่าเท่าใด

วิธีทำ ค่าคงตัวอวอกาโดร (N_A) = $6.023 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

คาร์บอน-14 1 โมล มีมวล 14 g มีจำนวนนิวเคลียส 6.023×10^{23} นิวเคลียส

ดังนั้น ถ้ามีคาร์บอน-14 2×10^{-6} กรัม จะมีจำนวนนิวเคลียส N เท่ากับ

$$N = \frac{(6.023 \times 10^{23})(2 \times 10^{-6} \text{ g})}{(14 \text{ g})}$$

$$= 8.60 \times 10^{16}$$

กัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสี หาได้จากสมการ $A = \lambda N$

แต่ $\lambda = \frac{0.693}{T_{1/2}}$ ดังนั้น $A = \left(\frac{0.693}{T_{1/2}} \right) N$

ในที่นี้ $T_{1/2} = 5730 \text{ year}$ ซึ่งแปลงให้อยู่ในหน่วยวินาทีได้เป็น

$$T_{1/2} = (5730 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60) \text{ s}$$

$$= 1.807 \times 10^{11} \text{ s}$$

แทนค่า $T_{1/2} = 1.807 \times 10^{11} \text{ s}$ และ $N = 8.60 \times 10^{16}$ ในสมการ $A = \lambda N$ จะได้

$$A = \left(\frac{0.693}{(1.81 \times 10^{11} \text{ s})} \right) (8.60 \times 10^{16})$$

$$= 3.29 \times 10^5 \text{ Bq}$$

ตอบ คาร์บอน-14 มีกัมมันตภาพ 3.29×10^5 เบ็กเคอเรล

25. ธาตุกัมมันตรังสีชนิดหนึ่งมีครึ่งชีวิต 80 ปี จะใช้เวลานานเท่าใด กัมมันตภาพจึงลดลงเหลือร้อยละ 25 จากปริมาณเริ่มต้น

วิธีทำ หากกัมมันตภาพเมื่อเวลาผ่านไป t จากสมการ $A = A_0 e^{-\lambda t}$

เมื่อเวลาผ่านไป t แล้วธาตุกัมมันตรังสีมีกัมมันตภาพลดลงเหลือร้อยละ 25 หรือ

$$A = \frac{25}{100} A_0$$

$$A = \frac{A_0}{4} \tag{a}$$

จากสมการ $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$

แทนค่า จะได้ $\lambda = \frac{0.693}{80 \text{ year}}$ (b)

แทน A จาก (a) และ λ จาก (b) ในสมการ จะได้

$$\frac{A_0}{4} = A_0 e^{-\left(\frac{0.693}{80 \text{ year}}\right)t}$$

$$e^{\left(\frac{0.693}{80 \text{ year}}\right)t} = 4$$

$$\left(\frac{0.693}{80 \text{ year}}\right)t = \ln 4$$

$$t = \left(\frac{80 \text{ year}}{0.693}\right)(1.3862)$$

$$= 160.02 \text{ year}$$

ตอบ ใช้เวลานาน 160 ปี

26. จากปฏิกิริยานิวเคลียร์ ${}^4_2\text{He} + {}^9_4\text{Be} \rightarrow {}^{12}_6\text{C} + \text{X}$ จงหาว่า X คืออะไร

วิธีทำ ในปฏิกิริยานิวเคลียร์ ผลรวมของเลขมวลและเลขอะตอมของอนุภาคต่าง ๆ ก่อนและหลังเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์มีค่าเท่ากัน

ในที่นี้ ให้ A เป็นเลขมวลของ X

$$\text{เลขมวลก่อนปฏิกิริยาเท่ากับ } 4 + 9 = 13$$

$$\text{เลขมวลหลังปฏิกิริยาเท่ากับ } 12 + A$$

$$\text{ดังนั้น จะได้ } 13 = 12 + A$$

$$A = 1$$

ให้ Z เป็นเลขอะตอมของ X

$$\text{เลขอะตอมก่อนปฏิกิริยานิวเคลียร์ } 2 + 4 = 6$$

$$\text{เลขอะตอมหลังปฏิกิริยาเท่ากับ } 6 + Z$$

$$\text{ดังนั้น จะได้ } 6 = 6 + Z$$

$$Z = 0$$

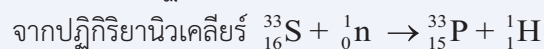
X มีเลขมวลเท่ากับ 1 และเลขอะตอมเท่ากับ 0

ดังนั้น X คือนิวตรอน หรือ ${}^1_0\text{n}$

ตอบ X คือนิวตรอน หรือเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ ${}^1_0\text{n}$

27. จากสมการปฏิกิริยานิวเคลียร์ ${}^{33}_{16}\text{S} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{33}_{15}\text{P} + {}^1_1\text{H}$ ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ให้พลังงาน 0.533 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ ถ้ามวลอะตอมของ ${}^{33}_{16}\text{S}$ มีค่า 32.97146 u มวลอะตอมของ ${}^{33}_{15}\text{P}$ มีค่าเท่าใด

วิธีทำ พลังงานจากปฏิกิริยานิวเคลียร์เท่ากับพลังงานที่เทียบเท่าผลต่างของมวลในปฏิกิริยา



$$\begin{aligned} \text{มวลรวมก่อนเกิดปฏิกิริยา} &= \text{มวลอะตอมของ } {}^{33}_{16}\text{S} + \text{มวลของ } {}^1_0\text{n} \\ &= 32.97146 \text{ u} + 1.008665 \text{ u} \\ &= 33.980125 \text{ u} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{มวลรวมหลังเกิดปฏิกิริยา} &= \text{มวลอะตอมของ } {}^{33}_{15}\text{P} + \text{มวลของ } {}^1_1\text{H} \\ &= \text{มวลอะตอมของ } {}^{33}_{15}\text{P} + 1.007825 \text{ u} \end{aligned}$$

หาส่วนพร่องมวล (Δm) จาก

$$\begin{aligned} \Delta m &= \text{มวลรวมก่อนเกิดปฏิกิริยา} - \text{มวลรวมหลังเกิดปฏิกิริยา} \\ &= 33.980125 \text{ u} - (\text{มวลอะตอมของ } {}^{33}_{15}\text{P} + 1.007825 \text{ u}) \\ &= 32.9723 \text{ u} - (\text{มวลอะตอมของ } {}^{33}_{15}\text{P}) \end{aligned}$$

พลังงานที่ได้จากปฏิกิริยานิวเคลียร์ (E) เท่ากับ 0.533 MeV เทียบเท่าส่วนของมวล
ที่ลดลงซึ่งหาได้จากสมการ $E = (\Delta m)(931.5 \text{ MeV/u})$
แทนค่า จะได้

$$0.533 \text{ MeV} = [32.9723 \text{ u} - (\text{มวลอะตอมของ } {}^{33}_{15}\text{P})](931.5 \text{ MeV/u})$$

$$\text{มวลอะตอมของ } {}^{33}_{15}\text{P} = 32.97173 \text{ u}$$

ตอบ มวลอะตอมของ ${}^{33}_{15}\text{P}$ เท่ากับ 32.97173 u

28. ในการทดลองระเบิดนิวเคลียร์โดยใช้ยูเรเนียม-235 ทำให้เกิดฟิชชัน ได้พลังงานทั้งสิ้น
 9.0×10^{12} จูล พลังงานจำนวนนี้เกิดจากส่วนพร่องมวลเท่าใด

วิธีทำ หาส่วนพร่องมวลได้จากสมการ $E = (\Delta m)c^2$

$$\text{ในที่นี้ } E = 9.0 \times 10^{12} \text{ J}, c = 3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$\text{แทนค่า จะได้ } 9.0 \times 10^{12} \text{ J} = (\Delta m)(3.0 \times 10^8 \text{ m/s})^2$$

$$\Delta m = 1 \times 10^{-4} \text{ kg}$$

$$= 0.1 \text{ g}$$

ตอบ ส่วนพร่องมวลมีค่า 0.1 กรัม

29. ระเบิดทีเอ็นที 1 ตัน เมื่อเกิดการระเบิดจะปล่อยพลังงานประมาณ 4.0 จิกะจูล ถ้าระเบิด
ปริมาณที่ทิ้งที่อิโรซิม่าได้จากฟิชชันของยูเรเนียม-235 ซึ่งปล่อยพลังงานเทียบได้กับระเบิด
ทีเอ็นที 2.0×10^4 ตัน จงคำนวณมวลของยูเรเนียม-235 ที่เปลี่ยนไปเป็นพลังงาน
กำหนดให้การเกิดฟิชชัน 1 ครั้งของยูเรเนียม-235 ปลดปล่อยพลังงาน 173.20 MeV

วิธีทำ พลังงานที่ระเบิดปริมาณปล่อยออกมาเท่ากับ $(2 \times 10^4) \times 4 \text{ GJ} = 8 \times 10^{13} \text{ J}$

จากโจทย์ กำหนดให้ ยูเรเนียม -235 เกิดฟิชชันแล้ว ปลดปล่อยพลังงานออกมาประมาณ
173.20 MeV ซึ่งแปลงเป็นหน่วยจูลได้เท่ากับ

$$(173.20 \times 10^6 \text{ eV}) \times (1.6 \times 10^{-19} \text{ J/eV}) = 2.77 \times 10^{11} \text{ J}$$

ยูเรเนียม -235 มีมวลอะตอม 235 u ดังนั้น สามารถพิจารณาได้ว่า

พลังงาน 2.77×10^{11} จูล เกิดจาก ยูเรเนียม-235 มวล 235 u

ดังนั้น พลังงาน 8×10^{13} จูล จะเกิดจาก ยูเรเนียม-235 คิดเป็นมวลเท่ากับ

$$\frac{(235 \text{ u})(8 \times 10^{13} \text{ J})}{2.77 \times 10^{11} \text{ J}} = 6.787 \times 10^{26} \text{ u}$$

$$= (6.787 \times 10^{26} \text{ u})(1.66 \times 10^{-27} \text{ kg/u})$$

$$= 1.127 \text{ kg}$$

ตอบ มวลของยูเรเนียม-235 ที่ใช้เท่ากับ 1.1 กิโลกรัม

30. ในการเกิดฟิชชันแต่ละครั้งของนิวเคลียสกำมันตรังสีชนิดหนึ่งที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ พบว่า ส่วนพร่องมวลมีค่า 0.025 u จะต้องเกิดฟิชชันกี่ครั้งต่อวินาที จึงจะได้กำลัง 1000 วัตต์

วิธีทำ ในการเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์แต่ละครั้งพลังงานจากปฏิกิริยานิวเคลียร์มีค่าเท่ากับ พลังงานที่เทียบเท่ากับส่วนพร่องมวลหรือส่วนของมวลที่ลดลงในปฏิกิริยา ตามสมการ

$$E = (\Delta m)(931.5 \text{ MeV/u})$$

แทนค่า ส่วนพร่องมวล จะได้

$$E = (0.025 \text{ u})(931.5 \text{ MeV/u})$$

$$E = 23.288 \text{ MeV}$$

หรือ

$$E = (23.288 \times 10^6 \text{ eV}) \times (1.6 \times 10^{-19} \text{ J/eV})$$

$$= 3.73 \times 10^{-12} \text{ MeV}$$

ให้ n เป็นจำนวนครั้งที่เกิดปฏิกิริยาในเวลา 1 วินาที เพื่อให้ได้กำลัง 1000 วัตต์

ดังนั้น

$$n = \frac{1000 \text{ J/s}}{3.73 \times 10^{-12} \text{ J}}$$

$$= 2.68 \times 10^{14} \text{ ครั้งต่อวินาที}$$

ตอบ จำนวนปฏิกิริยานิวเคลียร์เกิดขึ้น 2.7×10^{14} ครั้งต่อวินาที

31. จงหาพลังงานปลดปล่อยออกมาจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ตามสมการ



กำหนดมวลอะตอมของเบริลเลียม-9 (${}^9_4\text{Be}$) เท่ากับ 9.012183 u และ มวลอะตอม ของเบริลเลียม-10 เท่ากับ 10.013535 u

วิธีทำ พลังงานจากปฏิกิริยา (E) หาได้จากพลังงานที่เทียบเท่าส่วนพร่องมวล Δm

ตามสมการ $E = (\Delta m)(931.5 \text{ MeV/u})$

ให้ Δm_1 เป็นส่วนพร่องมวลของสมการปฏิกิริยานิวเคลียร์ที่กำหนดจะได้

$$\Delta m_1 = (9.012183 \text{ u} + 2.014102 \text{ u}) - (10.013535 \text{ u} + 1.007825 \text{ u})$$

$$= 4.925 \times 10^{-3} \text{ u}$$

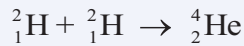
หาพลังงานที่เทียบเท่าส่วนพร่องมวล Δm_1 จะได้

$$E = (4.925 \times 10^{-3} \text{ u})(931.5 \text{ MeV/u})$$

$$= 4.59 \text{ MeV}$$

ตอบ ปฏิกิริยานิวเคลียร์ตามสมการที่กำหนดปลดปล่อยพลังงาน 4.59 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์

32. จงคำนวณพลังงานที่ได้เมื่อดิวเทอเรียมมวล 1 กิโลกรัม เกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ตามสมการ



กำหนด มวลของดิวเทอเรียม (${}^2_1\text{H}$) เท่ากับ 2.014102 u

มวลของฮีเลียม (${}^4_2\text{He}$) เท่ากับ 4.002604 u

วิธีทำ หามวลที่ลดลง Δm ในปฏิกิริยาตามสมการ จะได้

$$\begin{aligned}\Delta m &= 2m_{{}^2_1\text{H}} - m_{{}^4_2\text{He}} \\ &= 2(2.014102 \text{ u}) - 4.002604 \text{ u} \\ &= 0.025600 \text{ u}\end{aligned}$$

หาพลังงานที่ได้จากปฏิกิริยานิวเคลียร์ (E) ที่เทียบเท่ามวลที่ลดลง Δm จะได้

$$\begin{aligned}E &= (0.025600 \text{ u})(931.5 \text{ MeV/u}) \\ &= 23.8464 \text{ MeV}\end{aligned}$$

หรือ

$$\begin{aligned}E &= (23.8464 \times 10^6 \text{ eV}) \times (1.6 \times 10^{-19} \text{ J/eV}) \\ &= 3.82 \times 10^{-12} \text{ J}\end{aligned}$$

มวลของดิวเทอเรียม 2 อนุภาค เท่ากับ $2(2.014102 \text{ u}) = 4.028204 \text{ u}$

แปลงเป็นหน่วยกิโลกรัม จะได้

$$(4.028204 \times 10^{26} \text{ u})(1.66 \times 10^{-27} \text{ kg/u}) = 6.69 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

ดังนั้น มวลของดิวเทอเรียม 6.69×10^{-27} กิโลกรัม ทำให้ได้พลังงานจากปฏิกิริยานิวเคลียร์

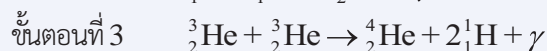
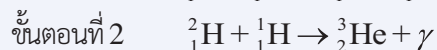
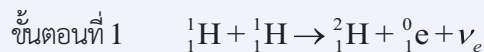
$3.82 \times 10^{14} \text{ J}$ ถ้ามีมวลของดิวเทอเรียม 1 kg จะได้พลังงานปฏิกิริยานิวเคลียร์เป็น E'

$$\begin{aligned}E' &= \frac{(3.82 \times 10^{-12} \text{ J})(1 \text{ kg})}{(6.69 \times 10^{-27} \text{ kg})} \\ &= 5.71 \times 10^{14} \text{ J}\end{aligned}$$

ตอบ พลังงานที่ได้จากปฏิกิริยานิวเคลียร์ของดิวเทอเรียมมวล 1 กิโลกรัมมีค่าเท่ากับ

$$5.7 \times 10^{14} \text{ จูล}$$

33. ฟิวชันในดวงอาทิตย์และดาวฤกษ์ส่วนมาก เกิดจากการรวมกันของไฮโดรเจนเป็นฮีเลียม มีขั้นตอนดังนี้



จงหา

- ก. พลังงานที่ได้จากปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 1
- ข. พลังงานที่ได้จากปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 2
- ค. พลังงานที่ได้จากปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 3
- ง. พลังงานที่ได้จากปฏิกิริยาการรวมกันของไฮโดรเจนเป็นฮีเลียม (${}^4_2\text{He}$)

กำหนดมวลอะตอมของ ${}^1_1\text{H}$, ${}^2_1\text{H}$, ${}^3_2\text{He}$, ${}^4_2\text{He}$ เท่ากับ 1.007825 u, 2.014102 u, 3.016029 u และ 4.002603 u ตามลำดับ

วิธีทำ ก. หาพลังงานที่ปลดปล่อยออกมาจากปฏิกิริยาที่เทียบเท่ามวลที่ลดลง Δm

ให้ E_1 เป็นพลังงานที่ได้จากปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 1 ซึ่งหาได้จาก Δm_1

$$\begin{aligned}\Delta m_1 &= (1.007825 \text{ u} + 1.007825 \text{ u}) - 2.014102 \text{ u} - 0.000549 \text{ u} \\ &= 0.000999 \text{ u}\end{aligned}$$

หาพลังงานที่เทียบเท่ามวลที่ลดลง

$$\begin{aligned}E_1 &= (0.000999 \text{ u})(931.5 \text{ MeV/u}) \\ &= 0.930 \text{ MeV}\end{aligned}$$

ข. ให้ E_2 เป็นพลังงานของปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 2 ซึ่งหาได้จาก Δm_2

$$\begin{aligned}\Delta m_2 &= (2.014102 \text{ u} + 1.007825 \text{ u}) - 3.016029 \text{ u} \\ &= 0.005898 \text{ u}\end{aligned}$$

หาพลังงานที่เทียบเท่ามวลที่ลดลง

$$\begin{aligned}E_2 &= (0.005898 \text{ u})(931.5 \text{ MeV/u}) \\ &= 5.49 \text{ MeV}\end{aligned}$$

ค. ให้ E_3 เป็นพลังงานของปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 3 ซึ่งหาได้จาก Δm_3

$$\begin{aligned}\Delta m_3 &= (3.016029 \text{ u} + 3.016029 \text{ u}) - (4.002603 \text{ u} + 2 \times 1.007825 \text{ u}) \\ &= 0.013805 \text{ u}\end{aligned}$$

หาพลังงานที่เทียบเท่ามวลที่ลดลง

$$\begin{aligned}E_3 &= (0.013805 \text{ u})(931.5 \text{ MeV/u}) \\ &= 12.86 \text{ MeV}\end{aligned}$$

ง. ถ้า E เป็นพลังงานของปฏิกิริยาของการรวมกันของไฮโดรเจนเป็นฮีเลียม เนื่องจากในขั้นตอนที่ 3 ต้องมี ${}^3_2\text{He}$ ทำปฏิกิริยากันจำนวน 2 อนุภาค การเกิดปฏิกิริยาขั้นตอนที่ 1 และ 2 ต้องเกิดขึ้นจำนวน 2 ครั้ง

ดังนั้น พลังงานที่ได้จากปฏิกิริยาการรวมกันของไฮโดรเจนเป็นฮีเลียม เท่ากับ

$$\begin{aligned}
 E &= 2E_1 + 2E_2 + E_3 \\
 &= 2(0.930 \text{ MeV}) + 2(5.49 \text{ MeV}) + 12.86 \text{ MeV} \\
 &= 25.7 \text{ MeV}
 \end{aligned}$$

- ตอบ ก. พลังงานที่ได้จากปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 1 เท่ากับ 0.930 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์
 ข. พลังงานที่ได้จากปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 2 เท่ากับ 5.49 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์
 ค. พลังงานที่ได้จากปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 3 เท่ากับ 12.86 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์
 ง. พลังงานของปฏิกิริยาของการรวมกันของไฮโดรเจนเป็นฮีเลียม
 เท่ากับ 25.7 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์

34. ในโรงไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหิน ต้องเผาถ่านหิน 1 ตัน จึงจะให้ความร้อน 3.20×10^{10} จูล สำหรับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์แห่งหนึ่ง ความร้อนมาจากฟิชชันของยูเรเนียม-235 ซึ่งการเกิดฟิชชันแต่ละครั้งจะให้ความร้อนประมาณ 200 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ โรงไฟฟ้านิวเคลียร์แห่งนี้ต้องมียูเรเนียม-235 ที่เกิดฟิชชันเป็นมวลเท่าใดในหน่วยกรัม จึงจะให้ความร้อนเท่ากับถ่านหิน 1 ตัน

วิธีทำ ถ้า m เป็นมวลในหน่วยกรัมของยูเรเนียม-235 ที่ต้องใช้ เพื่อให้ได้ความร้อนเท่ากับถ่านหิน 1 ตัน

ยูเรเนียม-235 มวล m จะมีจำนวนอะตอม n ดังนี้

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{m(6.023 \times 10^{23} \text{ atoms/mol})}{235 \text{ g/mol}} \\
 &= [m(2.56 \times 10^{21})] \text{ g}^{-1}
 \end{aligned}$$

การเกิดฟิชชันแต่ละครั้ง จะให้ความร้อนประมาณ 200 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์

ถ้า E เป็นพลังงานที่เกิดจากฟิชชัน n อะตอมหรือ n ครั้ง จะได้

$$E = (200 \times 1.6 \times 10^{-13} \text{ J})[m(2.56 \times 10^{21}) \text{ g}^{-1}]$$

การเกิดฟิชชัน ที่ให้พลังงานเท่ากับถ่านหิน 1 ตัน ซึ่งให้ความร้อน 3.20×10^{10} จูล แทนค่า จะได้

$$3.20 \times 10^{10} \text{ J} = (200 \times 1.6 \times 10^{-13} \text{ J})[m(2.56 \times 10^{21}) \text{ g}^{-1}]$$

$$m = 0.390 \text{ g}$$

- ตอบ ต้องใช้ยูเรเนียม-235 มวลเท่ากับ 0.390 กรัม

35. โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ขนาดเล็กแห่งหนึ่งผลิตไฟฟ้าได้ 10 เมกะวัตต์ โดยใช้พลังงานจากฟิชชันของพลูโทเนียม-239 ถ้าพลังงานจากฟิชชันแต่ละครั้งมีค่า 3.3×10^{-11} จูล และถ้าเพียง 1 ใน 5 ของพลังงานที่ได้จากฟิชชันเท่านั้นที่สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ ในแต่ละวันต้องมีพลูโทเนียม-239 เกิดฟิชชันกี่กรัม

กำหนดมวลอะตอมของพลูโทเนียม-239 เท่ากับ 239.052163 u

วิธีทำ โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ขนาดเล็กแห่งหนึ่งผลิตไฟฟ้าได้ 10 เมกะวัตต์ แสดงว่า

ในเวลา 1 วินาที พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ 10 เมกะจูล หรือ 10×10^6 จูล

แต่พลังงานไฟฟ้า 10×10^6 จูล มาจาก $\frac{1}{5}$ ของพลังงานจากฟิชชัน

ดังนั้น ใน 1 วินาที ใช้พลังงานจากฟิชชันเท่ากับ $5(10 \times 10^6)$

นั่นคือ ใน 1 วัน ใช้พลังงานจากฟิชชันเท่ากับ

$$5(10 \times 10^6)(24 \times 60 \times 60 \text{ s}) = 4.32 \times 10^{12} \text{ J}$$

แต่พลูโทเนียม-239 จำนวน 1 นิวเคลียส ให้พลังงานเท่ากับ $3.2 \times 10^{-11} \text{ J}$

ดังนั้นต้องใช้จำนวนนิวเคลียสทั้งหมดเท่ากับ

$$\frac{4.32 \times 10^{12}}{3.2 \times 10^{-11}} = 1.35 \times 10^{23} \text{ นิวเคลียส}$$

เนื่องจากพลูโทเนียม 1 โมล หรือ 6.023×10^{23} นิวเคลียส มีมวล 239 กรัม

ดังนั้นพลูโทเนียม -239 จำนวน 1.35×10^{23} นิวเคลียส มีมวล

$$\frac{(239 \text{ g})(1.35 \times 10^{23})}{6.023 \times 10^{23}} = 53.6 \text{ g}$$

ตอบ ในแต่ละวันจะต้องใช้พลูโทเนียม-239 เท่ากับ 53.6 กรัม

36. ในอาคารใหญ่ ๆ มักจะติดตั้งเครื่องตรวจจับควันไฟที่เพดานห้องเพื่อระวังป้องกันอัคคีภัย ถ้าอาคารแห่งหนึ่งใช้เครื่องตรวจจับควันไฟแบบที่ใช้ธาตุกัมมันตรังสีอะเมริเซียม (${}_{95}^{241}\text{Am}$) ที่แผ่รังสีแอลฟา

ก. จงเขียนสมการการแผ่รังสีแอลฟาของอะเมริเซียม-241

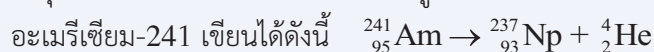
ข. จงอธิบายเหตุผลที่เครื่องตรวจจับควันไฟใช้ธาตุกัมมันตรังสีที่แผ่รังสีแอลฟา

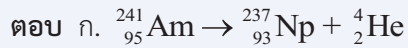
วิธีทำ ก. อะเมริเซียม-241 มีเลขมวลเท่ากับ 241 และเลขอะตอมเท่ากับ 95

เมื่ออะเมริเซียม-241 สลายให้แอลฟา จะมีเลขมวลลดลง 4 เหลือ $241 - 4 = 237$

และเลขอะตอมลดลง 2 เหลือ $95 - 2 = 93$

ธาตุที่มีเลขอะตอมเท่ากับ 93 คือ เนปทูเนียม ดังนั้น สมการการแผ่รังสีแอลฟาของ





ข. ในสภาวะปกติที่ไม่มีควีนไฟ เครื่องตรวจจับควีนไฟจะแสดงจำนวนนับ (อนุภาคแอลฟา) ต่อหนึ่งหน่วยเวลา หรืออัตราการนับ (count rate) ค่าหนึ่ง วงจรจะไม่ส่งสัญญาณเตือน แต่ถ้ามีควีนไฟลอยมาขวางบริเวณระหว่างแหล่งกำเนิดอนุภาคแอลฟากับเครื่องตรวจจับ อนุภาคในควีนไฟจะช่วยกระเจิงและดูดกลืนอนุภาคแอลฟา ทำให้อัตราการนับลดลงอย่างรวดเร็ว วงจรจึงแปลงการลดลงนี้เป็นสัญญาณเตือนว่ามีควีนไฟหรือไฟไหม้

37. พิวชันในดวงอาทิตย์เปลี่ยนไฮโดรเจนจำนวนมากให้เป็นพลังงานที่แผ่ออกมาทุก ๆ วินาที ถ้าแต่ละวินาทีพลังงานที่แผ่ออกมาเท่ากับ 3.90×10^{26} จูล มวลของดวงอาทิตย์จะเปลี่ยนแปลงอย่างไร ด้วยอัตราเท่าใด

วิธีทำ ใน 1 วินาที ดวงอาทิตย์แผ่พลังงานออกมาเท่ากับ 3.90×10^{26} จูล

อัตราเร็วแสง (c) เท่ากับ 3.0×10^8 เมตรต่อวินาที

จากสมการ $E = mc^2$

แทนค่า จะได้ $3.90 \times 10^{26} \text{ J} = m (3.0 \times 10^8 \text{ m/s})^2$

$$m = 4.3 \times 10^8 \text{ kg}$$

ตอบ มวลของดวงอาทิตย์ลดลงในอัตรา 4.3×10^8 kg กิโลกรัมต่อวินาที

38. จงหาพลังงานที่เกิดจากการประลัยของคู่อนุภาคกับปฏิยานุภาคต่อไปนี้ โดยไม่พิจารณาพลังงานจลน์เริ่มต้น

ก. อิเล็กตรอนกับโพสิตรอน

ข. โปรตอนกับแอนติโปรตอน

วิธีทำ ก. อิเล็กตรอนมีมวลประมาณ 9.1×10^{-31} กิโลกรัม ซึ่งเท่ากับมวลของโพสิตรอน

เมื่ออิเล็กตรอนมาพบกับโพสิตรอน จะเกิดการประลัยที่ทำให้มวลทั้งหมดของอนุภาคทั้งสองเปลี่ยนไปเป็นพลังงานตามสมการ $E = mc^2$

ให้อัตราเร็วแสง (c) เท่ากับ 3.0×10^8 เมตรต่อวินาที แทนค่าในสมการจะได้

$$\begin{aligned} E &= (2 \times 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg})(3.0 \times 10^8 \text{ m/s})^2 \\ &= 1.6 \times 10^{-13} \text{ J} \end{aligned}$$

หรือในหน่วยอิเล็กตรอนโวลต์

$$\begin{aligned} E &= \frac{1.6 \times 10^{-13} \text{ J}}{1.6 \times 10^{-19} \text{ J/eV}} \\ &= 1 \times 10^6 \text{ eV} \\ &= 1 \text{ MeV} \end{aligned}$$

- ข. โปรตอนมีมวลประมาณ 1.67×10^{-27} กิโลกรัม ซึ่งเท่ากับมวลของแอนติโปรตอน พลังงานที่เกิดจากการประลัยระหว่างโปรตอนกับแอนติโปรตอน มีค่าตามสมการ $E = mc^2$ แทนค่าในสมการจะได้

$$E = (2 \times 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg})(3.0 \times 10^8 \text{ m/s})^2$$

$$= 3.0 \times 10^{-10} \text{ J}$$

หรือในหน่วยอิเล็กตรอนโวลต์

$$E = \frac{3.0 \times 10^{-10} \text{ J}}{1.6 \times 10^{-19} \text{ J/eV}}$$

$$= 1.878 \times 10^9 \text{ eV}$$

$$= 1878 \text{ MeV}$$

- ตอบ ก. พลังงานที่เกิดจากการประลัยของคู่อนุภาคอิเล็กตรอนกับโพสิตรอนเท่ากับ 1.6×10^{-13} จูล หรือ 1 MeV
 ข. พลังงานที่เกิดจากการประลัยของคู่อนุภาคโปรตอนกับแอนติโปรตอนเท่ากับ 3.0×10^{-10} จูล หรือ 1.9 GeV

ปัญหาท้าทาย

39. ถ้าธาตุ X มีจำนวนอะตอมเป็น 2 เท่าของธาตุ Y แต่มีกัมมันตภาพเป็น 3 เท่าของธาตุ Y ครึ่งชีวิตของธาตุ X จะเป็นกี่เท่าของธาตุ Y

วิธีทำ กัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสี หาได้จากสมการ $A = \lambda N$ และ

$$\text{ค่าคงตัวการสลายมีค่าตามสมการ } T_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda}$$

$$\text{ดังนั้น } A = \left(\frac{0.693}{T_{1/2}} \right) N$$

ให้ ธาตุ X มีจำนวนอะตอม $2N$ มีกัมมันตภาพ $3A$ และครึ่งชีวิตมีค่าเป็น T_x
 ธาตุ Y มีจำนวนอะตอม N มีกัมมันตภาพ A และครึ่งชีวิตมีค่าเป็น T_y

$$\text{ดังนั้น สำหรับธาตุ X} \quad 3A = \left(\frac{0.693}{T_x} \right) (2N) \quad (1)$$

$$\text{และ สำหรับธาตุ Y} \quad A = \left(\frac{0.693}{T_y} \right) (N) \quad (2)$$

จาก (1) และ (2) จะได้
$$\frac{T_X}{T_Y} = \frac{2}{3}$$

ตอบ ครึ่งชีวิตของธาตุ X เป็น $\frac{2}{3}$ เท่าของธาตุ Y

40. ธาตุกัมมันตรังสี A มีครึ่งชีวิต 12 ชั่วโมง แผลรังสีแล้วกลายเป็นธาตุกัมมันตรังสี B ซึ่งมีครึ่งชีวิต 20 ชั่วโมง จากนั้นธาตุกัมมันตรังสี B แผลรังสีต่อแล้วกลายเป็นธาตุ C ที่เสถียร ในขณะที่กัมมันตภาพของ B คงตัว อัตราส่วนระหว่างจำนวนนิวเคลียสของธาตุ A ต่อ B เป็นเท่าใด

วิธีทำ กัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสี หาได้จากสมการ $A = \lambda N$ และ

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

ดังนั้น $A = \left(\frac{0.693}{T_{1/2}} \right) N$

ให้ A_A เป็นกัมมันตภาพของธาตุ A และ A_B เป็นกัมมันตภาพของธาตุ B

และให้ N_A เป็นจำนวนนิวเคลียสของธาตุ A และ

N_B เป็นจำนวนนิวเคลียสของธาตุ B

เมื่อกัมมันตภาพของธาตุ B คงตัว แสดงว่า N_B คงตัว เนื่องจาก $A_B = \lambda N_B$

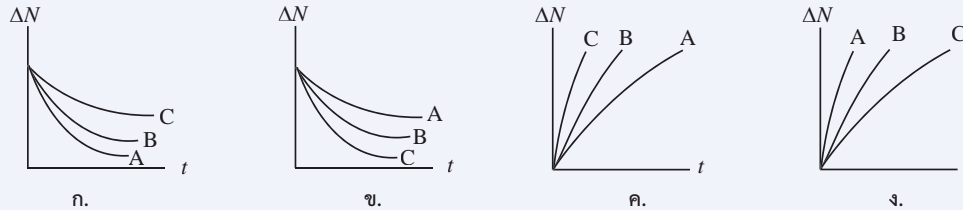
และ เนื่องจาก ธาตุ A สลายไปเป็นธาตุ B แสดงว่า $A_B = A_A$

ดังนั้น จะได้

$$\begin{aligned} \frac{A_A}{A_B} &= \frac{\lambda_A N_A}{\lambda_B N_B} \\ 1 &= \frac{(20\text{h})N_A}{(12\text{h})N_B} \\ \frac{N_A}{N_B} &= \frac{12\text{h}}{20\text{h}} \\ &= \frac{3}{5} \end{aligned}$$

ตอบ อัตราส่วนระหว่างจำนวนนิวเคลียสของธาตุ A ต่อธาตุ B เท่ากับ $\frac{3}{5}$

41. ถ้ามีธาตุกัมมันตรังสี 3 ชนิด ได้แก่ A B และ C โดยครึ่งชีวิตของ A มากกว่า ครึ่งชีวิตของ B และครึ่งชีวิตของ B มากกว่าครึ่งชีวิตของ C ถ้าที่เวลาเริ่มต้น ธาตุทั้ง 3 มีจำนวนนิวเคลียสเท่ากัน กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนิวเคลียสที่สลายไป (ΔN) กับเวลา (t) คือข้อใด



รูป ประกอบปัญหาท้าทาย ข้อ 41

วิธีทำ เริ่มต้น ธาตุทั้ง 3 มีจำนวนนิวเคลียสเท่ากัน เมื่อเวลาผ่านไป จำนวนนิวเคลียสที่สลายจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ดังนั้น กราฟที่เป็นไปได้มีเพียงกราฟในข้อ ค. และ ข้อ ง.

จากนั้น พิจารณากราฟของธาตุที่มีอัตราการสลายสูง เป็นกราฟที่มีจำนวนนิวเคลียสที่สลายเพิ่มขึ้นเร็วกว่าธาตุที่มีอัตราการสลายต่ำ ดังนั้น กราฟของธาตุที่มีอัตราการสลายสูงควรมีความชันมากกว่าธาตุที่มีอัตราการสลายต่ำ

อัตราการสลายแปรผกผันกับครึ่งชีวิต ดังนั้น กราฟที่มีอัตราการสลายสูงคือกราฟของธาตุที่มีครึ่งชีวิตสั้น ซึ่งในที่นี้ได้แก่ ธาตุ C

ดังนั้น กราฟของธาตุ C ควรมีความชันมากที่สุดเมื่อเทียบกับกราฟของธาตุอื่น ส่วนกราฟของธาตุที่มีความชันน้อยที่สุด คือกราฟของธาตุที่มีครึ่งชีวิตมากที่สุด ซึ่งได้แก่ธาตุ A ดังนั้น กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนิวเคลียสที่สลายไปกับเวลาของธาตุทั้ง 3 คือ กราฟในข้อ ค.

ตอบ ข้อ ค.

42. ในอนุกรมการสลายของเรดอน-222 ($^{222}_{86}\text{Rn}$) มีทั้งการสลายให้แอลฟาและการสลายให้บีตาจนได้บิสมัท-214 ($^{214}_{83}\text{Bi}$) ในอนุกรมการสลายนี้ มีการปล่อยอนุภาคแอลฟาและอนุภาคบีตาออกมาอย่างละกี่อนุภาค

วิธีทำ ในการปล่อยอนุภาคแอลฟา 1 อนุภาค (^4_2He) เลขมวล (A) หรือจำนวนนิวคลีออนจะลดลง 4 และเลขอะตอม (Z) หรือจำนวนโปรตอนจะลดลง 2 ส่วนการปล่อยอนุภาคบีตา 1 อนุภาค ($^0_{-1}\text{e}$) จะมีเลขอะตอม (Z) หรือจำนวนโปรตอนเพิ่มขึ้น 1

ในการแผ่รังสีของเรดอน-222 ($^{222}_{86}\text{Rn}$) จะได้ จนได้บิสมัท-214 ($^{214}_{83}\text{Bi}$)

มีจำนวนนิวคลีออนลดลง $222 - 214 = 8$ นิวคลีออน

ดังนั้น อย่างน้อย ในอนุกรมการสลายนี้ ต้องมีการปล่อยอนุภาคแอลฟาออกมา

2 อนุภาค จึงทำให้จำนวนนิวคลีออนลดลง $8 = 2 \times 4$

แต่เมื่อมีการปล่อยอนุภาคแอลฟาออกมา 2 อนุภาค

จำนวนโปรตอนลดลง $2 \times 2 = 4$ โปรตอน

ทำให้ เลขอะตอมของธาตุเริ่มต้นลดลง $86 - 4 = 82$ ซึ่งยังไม่เท่ากับ 83 ที่เป็นเลขอะตอมของบิสมัท-214

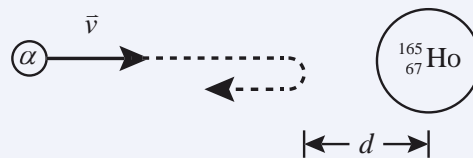
การที่อนุกรมการสลายจะให้ธาตุสุดท้ายเป็น บิสมัท-214 จะต้องเป็นการสลายที่ทำให้เลขอะตอมเพิ่มขึ้นอีก 1 ซึ่งเป็นการสลายให้บีตา 1 อนุภาค

ดังนั้น การสลายนี้จะมีการปล่อยอนุภาคแอลฟาออกมา 2 อนุภาค และปล่อยอนุภาคบีตาออกมา 1 อนุภาค

ตอบ การสลายของเรดอน-222 จนได้บิสมัท-214 ต้องมีการปลดปล่อยอนุภาคแอลฟาออกมา 2 อนุภาค และอนุภาคบีตา 1 อนุภาค

43. ถ้าให้อนุภาคแอลฟา (${}^4_2\text{He}$) มวล 4.002603 u และประจุ $+2e$ เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 1.5×10^7 เมตรต่อวินาที ไปยังศูนย์กลางนิวเคลียสของโฮโลเนียม-165 (${}^{165}_{67}\text{Ho}$) ซึ่งถูกตรึงไว้ จงหาระยะที่อนุภาคแอลฟาเข้าใกล้นิวเคลียสของโฮโลเนียม-165 ได้มากที่สุด

วิธีทำ ถ้ายิงอนุภาคแอลฟามวล m ประจุ Q_1 ด้วยความเร็ว v ไปยังศูนย์กลางของนิวเคลียสโฮโลเนียม ซึ่งมีประจุ Q_2 แรงผลักของนิวเคลียสโฮโลเนียม จะทำให้อนุภาคแอลฟาเคลื่อนที่เข้าใกล้นิวเคลียสโฮโลเนียมเป็นระยะ d ก่อนที่จะวกกลับ ดังรูป



ที่ระยะห่าง d นี้ พลังงานจลน์เริ่มต้นของอนุภาคแอลฟามีค่าเท่ากับพลังงานศักย์ไฟฟ้า

$$E_k = E_p$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = k \frac{Q_1 Q_2}{r}$$

$$r = 2k \frac{Q_1 Q_2}{mv^2}$$

$$d = \frac{2(9 \times 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2)(2 \times 1.60 \times 10^{-19} \text{ C})(67 \times 1.60 \times 10^{-19} \text{ C})}{(4.002603 \times 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg})(1.5 \times 10^7 \text{ m/s})^2}$$

$$d = 4.13 \times 10^{-14} \text{ m}$$

ตอบ ระยะที่อนุภาคแอลฟาเข้าใกล้นิวเคลียสโฮโลเนียมมากที่สุดเท่ากับ 4.1×10^{-14} เมตร

44. ธาตุกัมมันตรังสีชนิดหนึ่งแผ่รังสีแอลฟาโดยมีกัมมันตภาพ 3.2×10^9 เบ็กเกอร์ล ถ้าอนุภาคแอลฟาแต่ละอนุภาคมีพลังงานเฉลี่ย 5.2 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ และอนุภาคแอลฟาจากธาตุนั้นชนแผ่นอะลูมิเนียมบางซึ่งมีมวล 2×10^{-4} กิโลกรัม ซึ่งสามารถกั้นรังสีแอลฟาได้ทั้งหมด

ก. จงหาพลังงานในหน่วยจูล ที่แผ่นอะลูมิเนียมดูดกลืนไว้ในแต่ละวินาที

ข. หากพลังงานที่แผ่นอะลูมิเนียมได้รับ เป็นความร้อน เมื่อเวลาผ่านไป 1 นาที แผ่นอะลูมิเนียมมีอุณหภูมิสูงขึ้นกี่องศาเซลเซียส

กำหนด ความร้อนจำเพาะของอะลูมิเนียม 900 จูลต่อกิโลกรัมเคลวิน

วิธีทำ ก. กัมมันตภาพบอกถึงจำนวนนิวเคลียสที่สลายใน 1 วินาที ซึ่งก็คือจำนวนอนุภาคแอลฟาที่แผ่ออกมาใน 1 วินาที ในที่นี้ A เท่ากับ 3.2×10^9 เบ็กเกอร์ล นั่นคือ ใน 1 วินาที มีการปล่อยอนุภาคแอลฟาออกมาจำนวน

$$N = 3.2 \times 10^9 \text{ อนุภาค}$$

ให้ E_1 เป็นพลังงานเฉลี่ยของแต่ละอนุภาค

$$\text{ในที่นี้} \quad E = 5.2 \text{ MeV}$$

$$\text{หรือ} \quad E = 5.2 \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

ดังนั้นใน 1 วินาที พลังงานที่ปล่อยทั้งหมด E มีค่าดังนี้

$$\begin{aligned} E &= NE_1 \\ &= (3.2 \times 10^9)(5.2 \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}) \\ &= 2.66 \times 10^{-3} \text{ J} \end{aligned}$$

ข. อุณหภูมิของอะลูมิเนียมที่เปลี่ยนไปเมื่อได้รับพลังงานความร้อนหาได้จากสมการ

$$Q = mc\Delta T$$

ในที่นี้ $m = 2 \times 10^{-4}$ $c = 900 \text{ J/kg K}$ และในเวลา 1 นาที

$$Q = (2.66 \times 10^{-3} \text{ J})(60)$$

แทนค่าในสมการ $Q = mc\Delta T$ จะได้

$$(2.66 \times 10^{-3} \text{ J})(60) = (2 \times 10^{-4} \text{ kg})(900 \text{ J/kg K}) \Delta T$$

$$\Delta T = 0.9 \text{ K หรือ } 0.9 \text{ }^\circ\text{C}$$

ตอบ ก. พลังงานที่แผ่นอะลูมิเนียมดูดกลืนไว้ในแต่ละวินาทีเท่ากับ 2.66×10^{-3} จูล

ข. เมื่อเวลาผ่านไป 1 นาที แผ่นอะลูมิเนียมมีอุณหภูมิสูงขึ้น $0.9 \text{ }^\circ\text{C}$

45. ในการสลายของธาตุกัมมันตรังสี เมื่อเวลาผ่านไป $t = nT_{1/2}$ จงแสดงให้เห็นว่า $A = \frac{A_0}{2^n}$ และ $m = \frac{m_0}{2^n}$ โดยที่ A_0 คือ กัมมันตภาพเริ่มต้น และ m_0 คือ มวลเริ่มต้น

วิธีทำ จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างกัมมันตภาพ A เมื่อเวลาผ่านไป t กับกัมมันตภาพเริ่มต้น A_0 ตามสมการ

$$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

$$\text{โดย } \lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$$

เมื่อ $t = nT_{1/2}$ แทนค่า จะได้

$$A = A_0 e^{-\left(\frac{\ln 2}{T_{1/2}}\right)nT_{1/2}}$$

$$A = A_0 e^{-n \ln 2}$$

$$A = A_0 e^{\ln 2^{-n}}$$

เนื่องจาก $e^{\ln x} = x$

$$\text{จะได้ } A = \frac{A_0}{2^n}$$

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างมวลที่เหลืออยู่ m เมื่อเวลาผ่านไป t กับมวลเริ่มต้น m_0

ตามสมการ $m = m_0 e^{-\lambda t}$

เมื่อ $t = nT_{1/2}$ สามารถพิจารณาได้โดยใช้แนวทางเดียวกัน จะได้

$$m = \frac{m_0}{2^n}$$

46. ในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ เมื่อให้นิวตรอนไปชนกับนิวเคลียสของยูเรเนียม-235 (${}_{92}^{235}\text{U}$) แล้วเกิดฟิชชัน จะมีพลังงานถูกปล่อยออกมา 200 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ต่อครั้ง ถ้าเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์นี้มีกำลัง 800 เมกะวัตต์ และมีประสิทธิภาพร้อยละ 25 เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์เครื่องนี้สามารถทำให้ยูเรเนียม-235 เกิดฟิชชันกี่ครั้งต่อวัน

วิธีทำ ถ้า W เป็นพลังงานที่ได้จากฟิชชันของยูเรเนียม-235 หนึ่งครั้งที่ถูกนำไปใช้ได้ ซึ่งมีเพียงร้อยละ 25 หรือ 0.25 เท่าของพลังงานที่ถูกปล่อยออกมา ดังนั้น

$$\begin{aligned} W &= (200 \times 1.60 \times 10^{-13} \text{ J})(0.25) \\ &= 8.0 \times 10^{-12} \text{ J} \end{aligned}$$

ถ้า P เป็นกำลังของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์

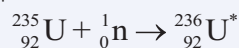
$$\begin{aligned} P &= 800 \times 10^6 \text{ W} \\ &= 800 \times 10^6 \text{ J/s} \end{aligned}$$

ถ้า n เป็นจำนวนครั้งที่เกิดฟิชชันต่อหนึ่งหน่วยเวลา จะได้

$$\begin{aligned} n &= \frac{P}{W} \\ &= \frac{800 \times 10^6 \text{ J/s}}{8.0 \times 10^{-12} \text{ J}} \\ &= (100 \times 10^{18} \text{ s}^{-1}) \left(\frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \right) \left(\frac{24 \text{ h}}{1 \text{ d}} \right) \\ &= 8.64 \times 10^{24} \text{ d}^{-1} \end{aligned}$$

ตอบ ยูเรเนียม-235 จะเกิดฟิชชัน 8.64×10^{24} ครั้งต่อวัน

47. ในการให้นิวตรอนไปชนกับนิวเคลียสของยูเรเนียม-235 (${}_{92}^{235}\text{U}$) จะทำให้ได้นิวเคลียสของยูเรเนียม-236 ในสถานะกระตุ้น (${}_{92}^{236}\text{U}^*$) ดังสมการ



จากนั้น นิวเคลียสของยูเรเนียม-236 จะเกิดฟิชชัน ทำให้ได้นิวเคลียสลูกคือโมลิบดีนัม-98 (${}_{42}^{98}\text{Mo}$) และ ซีเรียม-136 (${}_{54}^{136}\text{Xe}$) พร้อมทั้งมีนิวตรอนถูกปล่อยออกมา 2 อนุภาค และบีตา 4 อนุภาค จงคำนวณพลังงานที่ถูกปล่อยออกมาจากฟิชชันของยูเรเนียม-235 โดยไม่คิดพลังงานของอนุภาคบีตา

กำหนด มวลของ ${}_{92}^{235}\text{U}$ ${}_{42}^{98}\text{Mo}$ และ ${}_{54}^{136}\text{Xe}$ เท่ากับ 235.043925 u 97.905405 u และ 135.907220 u ตามลำดับ

วิธีทำ ถ้า E เป็นพลังงานที่ปล่อยออกมาจากฟิชชัน สามารถหา E ได้จากพลังงานที่เทียบเท่า ส่วนของมวลที่ลดลง Δm ตามสมการ

$$E = (\Delta m)(931.5 \text{ MeV/u})$$

จากฟิชชันที่เกิดขึ้น สามารถเขียนสมการได้เป็น



เมื่อไม่คิดพลังงานของอนุภาคบีตา หาส่วนของมวลที่ลดลงจากผลต่างระหว่างผลรวมมวลก่อนกับหลังเกิดฟิชชันได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \Delta m &= (235.043925 \text{ u} + 1.008665 \text{ u}) \\ &\quad - (97.905405 \text{ u} + 135.907220 \text{ u} + 2 \times 1.008665 \text{ u}) \\ &= 236.052590 \text{ u} - 235.829955 \text{ u} \\ &= 0.222635 \text{ u} \end{aligned}$$

หาพลังงานที่เทียบเท่าส่วนของมวลที่ลดลงจากสมการ

$$\begin{aligned} E &= (\Delta m)(931.5 \text{ MeV/u}) \\ \text{ดังนั้น} \quad E &= (0.222635 \text{ u})(931.5 \text{ MeV/u}) \\ &= 207.384503 \text{ MeV} \end{aligned}$$

ตอบ พลังงานที่ถูกปล่อยออกมาจากฟิชชันของยูเรเนียม-235 เท่ากับ 207 MeV