# บทที่ 2 โครงสร้างอะตอม

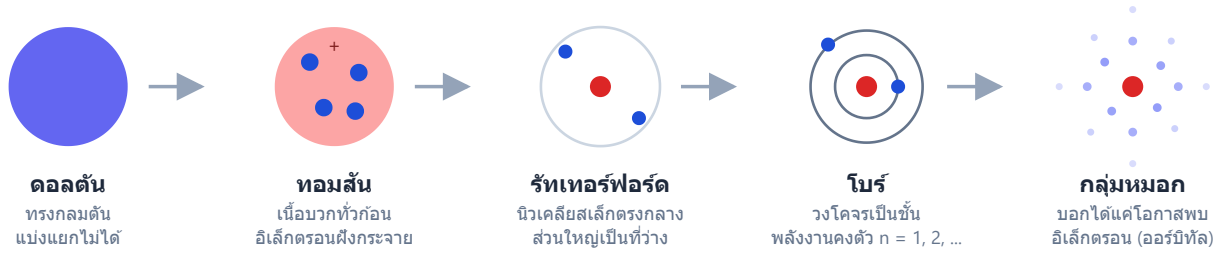
ชีทเรียน+แบบฝึกหัด · ติวเคมี สอวน. ค่าย 1 · แบบฝึกหัดเรียงตามหัวข้อจากง่ายไปยาก · เฉลยย่ออยู่หน้าสุดท้าย (ฉบับร่าง — รอเจ้าของรีวิว)

## ช่วงที่ 1 · พัฒนาการแบบจำลองอะตอม

### 1. พัฒนาการแบบจำลองอะตอม — วิทยาศาสตร์เชื่อการทดลอง ไม่เชื่อความรู้สึก

หัวใจของหัวข้อนี้ไม่ใช่ท่องชื่อคน แต่คือจับคู่ให้ได้ว่า **การทดลองอะไร → หักล้างแบบจำลองไหน → นำไปสู่แบบจำลองใหม่อะไร** ข้อสอบชอบถามแบบให้ผลการทดลองมาแล้วถามว่าสนับสนุนหรือขัดแย้งกับแบบจำลองใด

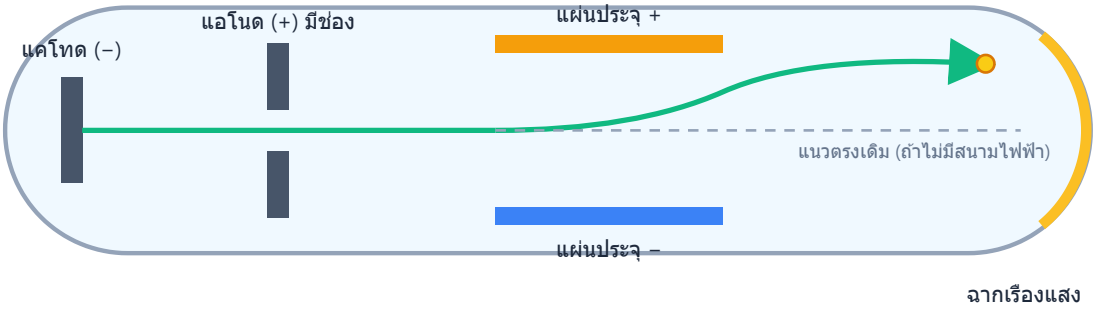
| ลำดับ | แบบจำลอง | ใจความสำคัญ | หลักฐาน/การทดลอง | จุดที่ใช้ไม่ได้ |
|---|---|---|---|---|
| 1 | **ดอลตัน** (Dalton) | อะตอมเป็นทรงกลมตัน แบ่งแยกไม่ได้ สร้างหรือทำลายไม่ได้ อะตอมธาตุเดียวกันเหมือนกันทุกประการ | อธิบายกฎทรงมวลและกฎสัดส่วนคงที่ได้ | พบอิเล็กตรอน → อะตอมแบ่งย่อยได้; พบไอโซโทป → ธาตุเดียวกันมวลไม่เท่ากันได้ |
| 2 | **ทอมสัน** (Thomson) | เนื้ออะตอมเป็นประจุบวกกระจายทั่ว มีอิเล็กตรอนฝังประปราย ("ขนมปังลูกเกด") | หลอดรังสีแคโทด → พบอนุภาคประจุลบ (อิเล็กตรอน) และวัดอัตราส่วนประจุต่อมวล $e/m$ ได้ | อธิบายผลการยิงอนุภาคแอลฟาผ่านแผ่นทองคำไม่ได้ |
| 3 | **รัทเทอร์ฟอร์ด** (Rutherford) | ประจุบวกและมวลเกือบทั้งหมดอัดแน่นใน **นิวเคลียส** ขนาดจิ๋ว อิเล็กตรอนวิ่งอยู่รอบนอก อะตอมส่วนใหญ่เป็นที่ว่าง | ยิงอนุภาคแอลฟาใส่แผ่นทองคำบาง: ส่วนใหญ่ทะลุตรง บางตัวเบนมุมกว้าง นานๆ ทีสะท้อนกลับ | ตามฟิสิกส์คลาสสิก อิเล็กตรอนที่วนรอบต้องคายพลังงานแล้วดิ่งชนนิวเคลียส และอธิบายสเปกตรัมเส้นไม่ได้ |
| 4 | **โบร์** (Bohr) | อิเล็กตรอนโคจรได้เฉพาะวงที่มี **พลังงานเฉพาะค่า** (quantized) จะดูดหรือคายพลังงานก็ต่อเมื่อกระโดดข้ามระดับ | ทำนายตำแหน่งเส้นสเปกตรัมของไฮโดรเจนได้ตรงเป๊ะ | ใช้ได้เฉพาะระบบอิเล็กตรอนเดียว (H, $He^+$, $Li^{2+}$) พังทันทีกับอะตอมหลายอิเล็กตรอน |
| 5 | **กลุ่มหมอก** (กลศาสตร์ควอนตัม) | ระบุตำแหน่งแน่นอนของอิเล็กตรอนไม่ได้ บอกได้เพียง **บริเวณที่มีโอกาสพบสูง** เรียกว่า ออร์บิทัล | หลักความไม่แน่นอนของไฮเซนเบิร์ก + สมการชเรอดิงเงอร์ | เป็นแบบจำลองที่ใช้ปัจจุบัน |




การทดลองใหม่หักล้างแบบจำลองเก่า → ได้แบบจำลองใหม่เสมอ

**เทคนิคจำลำดับ:** "ตัน → ลูกเกด → นิวเคลียส → วงโคจร → หมอก" — ภาพอะตอมค่อยๆ กลวงขึ้นและเบลอขึ้นตามลำดับเวลา

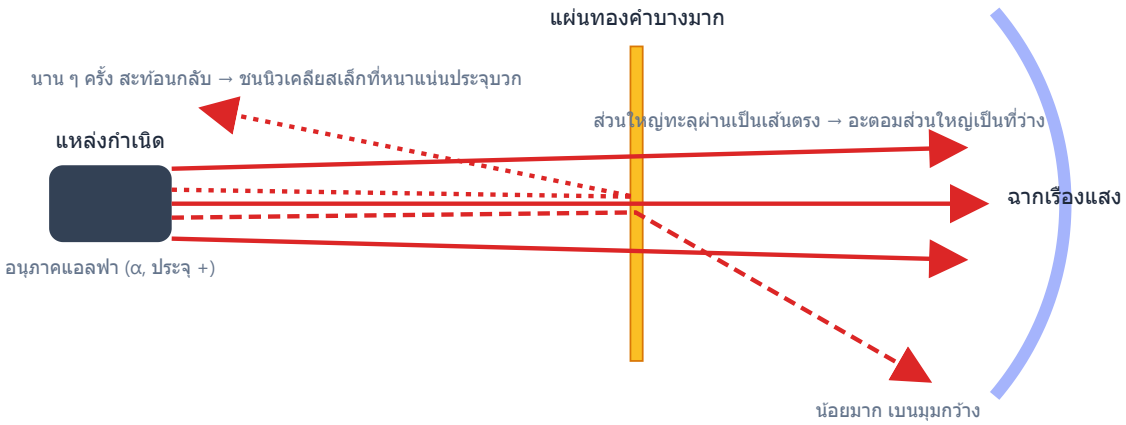
**การทดลองหลอดรังสีแคโทดของทอมสัน** — สังเกตว่าลำรังสีเบนเข้าหาแผ่นประจุบวก จึงสรุปได้ว่าอนุภาคในรังสีมีประจุลบ:




รังสีแคโทดเบนเข้าหา "แผ่นประจุบวก" → อนุภาคในรังสีมีประจุลบ (อิเล็กตรอน) · ทอมสันวัดอัตราส่วนประจุต่อมวลได้

**จุดสอบโปรด — การทดลองของรัทเทอร์ฟอร์ด** ต้องแปลผล 3 ข้อนี้ได้ทันทีไม่ต้องคิด:

- แอลฟาส่วนใหญ่ทะลุตรง → อะตอมส่วนใหญ่เป็นที่ว่าง
- แอลฟาบางตัวเบนมุมกว้าง → มีบริเวณประจุบวกหนาแน่นคอยผลัก (แอลฟาเป็นบวก)
- นานๆ ทีสะท้อนกลับมาทางเดิม → มวลเกือบทั้งหมดกระจุกอยู่ในนิวเคลียสที่เล็กมากๆ



### ✏️ ฝึกทันที 3 ข้อ (ง่าย→ยาก)

**ข้อ 1.** ★☆☆☆☆

จากการทดลองของรัทเทอร์ฟอร์ดที่ยิงอนุภาคแอลฟาเข้าใส่แผ่นทองคำบาง พบว่าอนุภาคแอลฟาส่วนใหญ่ทะลุผ่านไปเป็นเส้นตรง แต่มีจำนวนน้อยมากที่เบี่ยงเบนเป็นมุมกว้างหรือสะท้อนกลับ ผลการทดลองนี้นำไปสู่ข้อสรุปใด

**ก.**

อะตอมเป็นทรงกลมตันขนาดเล็กที่สุดซึ่งแบ่งแยกอีกไม่ได้

**ข.**

เนื้ออะตอมเป็นประจุบวกกระจายอยู่สม่ำเสมอทั่วทั้งอะตอม และมีอิเล็กตรอนฝังกระจายอยู่

**ค.**

อะตอมส่วนใหญ่เป็นที่ว่าง โดยประจุบวกและมวลเกือบทั้งหมดรวมกันอยู่ในนิวเคลียสขนาดเล็กตรงกลาง

**ง.**

อิเล็กตรอนเคลื่อนที่รอบนิวเคลียสเป็นวงโคจรที่มีระดับพลังงานคงตัว

**ข้อ 2.** ★★☆☆☆

ในหลอดรังสีแคโทดที่บรรจุแก๊สความดันต่ำ นอกจากรังสีแคโทดแล้วยังพบรังสีอีกชนิดหนึ่งเคลื่อนที่สวนทางผ่านรูของขั้วแคโทดไปยังด้านหลัง เรียกว่ารังสีแคแนล (รังสีบวก) ข้อใดกล่าวถึงความแตกต่างระหว่างรังสีแคแนลกับรังสีแคโทดได้ถูกต้อง

**ก.**

รังสีแคแนลไม่เบี่ยงเบนในสนามไฟฟ้าเพราะเป็นกลางทางไฟฟ้า

**ข.**

รังสีแคแนลเบี่ยงเบนเข้าหาขั้วบวกของสนามไฟฟ้า และค่าประจุต่อมวลคงที่ไม่ขึ้นกับชนิดของแก๊ส

**ค.**

รังสีแคแนลเบี่ยงเบนเข้าหาขั้วลบของสนามไฟฟ้า และค่าประจุต่อมวลเปลี่ยนไปตามชนิดของแก๊สในหลอด

**ง.**

รังสีแคแนลคืออนุภาคชนิดเดียวกับรังสีแคโทดแต่เคลื่อนที่สวนทางกันเท่านั้น

**ข้อ 3.** ★★☆☆☆

ตารางแสดงสมบัติของอนุภาคมูลฐาน 3 ชนิดในอะตอม

| อนุภาค | ประจุสัมพัทธ์ | มวลสัมพัทธ์ (u) |
|---|---|---|
| X | $-1$ | $0.00055$ |
| Y | $0$ | $1.0087$ |
| Z | $+1$ | $1.0073$ |

อะตอม $^{23}_{11}\mathrm{Na}$ มีอนุภาค Y อยู่กี่ตัว

**ก.**

11 ตัว

**ข.**

23 ตัว

**ค.**

12 ตัว

**ง.**

34 ตัว

## ช่วงที่ 2 · อนุภาคมูลฐาน เลขอะตอม เลขมวล

## 2. อนุภาคมูลฐาน เลขอะตอม เลขมวล

อะตอมประกอบด้วยอนุภาคมูลฐาน 3 ชนิด:

| อนุภาค | สัญลักษณ์ | ประจุสัมพัทธ์ | มวลโดยประมาณ (amu) | ตำแหน่ง |
|---|---|---|---|---|
| โปรตอน | $p$ | $+1$ | $\approx 1$ | ในนิวเคลียส |
| นิวตรอน | $n$ | $0$ | $\approx 1$ | ในนิวเคลียส |
| อิเล็กตรอน | $e^-$ | $-1$ | $\approx 0.00055$ ($\approx \frac{1}{1836}$ ของมวลโปรตอน — เบามากจนตัดทิ้งได้) | รอบนิวเคลียส |

สัญลักษณ์นิวเคลียร์เขียนเป็น $^A_Z X$ โดย

$$A = Z + N$$

- **เลขอะตอม** $Z$ = จำนวนโปรตอน — เป็น "บัตรประชาชน" ของธาตุ ธาตุเดียวกันต้อง $Z$ เท่ากันเสมอ

- **เลขมวล** $A$ = โปรตอน + นิวตรอน (เป็นจำนวนนับของอนุภาคในนิวเคลียส **ไม่ใช่** มวลอะตอมจริงที่มีทศนิยม)
- อะตอมที่เป็นกลางทางไฟฟ้า: จำนวน $e^- = Z$

**ตัวอย่างโจทย์ 2.1** จงหาจำนวนโปรตอน นิวตรอน และอิเล็กตรอนของ $^{40}_{20}\mathrm{Ca}$

**วิธีทำ**

1. เลขล่างคือ $Z = 20$ → โปรตอน $= 20$
2. นิวตรอน $N = A - Z = 40 - 20 = 20$
3. อะตอมเป็นกลาง → อิเล็กตรอน $= Z = 20$

**ตอบ** $p = 20,\ n = 20,\ e^- = 20$

### 📝 ฝึกทันที 5 ข้อ (ง่าย→ยาก)

**ข้อ 4.** ★★★☆☆

พิจารณาข้อความเกี่ยวกับการทดลองหลอดรังสีแคโทดของทอมสันต่อไปนี้ (ก) เมื่อวางสนามไฟฟ้าคร่อมลำรังสี รังสีแคโทดเบี่ยงเบนเข้าหาขั้วไฟฟ้าบวก แสดงว่าอนุภาคในรังสีมีประจุลบ (ข) ค่าประจุต่อมวล ($e/m$) ที่วัดได้มีค่าเท่าเดิม ไม่ว่าจะเปลี่ยนชนิดของแก๊สในหลอดหรือโลหะที่ใช้ทำขั้วแคโทด แสดงว่าอนุภาคนี้เป็นองค์ประกอบของอะตอมทุกชนิด (ค) การทดลองนี้ทำให้ทอมสันหาค่าประจุของอิเล็กตรอน 1 อนุภาคได้โดยตรง ข้อความชุดใดถูกต้อง

**ก.**

(ก) เท่านั้น

**ข.**

(ก) และ (ข)

**ค.**

(ข) และ (ค)

**ง.**

(ก) (ข) และ (ค)

**ข้อ 5.** ★★★☆☆

ก่อนการทดลองยิงอนุภาคแอลฟาผ่านแผ่นทองคำบาง รัทเทอร์ฟอร์ดเชื่อตามแบบจำลองอะตอมของทอมสันที่ว่าประจุบวกกระจายเจือจางสม่ำเสมอทั่วทั้งอะตอม ถ้าแบบจำลองของทอมสันถูกต้องจริง ผลการทดลองที่ควรสังเกตได้คือข้อใด

**ก.**

อนุภาคแอลฟาส่วนใหญ่สะท้อนกลับ เพราะเนื้ออะตอมที่มีประจุบวกเต็มทั้งก้อนจะผลักอนุภาคแอลฟาอย่างแรง

**ข.**

อนุภาคแอลฟาเกือบทั้งหมดทะลุผ่านเป็นเส้นตรงหรือเบี่ยงเบนเพียงมุมเล็กน้อย ไม่มีอนุภาคใดสะท้อนกลับ

**ค.**

อนุภาคแอลฟาทั้งหมดถูกดูดกลืนไว้ในแผ่นทองคำ เพราะประจุบวกของอะตอมดูดอนุภาคแอลฟา

**ง.**

อนุภาคแอลฟาจำนวนน้อยมากเบี่ยงเบนเป็นมุมกว้างหรือสะท้อนกลับ เหมือนผลการทดลองจริงทุกประการ

**ข้อ 6.** ★★★★☆

นักเรียนคนหนึ่งทำการทดลองแบบหยดน้ำมันของมิลลิแกน วัดประจุไฟฟ้าของหยดน้ำมัน 4 หยด ได้ค่าดังนี้ $3.2 \times 10^{-19}$, $4.8 \times 10^{-19}$, $8.0 \times 10^{-19}$ และ $1.28 \times 10^{-18}$ คูลอมบ์ จากข้อมูลชุดนี้ ประจุของอิเล็กตรอน 1 อนุภาคควรมีค่าเท่าใด และหยดที่มีประจุ $8.0 \times 10^{-19}$ C มีอิเล็กตรอนเกินอยู่กี่ตัว

**ก.**

$1.6 \times 10^{-19}$ C และ 4 ตัว

**ข.**

$3.2 \times 10^{-19}$ C และ 2 ตัว

**ค.**

$1.6 \times 10^{-19}$ C และ 5 ตัว

**ง.**

$8.0 \times 10^{-20}$ C และ 10 ตัว

**ข้อ 7.** ★★★★☆

จากการทดลองของทอมสันทราบว่าอิเล็กตรอนมีอัตราส่วนประจุต่อมวล $e/m = 1.76 \times 10^{8}$ คูลอมบ์ต่อกรัม และจากการทดลองหยดน้ำมันของมิลลิแกนทราบว่าประจุของอิเล็กตรอน 1 อนุภาคเท่ากับ $1.6 \times 10^{-19}$ คูลอมบ์ กำหนด $N_A = 6.02 \times 10^{23}\ \mathrm{mol}^{-1}$ มวลของอิเล็กตรอน 1 อนุภาค และมวลของอิเล็กตรอน 1 โมล มีค่าใกล้เคียงข้อใดมากที่สุด

**ก.**

$9.09 \times 10^{-31}$ g และ $5.47 \times 10^{-7}$ g

**ข.**

$9.09 \times 10^{-28}$ g และ $5.47 \times 10^{-1}$ g

**ค.**

$2.82 \times 10^{-11}$ g และ $1.70 \times 10^{13}$ g

**ง.**

$9.09 \times 10^{-28}$ g และ $5.47 \times 10^{-4}$ g

**ข้อ 8.** ★★★★★

ในการทดลองทำนองเดียวกับการวิเคราะห์รังสีบวก (รังสีแคแนล) แบบเดียวกับการทดลองของทอมสัน อนุภาคที่มีประจุจะเบี่ยงเบนในสนามไฟฟ้าได้มากหรือน้อยขึ้นกับอัตราส่วนประจุต่อมวล ($q/m$) ของอนุภาคนั้น กำหนดให้ใช้มวลโดยประมาณเท่ากับเลขมวล (หน่วย u) และประจุเป็นจำนวนเท่าของประจุมูลฐาน ไอออนคู่ใดต่อไปนี้มีค่า $q/m$ เท่ากัน จึงเบี่ยงเบนในสนามไฟฟ้าเดียวกันได้เท่ากัน

**ก.**

$^{1}\mathrm{H}^{+}$ กับ $^{2}\mathrm{H}^{+}$

**ข.**

$^{2}\mathrm{H}^{+}$ กับ $^{4}\mathrm{He}^{2+}$

**ค.**

$^{3}\mathrm{H}^{+}$ กับ $^{4}\mathrm{He}^{2+}$

**ง.**

$^{1}\mathrm{H}^{+}$ กับ $^{4}\mathrm{He}^{2+}$

## ช่วงที่ 3 · ไอโซโทป ไอออน และสัญลักษณ์นิวเคลียร์

### 3. ไอโซโทป ไอโซโทน ไอโซบาร์ และไอออน

สามคำนี้หน้าตาคล้ายจนเด็กสับสนทุกปี ให้จำจากตัวอักษรท้ายของชื่อ:

| คำ | สิ่งที่เท่ากัน | สิ่งที่ต่างกัน | ตัวช่วยจำ | ตัวอย่าง |
|---|---|---|---|---|
| ไอโซ**โทป** (isoto**p**e) | $Z$ (โปรตอน) — ธาตุเดียวกัน | $A$ และ $N$ | p = **p**roton เท่ากัน | $^{35}\mathrm{Cl}$ กับ $^{37}\mathrm{Cl}$ |
| ไอโซ**โทน** (isoto**n**e) | $N$ (นิวตรอน) | $Z$ และ $A$ | n = **n**eutron เท่ากัน | $^{39}_{19}\mathrm{K}$ กับ $^{40}_{20}\mathrm{Ca}$ (นิวตรอน 20 เท่ากัน) |
| ไอโซ**บาร์** (isob**a**r) | $A$ (เลขมวล) | $Z$ และ $N$ | a = m**a**ss number เท่ากัน | $^{40}\mathrm{Ar}$ กับ $^{40}\mathrm{Ca}$ |

**ไอออน** เกิดจากอะตอมรับหรือเสียอิเล็กตรอน — **นิวเคลียสไม่เปลี่ยนเลย** ($Z$, $N$ เท่าเดิม) เปลี่ยนเฉพาะจำนวน $e^-$:

- ไอออนบวก (แคตไอออน) ประจุ $+m$ → เสียอิเล็กตรอน: $e^- = Z - m$
- ไอออนลบ (แอนไอออน) ประจุ $-m$ → รับอิเล็กตรอน: $e^- = Z + m$

**ตัวอย่างโจทย์ 3.1** จงนับ p, n, e ของ $^{40}_{20}\mathrm{Ca}^{2+}$ และ $^{32}_{16}\mathrm{S}^{2-}$ แล้วบอกว่าไอออนทั้งสองมีอิเล็กตรอนเท่ากับแก๊สเฉื่อยตัวใด

**วิธีทำ**

1. $^{40}_{20}\mathrm{Ca}^{2+}$: โปรตอน $= 20$, นิวตรอน $= 40 - 20 = 20$, ประจุ $2+$ แปลว่าเสียอิเล็กตรอนไป 2 ตัว → $e^- = 20 - 2 = 18$
2. $^{32}_{16}\mathrm{S}^{2-}$: โปรตอน $= 16$, นิวตรอน $= 32 - 16 = 16$, ประจุ $2-$ แปลว่ารับอิเล็กตรอนมา 2 ตัว → $e^- = 16 + 2 = 18$
3. ทั้งคู่มีอิเล็กตรอน 18 ตัว เท่ากับอาร์กอน (Ar, $Z = 18$) — เรียกว่าเป็น **ไอโซอิเล็กทรอนิก** (isoelectronic) กัน

**ตอบ** $Ca^{2+}$: $p = 20, n = 20, e = 18$; $S^{2-}$: $p = 16, n = 16, e = 18$; ทั้งคู่ไอโซอิเล็กทรอนิกกับ Ar

## มวลอะตอมเฉลี่ยจากไอโซโทป

มวลอะตอมในตารางธาตุคือ **ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก** ตามปริมาณที่พบในธรรมชาติ:

$$\bar{m} = \sum(\text{mass} \times \text{fraction})$$

**ตัวอย่างโจทย์ 3.2** โบรอนในธรรมชาติมี 2 ไอโซโทป: $^{10}\mathrm{B}$ (มวล 10.0 amu, ปริมาณ 19.9%) และ $^{11}\mathrm{B}$ (มวล 11.0 amu, ปริมาณ 80.1%) จงหามวลอะตอมเฉลี่ย

**วิธีทำ**

1. เปลี่ยนเปอร์เซ็นต์เป็นเศษส่วน: $0.199$ และ $0.801$
2. ถ่วงน้ำหนัก:

$$\bar{m} = (10.0)(0.199) + (11.0)(0.801) = 1.99 + 8.811 = 10.801 \approx 10.8 \text{ amu}$$

**ตอบ** มวลอะตอมเฉลี่ยของโบรอน $\approx 10.8$ amu (สังเกตว่าค่าเอียงเข้าหา 11 เพราะ $^{11}\mathrm{B}$ มีสัดส่วนมากกว่า — ใช้เช็กคำตอบแบบเร็วได้เสมอ)

**ตัวอย่างโจทย์ 3.3 (โจทย์ย้อนกลับ — แนวโปรดของข้อสอบ)** ทองแดงมี 2 ไอโซโทปคือ $^{63}\mathrm{Cu}$ (มวล 63.0) และ $^{65}\mathrm{Cu}$ (มวล 65.0) ถ้ามวลอะตอมเฉลี่ยคือ 63.55 จงหาร้อยละของ $^{63}\mathrm{Cu}$ ในธรรมชาติ

**วิธีทำ**

1. ให้เศษส่วนของ $^{63}\mathrm{Cu}$ เป็น $x$ ดังนั้นเศษส่วนของ $^{65}\mathrm{Cu}$ คือ $1 - x$
2. ตั้งสมการเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก:

$$63.0x + 65.0(1 - x) = 63.55$$

3. กระจายและจัดรูป:

$$65.0 - 2.0x = 63.55 \quad \Rightarrow \quad x = \frac{65.0 - 63.55}{2.0} = 0.725$$

**ตอบ** $^{63}\mathrm{Cu}$ มีอยู่ร้อยละ $72.5$ (และ $^{65}\mathrm{Cu}$ ร้อยละ 27.5 — บวกกันได้ 100 พอดี เช็กแล้วสบายใจ)

### 📝 ฝึกทันที 9 ข้อ (ง่าย→ยาก)

**ข้อ 9.** ★☆☆☆☆

อะตอมฟอสฟอรัส $^{31}_{15}\mathrm{P}$ มีจำนวนนิวตรอนกี่ตัว

**ก.**

16 ตัว

**ข.**

15 ตัว

**ค.**

31 ตัว

**ง.**

46 ตัว

**ข้อ 10.** ★★☆☆☆

ไอออนโบรไมด์ $^{79}_{35}\mathrm{Br}^-$ มีจำนวนโปรตอน นิวตรอน และอิเล็กตรอน ตามลำดับ ตรงกับข้อใด

**ก.**

35, 44, 36

**ข.**

35, 44, 34

**ค.**

35, 79, 36

**ง.**

36, 43, 36

**ข้อ 11.** ★★☆☆☆

ไอออน $X^{2-}$ มีจำนวนอิเล็กตรอน 18 ตัว และมีเลขมวลเท่ากับ 32 จำนวนนิวตรอนในนิวเคลียสของธาตุ X เท่ากับข้อใด

**ก.**

12

**ข.**

16

**ค.**

14

**ง.**

18

**ข้อ 12.** ★★☆☆☆

ข้อใดเป็นคู่ไอโซโทน (isotone) ซึ่งกันและกัน

**ก.**

$^{14}_{6}C$ กับ $^{14}_{7}N$

**ข.**

$^{16}_{8}O$ กับ $^{18}_{8}O$

**ค.**

$^{1}_{1}H$ กับ $^{2}_{1}H$

**ง.**

$^{39}_{19}K$ กับ $^{40}_{20}Ca$

**ข้อ 13.** ★★★☆☆

ไอออนไอโอไดด์ $^{127}_{53}I^{-}$ มีจำนวนอนุภาคมูลฐาน (โปรตอน นิวตรอน และอิเล็กตรอน) รวมทั้งหมดกี่อนุภาค

**ก.**

127 อนุภาค

**ข.**

180 อนุภาค

**ค.**

181 อนุภาค

**ง.**

182 อนุภาค

**ข้อ 14.** ★★★☆☆

ไอออน $X^{3+}$ มีจำนวนอิเล็กตรอนเท่ากับอะตอมนีออน (เลขอะตอมของ Ne = 10) และนิวเคลียสของ X มีจำนวนนิวตรอนมากกว่าจำนวนโปรตอนอยู่ 1 ตัว สัญลักษณ์นิวเคลียร์ของธาตุ X คือข้อใด

**ก.**

$^{21}_{10}X$

**ข.**

$^{26}_{13}X$

**ค.**

$^{23}_{11}X$

**ง.**

$^{27}_{13}X$

**ข้อ 15.** ★★★★☆

ไอออน $X^{2+}$ มีจำนวนอิเล็กตรอน 18 ตัว และนิวไคลด์ของธาตุ X เป็นไอโซโทน (จำนวนนิวตรอนเท่ากัน) กับนิวไคลด์ $^{45}_{21}Sc$ เลขมวลของนิวไคลด์ X นี้เท่ากับข้อใด

**ก.**

45

**ข.**

42

**ค.**

38

**ง.**

44

**ข้อ 16.** ★★★★☆

กำหนดเลขอะตอม N = 7, O = 8, F = 9, Na = 11, Mg = 12, S = 16, Cl = 17, K = 19, Ca = 20 อนุภาคทุกตัวในข้อใดมีจำนวนอิเล็กตรอนเท่ากันทั้งหมด (isoelectronic)

**ก.**

$O^{2-},\ F^{-},\ Na^{+},\ Mg^{2+}$

**ข.**

$S^{2-},\ Cl^{-},\ K^{+},\ Mg^{2+}$

**ค.**

$Na^{+},\ Mg^{2+},\ Cl^{-},\ K^{+}$

**ง.**

$N^{3-},\ O^{2-},\ Na^{+},\ Ca^{2+}$

**ข้อ 17.** ★★★★★

ไอออน $X^{2+}$ และไอออน $Y^{-}$ มีจำนวนอิเล็กตรอนเท่ากับ 18 ตัวเท่ากัน ถ้าธาตุ X มีเลขมวล 40 และนิวไคลด์ของ X กับนิวไคลด์ของ Y เป็นไอโซโทนกัน (จำนวนนิวตรอนเท่ากัน) เลขมวลของนิวไคลด์ Y เท่ากับข้อใด

**ก.**

35

**ข.**

38

**ค.**

37

**ง.**

40

## ช่วงที่ 4 · มวลอะตอมเฉลี่ยจากไอโซโทป

ช่วงฝึกต่อเนื่องจากเนื้อหา "มวลอะตอมเฉลี่ยจากไอโซโทป" ในช่วงที่แล้ว

**ฝึกทันที 8 ข้อ (ง่าย→ยาก)**

**ข้อ 18.** ★☆☆☆☆

โบรอนในธรรมชาติประกอบด้วยไอโซโทป 2 ชนิด คือ $^{10}B$ (มวล 10.0 u) ร้อยละ 20 และ $^{11}B$ (มวล 11.0 u) ร้อยละ 80 มวลอะตอมเฉลี่ยของโบรอนเท่ากับข้อใด

**ก.**

10.5 u

**ข.**

10.2 u

**ค.**

10.8 u

**ง.**

21.0 u

**ข้อ 19.** ★★☆☆☆

ลิเทียมในธรรมชาติประกอบด้วยไอโซโทป 2 ชนิด คือ $^{6}Li$ (มวล 6.00 u) และ $^{7}Li$ (มวล 7.00 u) ถ้ามวลอะตอมเฉลี่ยของลิเทียมเท่ากับ 6.94 u ร้อยละความอุดมสมบูรณ์ของ $^{7}Li$ เท่ากับข้อใด

**ก.**

ร้อยละ 6

**ข.**

ร้อยละ 94

**ค.**

ร้อยละ 50

**ง.**

ร้อยละ 69.4

**ข้อ 20.** ★★☆☆☆

คลอรีนในธรรมชาติมีไอโซโทป $^{35}\mathrm{Cl}$ (มวล 35.0 u) และ $^{37}\mathrm{Cl}$ (มวล 37.0 u) ถ้า $^{35}\mathrm{Cl}$ มีความอุดมสมบูรณ์ร้อยละ 75.0 มวลอะตอมเฉลี่ยของคลอรีนเท่ากับข้อใด

**ก.**

36.0 u

**ข.**

35.5 u

**ค.**

36.5 u

**ง.**

35.2 u

**ข้อ 21.** ★★★☆☆

ซิลิคอนในธรรมชาติประกอบด้วยไอโซโทป 3 ชนิด คือ $^{28}\mathrm{Si}$ (มวล 28.0 u) ร้อยละ 92, $^{29}\mathrm{Si}$ (มวล 29.0 u) ร้อยละ 5 และ $^{30}\mathrm{Si}$ (มวล 30.0 u) ร้อยละ 3 มวลอะตอมเฉลี่ยของซิลิคอนเท่ากับข้อใด

**ก.**

28.11 u

**ข.**

29.00 u

**ค.**

29.89 u

**ง.**

28.00 u

**ข้อ 22.** ★★★☆☆

แกลเลียม (Ga) ในธรรมชาติมีไอโซโทป 2 ชนิด คือ $^{69}\mathrm{Ga}$ (มวล 68.93 u) และ $^{71}\mathrm{Ga}$ (มวล 70.92 u) ถ้ามวลอะตอมเฉลี่ยของแกลเลียมเท่ากับ 69.72 u ร้อยละความอุดมสมบูรณ์ของ $^{69}\mathrm{Ga}$ มีค่าใกล้เคียงข้อใดมากที่สุด

**ก.**

ร้อยละ 60.3

**ข.**

ร้อยละ 39.7

**ค.**

ร้อยละ 50.0

**ง.**

ร้อยละ 69.7

**ข้อ 23.** ★★★★☆

คลอรีนในธรรมชาติมีไอโซโทป $^{35}\mathrm{Cl}$ ร้อยละ 75 และ $^{37}\mathrm{Cl}$ ร้อยละ 25 ถ้าอะตอมคลอรีนรวมตัวกันเป็นโมเลกุล $\mathrm{Cl_2}$ แบบสุ่มตามสัดส่วนในธรรมชาติ โมเลกุล $\mathrm{Cl_2}$ ที่มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 70 u (ใช้มวลไอโซโทป 35.0 และ 37.0 u) จะมีอยู่ร้อยละเท่าใดของโมเลกุลทั้งหมด

**ก.**

ร้อยละ 37.5

**ข.**

ร้อยละ 75

**ค.**

ร้อยละ 56.25

**ง.**

ร้อยละ 6.25

**ข้อ 24.** ★★★★☆

เงิน (Ag) ในธรรมชาติมีไอโซโทป 2 ชนิด คือ $^{107}\mathrm{Ag}$ (มวล 107.0 u) และ $^{109}\mathrm{Ag}$ (มวล 109.0 u) ถ้าอัตราส่วนจำนวนอะตอม $^{107}\mathrm{Ag} : {}^{109}\mathrm{Ag} = 13 : 12$ มวลอะตอมเฉลี่ยของเงินเท่ากับข้อใด

**ก.**

108.00 u

**ข.**

108.04 u

**ค.**

107.52 u

**ง.**

107.96 u

**ข้อ 25.** ★★★★★

แมกนีเซียมในธรรมชาติมีไอโซโทป 3 ชนิด คือ $^{24}\mathrm{Mg}$ (มวล 24.0 u), $^{25}\mathrm{Mg}$ (มวล 25.0 u) และ $^{26}\mathrm{Mg}$ (มวล 26.0 u) ถ้า $^{24}\mathrm{Mg}$ มีความอุดมสมบูรณ์ร้อยละ 79.0 และมวลอะตอมเฉลี่ยของแมกนีเซียมเท่ากับ 24.31 u ร้อยละความอุดมสมบูรณ์ของ $^{26}\mathrm{Mg}$ เท่ากับข้อใด

**ก.**

ร้อยละ 11.0

**ข.**

ร้อยละ 10.0

**ค.**

ร้อยละ 21.0

**ง.**

ร้อยละ 5.0

## ช่วงที่ 5 · สเปกตรัมและแบบจำลองโบร์

### 4. สเปกตรัมเส้นของไฮโดรเจนและระดับพลังงาน

ทำไมแก๊สไฮโดรเจนร้อนๆ ถึงเปล่งแสงเป็น "เส้นๆ" เฉพาะบางสี ไม่ใช่รุ้งต่อเนื่อง? เพราะอิเล็กตรอนอยู่ได้เฉพาะระดับพลังงานบางค่า เวลาตกจากชั้นสูงลงชั้นต่ำ มันคายพลังงานออกมาเป็นโฟตอนที่มีพลังงาน "เท่ากับผลต่างของสองระดับพอดี" — พลังงานถูกล็อกค่า สีของแสงจึงถูกล็อกตาม นี่คือหลักฐานชิ้นเอกของแบบจำลองโบร์

แก๊ส H ถูกกระตุ้นแล้วคายแสงเป็น "เส้น" เฉพาะค่า ไม่ต่อเนื่อง → หลักฐานว่าระดับพลังงานเป็นขั้น (quantized)
4 เส้นที่ตามองเห็น = อนุกรมบัลเมอร์ (อิเล็กตรอนตกลงมาที่ n = 2)

ระดับพลังงานของอะตอมไฮโดรเจน:

$$E_n = -\frac{R_H}{n^2} = -\frac{2.18 \times 10^{-18}}{n^2}\ \mathrm{J}$$

- เครื่องหมายลบแปลว่าอิเล็กตรอน **ถูกนิวเคลียสยึดไว้** ($E = 0$ คือหลุดเป็นอิสระที่ $n = \infty$)
- ยิ่ง $n$ มาก พลังงานยิ่งสูงขึ้น (ติดลบน้อยลง) และระดับพลังงานยิ่ง **ถี่ชิดกันขึ้น**

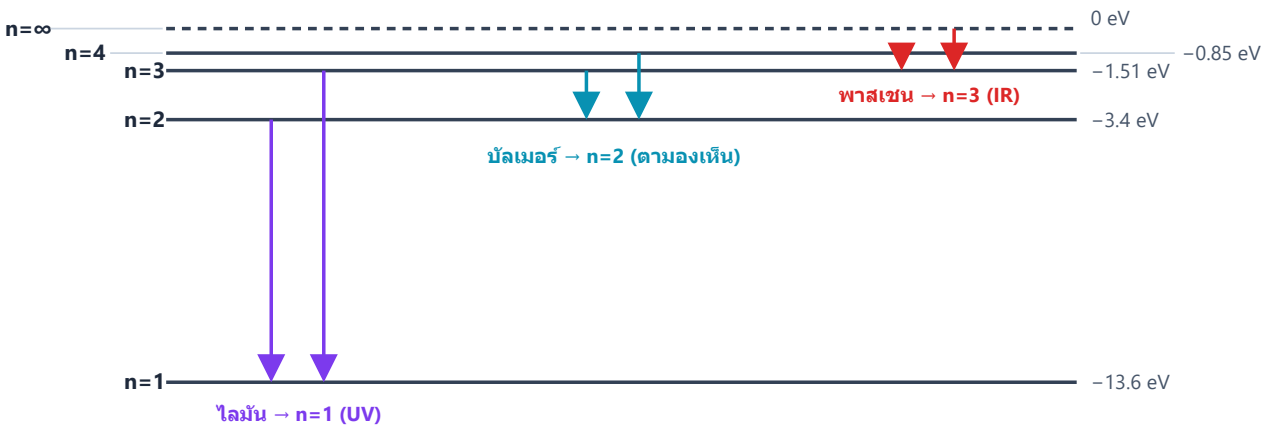
พลังงานโฟตอนที่คาย/ดูด สัมพันธ์กับความถี่และความยาวคลื่น:

$$\Delta E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

โดย $h = 6.626 \times 10^{-34}\ \mathrm{J \cdot s}$ และ $c = 3.00 \times 10^{8}\ \mathrm{m/s}$

อนุกรมสเปกตรัมที่ต้องรู้ (จำจากชั้นปลายทางที่อิเล็กตรอนตกลงมา):

| **อนุกรม** | **ตกลงสู่ $n_1$** | **ช่วงคลื่น** |
|---|---|---|
| Lyman | 1 | อัลตราไวโอเลต (UV) |
| Balmer | 2 | **แสงที่ตามองเห็น** |
| Paschen | 3 | อินฟราเรด (IR) |




ยิ่ง n สูง ระดับยิ่งชิดกัน · อิเล็กตรอน "ตก" จากชั้นสูงลงชั้นต่ำ → คายโฟตอนพลังงานเท่าผลต่างระดับพอดี

**ตัวอย่างโจทย์ 4.1** อิเล็กตรอนของอะตอมไฮโดรเจนตกจาก $n = 3$ ลงมา $n = 2$ จงหาพลังงานที่คายออกมา และความยาวคลื่นของแสง (ตอบเป็น nm) พร้อมระบุอนุกรม

**วิธีทำ**

1. หาพลังงานแต่ละระดับ:

$$E_3 = -\frac{2.18 \times 10^{-18}}{3^2} = -2.42 \times 10^{-19}\ \text{J}, \qquad E_2 = -\frac{2.18 \times 10^{-18}}{2^2} = -5.45 \times 10^{-19}\ \text{J}$$

2. พลังงานที่คายคือขนาดของผลต่าง (คิดตรงๆ จากสูตรรวบก็ได้):

$$\Delta E = 2.18 \times 10^{-18}\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2}\right) = 2.18 \times 10^{-18} \times \frac{5}{36} = 3.03 \times 10^{-19}\ \text{J}$$

3. แปลงเป็นความยาวคลื่นด้วย $\lambda = hc/\Delta E$ — ดูการตัดหน่วยให้ดี:

$$\lambda = \frac{(6.626 \times 10^{-34}\,\cancel{\text{J}}\cdot\cancel{\text{s}}) \times (3.00 \times 10^{8}\ \text{m}/\cancel{\text{s}})}{3.03 \times 10^{-19}\,\cancel{\text{J}}} = 6.56 \times 10^{-7}\ \text{m}$$

4. แปลงหน่วย: $6.56 \times 10^{-7}\,\cancel{\text{m}} \times \dfrac{10^9\ \text{nm}}{1\,\cancel{\text{m}}} = 656\ \text{nm}$ — อยู่ในช่วงตามองเห็น (แสงสีแดง)

**ตอบ** คายพลังงาน $3.03 \times 10^{-19}$ J, $\lambda \approx 656$ nm, เป็นเส้นในอนุกรม **Balmer** (ตกลงสู่ $n = 2$)

**ตัวอย่างโจทย์ 4.2** ใช้สูตรริดเบิร์ก $\dfrac{1}{\lambda} = R\left(\dfrac{1}{n_1^2} - \dfrac{1}{n_2^2}\right)$ โดย $R = 1.097 \times 10^7\ \text{m}^{-1}$ หาความยาวคลื่นของเส้นแรกในอนุกรม Lyman (ตกจาก $n = 2$ ลง $n = 1$)

**วิธีทำ**

1. แทนค่า $n_1 = 1, n_2 = 2$:

$$\frac{1}{\lambda} = 1.097 \times 10^7\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2}\right) = 1.097 \times 10^7 \times \frac{3}{4} = 8.23 \times 10^6\ \text{m}^{-1}$$

2. กลับเศษเป็นส่วน:

$$\lambda = \frac{1}{8.23 \times 10^6\ \text{m}^{-1}} = 1.215 \times 10^{-7}\ \text{m} = 121.5\ \text{nm}$$

**ตอบ** $\lambda \approx 121.5$ nm — สั้นกว่า 400 nm มาก จึงเป็นรังสี UV สมกับที่อนุกรม Lyman อยู่ช่วง UV ทั้งอนุกรม

**มุมคิดเร็ว:** พลังงานกับความยาวคลื่นสวนทางกัน — ตกจากชั้นไกลๆ ลงชั้นต่ำ = คายพลังงานมาก = คลื่นสั้น ดังนั้นเส้นที่ "คลื่นสั้นที่สุด" ของทุกอนุกรมคือการตกจาก $n = \infty$

**📝 ฝึกทันที 11 ข้อ (ง่าย→ยาก)**

**ข้อ 26.** ★☆☆☆☆

ในสเปกตรัมเปล่งออกของอะตอมไฮโดรเจน อนุกรมบัลเมอร์ซึ่งอยู่ในช่วงแสงที่มองเห็นได้ เกิดจากอิเล็กตรอนเปลี่ยนระดับพลังงานจากระดับสูงตกลงมาสิ้นสุดที่ระดับพลังงานใด

**ก.**

$n = 2$

**ข.**

$n = 1$

**ค.**

$n = 3$

**ง.**

$n = \infty$

**ข้อ 27.** ★★☆☆☆

โฟตอนของแสงสีม่วงมีความยาวคลื่น 400 nm และโฟตอนของแสงสีส้มมีความยาวคลื่น 600 nm ข้อสรุปใดถูกต้อง

**ก.**

โฟตอนทั้งสองมีพลังงานเท่ากัน เพราะเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วแสงเท่ากัน

**ข.**

โฟตอนแสงสีส้มมีพลังงานเป็น 1.5 เท่าของโฟตอนแสงสีม่วง

**ค.**

โฟตอนแสงสีม่วงมีพลังงานเป็น 1.5 เท่าของโฟตอนแสงสีส้ม

**ง.**

โฟตอนแสงสีม่วงมีพลังงานเป็น 2.25 เท่าของโฟตอนแสงสีส้ม

**ข้อ 28.** ★★☆☆☆

กำหนดพลังงานของอิเล็กตรอนในอะตอมไฮโดรเจนที่ระดับพลังงาน $n$ เป็น $E_n = -\dfrac{2.18 \times 10^{-18}}{n^2}$ J พลังงานของอิเล็กตรอนที่ระดับ $n = 2$ มีค่าเท่าใด

**ก.**

$-1.09 \times 10^{-18}$ J

**ข.**

$+5.45 \times 10^{-19}$ J

**ค.**

$-5.45 \times 10^{-19}$ J

**ง.**

$-8.72 \times 10^{-18}$ J

**ข้อ 29.** ★★★☆☆

พิจารณาข้อความเกี่ยวกับสเปกตรัมของอะตอมไฮโดรเจนตามแบบจำลองของโบร์ต่อไปนี้ (ก) สเปกตรัมเปล่งออกของไฮโดรเจนเป็นเส้นสว่างเฉพาะบางความยาวคลื่น เพราะอิเล็กตรอนมีระดับพลังงานได้เฉพาะบางค่าที่ไม่ต่อเนื่อง (ข) ผลต่างพลังงานระหว่างระดับพลังงานที่ติดกัน เช่น $n = 1$ กับ $n = 2$ และ $n = 2$ กับ $n = 3$ มีค่าเท่ากันทุกคู่ (ค) เส้นสเปกตรัมทุกเส้นในอนุกรมไลมัน (ตกลงสู่ $n = 1$) มีพลังงานสูงกว่าเส้นทุกเส้นในอนุกรมบัลเมอร์ (ตกลงสู่ $n = 2$) ข้อความชุดใดถูกต้อง

**ก.**

(ก) และ (ข)

**ข.**

(ข) และ (ค)

**ค.**

(ก) และ (ค)

**ง.**

(ก) (ข) และ (ค)

**ข้อ 30.** ★★★☆☆

กำหนดพลังงานของอิเล็กตรอนในอะตอมไฮโดรเจน $E_n = -\dfrac{2.18 \times 10^{-18}}{n^2}$ J, $h = 6.63 \times 10^{-34}$ J s และ $c = 3 \times 10^8$ m/s ถ้าต้องการกระตุ้นอิเล็กตรอนของอะตอมไฮโดรเจนจากสถานะพื้นขึ้นไปยังระดับ $n = 2$ ต้องใช้แสงที่มีความยาวคลื่นประมาณเท่าใด และแสงนี้อยู่ในช่วงใด

**ก.**

122 nm อยู่ในช่วงรังสีอัลตราไวโอเลต

**ข.**

91 nm อยู่ในช่วงรังสีอัลตราไวโอเลต

**ค.**

122 nm อยู่ในช่วงแสงที่มองเห็นได้

**ง.**

182 nm อยู่ในช่วงรังสีอัลตราไวโอเลต

**ข้อ 31.** ★★★☆☆

กำหนดพลังงานของอิเล็กตรอนในอะตอมไฮโดรเจนที่ระดับพลังงาน $n$ เป็น $E_n = -\frac{2.18 \times 10^{-18}}{n^2}$ J เมื่ออิเล็กตรอนเปลี่ยนระดับพลังงานจาก $n = 3$ ลงมายัง $n = 2$ จะคายพลังงานออกมาเท่าใด

**ก.**

$3.03 \times 10^{-19}$ J

**ข.**

$3.63 \times 10^{-19}$ J

**ค.**

$7.87 \times 10^{-19}$ J

**ง.**

$1.94 \times 10^{-18}$ J

**ข้อ 32.** ★★★☆☆

เส้นสเปกตรัมสีน้ำเงินเขียวเส้นหนึ่งในอนุกรมบัลเมอร์ของไฮโดรเจนมีความยาวคลื่น 486 nm จงหาพลังงานของโฟตอนแสงนี้ 1 โฟตอน กำหนด $h = 6.63 \times 10^{-34}$ J s, $c = 3 \times 10^{8}$ m/s และ $1\ \mathrm{nm} = 10^{-9}$ m

**ก.**

$4.09 \times 10^{-28}$ J

**ข.**

$9.67 \times 10^{-32}$ J

**ค.**

$4.09 \times 10^{-19}$ J

**ง.**

$4.09 \times 10^{-18}$ J

**ข้อ 33.** ★★★☆☆

อะตอมไฮโดรเจนจำนวนมากถูกกระตุ้นให้อิเล็กตรอนขึ้นไปอยู่ที่ระดับพลังงาน $n = 4$ เมื่ออิเล็กตรอนคายพลังงานกลับลงมาจนถึงสถานะพื้น จะเกิดเส้นสเปกตรัมที่มีพลังงานต่างกันได้มากที่สุดกี่เส้น

**ก.**

3 เส้น

**ข.**

4 เส้น

**ค.**

12 เส้น

**ง.**

6 เส้น

**ข้อ 34.** ★★★★☆

อะตอมไฮโดรเจนคายโฟตอนที่มีพลังงาน $4.58 \times 10^{-19}$ J เมื่ออิเล็กตรอนเปลี่ยนระดับพลังงานลงมาสิ้นสุดที่ระดับ $n = 2$ กำหนดพลังงานของอิเล็กตรอนในระดับ $n$ ของอะตอมไฮโดรเจนคือ $E_n = -\dfrac{2.18 \times 10^{-18}}{n^2}$ J อิเล็กตรอนตกลงมาจากระดับ $n$ เท่าใด และเส้นสเปกตรัมที่ได้อยู่ในช่วงใดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

**ก.**

$n = 5$ และอยู่ในช่วงแสงที่มองเห็นได้

**ข.**

$n = 5$ และอยู่ในช่วงรังสีอัลตราไวโอเลต

**ค.**

$n = 25$ และอยู่ในช่วงแสงที่มองเห็นได้

**ง.**

$n = 3$ และอยู่ในช่วงแสงที่มองเห็นได้

**ข้อ 35.** ★★★★☆

อะตอมไฮโดรเจนจำนวนมากถูกกระตุ้นให้อิเล็กตรอนขึ้นไปอยู่ที่ระดับพลังงาน $n = 5$ เมื่ออิเล็กตรอนคายพลังงานกลับลงมาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้ จะเกิดเส้นสเปกตรัมทั้งหมดกี่เส้น และในจำนวนนั้นมีกี่เส้นที่อยู่ในอนุกรมบัลเมอร์ (ช่วงแสงที่มองเห็นได้)

**ก.**

ทั้งหมด 4 เส้น เป็นอนุกรมบัลเมอร์ 1 เส้น

**ข.**

ทั้งหมด 10 เส้น เป็นอนุกรมบัลเมอร์ 4 เส้น

**ค.**

ทั้งหมด 20 เส้น เป็นอนุกรมบัลเมอร์ 3 เส้น

**ง.**

ทั้งหมด 10 เส้น เป็นอนุกรมบัลเมอร์ 3 เส้น

**ข้อ 36.** ★★★★★

กำหนดพลังงานของอิเล็กตรอนในอะตอมไฮโดรเจน $E_n = -\frac{2.18\times10^{-18}}{n^2}$ J ต่ออะตอม และ $N_A = 6.02 \times 10^{23}\ \mathrm{mol}^{-1}$ พลังงานต่ำสุดที่ต้องใช้เพื่อทำให้อะตอมไฮโดรเจนในสถานะพื้นจำนวน 1 โมล แตกตัวเป็น $\mathrm{H}^+$ กับอิเล็กตรอนทั้งหมด มีค่าใกล้เคียงข้อใดมากที่สุด

**ก.**

984 kJ

**ข.**

328 kJ

**ค.**

$1.31 \times 10^6$ kJ

**ง.**

1312 kJ

## ช่วงที่ 6 · การจัดเรียงอิเล็กตรอนแบบชั้น

### 5. การจัดเรียงอิเล็กตรอนแบบชั้น และเวเลนซ์อิเล็กตรอน

การจัดแบบชั้น (shell) คือเวอร์ชันหยาบที่ใช้เร็วในห้องสอบ กติกามี 3 ข้อ:

1. ชั้นที่ $n$ จุอิเล็กตรอนได้สูงสุด $2n^2$ ตัว: ชั้น 1 → 2, ชั้น 2 → 8, ชั้น 3 → 18, ชั้น 4 → 32
2. แต่ **ชั้นนอกสุดห้ามเกิน 8** เสมอ
3. เติมจากชั้นในออกนอก ถ้าเติมชั้นนอกครบ 8 แล้วยังเหลืออิเล็กตรอน ให้ขึ้นชั้นใหม่ก่อน (แล้วชั้นในค่อยกลับมารับเพิ่มทีหลังในธาตุแทรนซิชัน)

- **เวเลนซ์อิเล็กตรอน** = อิเล็กตรอนชั้นนอกสุด → บอก **หมู่** (สำหรับธาตุ representative)
- **จำนวนชั้นที่มีอิเล็กตรอน** → บอก **คาบ**

**ตัวอย่างโจทย์ 5.1** ธาตุ X มี $Z = 20$ จงจัดเรียงอิเล็กตรอนแบบชั้น ระบุหมู่ คาบ และทำนายไอออนที่เสถียร

**วิธีทำ**

1. เติมทีละชั้น: ชั้น 1 รับ 2 (เหลือ 18) → ชั้น 2 รับ 8 (เหลือ 10) → ชั้น 3 ตามความจุรับได้ 18 แต่ตอนนี้เหลือ 10 ตัว ถ้าใส่หมดชั้นนอกสุดจะเกิน 8 ไม่ได้! จึงใส่ชั้น 3 แค่ 8 (เหลือ 2) → ชั้น 4 รับ 2
2. ได้ **2, 8, 8, 2**
3. เวเลนซ์อิเล็กตรอน 2 → หมู่ IIA; มี 4 ชั้น → คาบ 4 (ธาตุนี้คือ Ca)
4. เสียอิเล็กตรอน 2 ตัวจะได้ชั้นนอกครบ 8 แบบแก๊สเฉื่อย → เกิด $\mathrm{X}^{2+}$ ที่จัดเรียงเป็น 2, 8, 8

**ตอบ** 2, 8, 8, 2; หมู่ IIA คาบ 4; ไอออนเสถียรคือ $\mathrm{X}^{2+}$

**กับดักคลาสสิก:** K ($Z = 19$) ต้องเป็น 2, 8, 8, 1 — ไม่ใช่ 2, 8, 9 เพราะชั้นนอกสุดห้ามเกิน 8 นี่คือจุดที่กฎข้อ 2 ทำงาน

**ตัวอย่างช่วง $Z > 20$ (วงเล็บท้ายกฎข้อ 3 ทำงานจริง):** Zn ($Z = 30$) จัดเป็น **2, 8, 18, 2** (นับเช็ก: $2 + 8 + 18 + 2 = 30$ ✓) — หลัง Ca (2, 8, 8, 2) ธาตุแทรนซิชันคาบ 4 (Sc ถึง Zn) คือช่วงที่ชั้น 3 "กลับมารับอิเล็กตรอนเพิ่ม" จาก 8 จนเต็มความจุ 18 โดยชั้นนอกสุด (ชั้น 4) ยังคงมีราวๆ 2 ตัว พอชั้น 3 เต็มแล้ว ธาตุถัดไปอย่าง Ga ($Z = 31$) จึงเติมต่อที่ชั้นนอกสุด: **2, 8, 18, 3** ($2 + 8 + 18 + 3 = 31$ ✓)

### ✏️ ฝึกทันที 4 ข้อ (ง่าย→ยาก)

**ข้อ 37.** ★☆☆☆☆

ระดับพลังงานหลัก $n = 3$ ของอะตอมบรรจุอิเล็กตรอนได้มากที่สุดกี่ตัว

**ก.**

8 ตัว

**ข.**

18 ตัว

**ค.**

32 ตัว

**ง.**

6 ตัว

**ข้อ 38.** ★★☆☆☆

อะตอมคลอรีน (Cl) มีเลขอะตอม 17 ในสถานะพื้น อะตอมคลอรีนมีอิเล็กตรอนอยู่ในออร์บิทัลชนิด $p$ ทั้งหมดรวมกี่ตัว

**ก.**

5 ตัว

**ข.**

11 ตัว

**ค.**

6 ตัว

**ง.**

12 ตัว

**ข้อ 39.** ★★☆☆☆

ธาตุกำมะถัน (S) มีเลขอะตอม 16 การจัดเรียงอิเล็กตรอนแบบชั้นในสถานะพื้น และจำนวนเวเลนซ์อิเล็กตรอน ตรงกับข้อใด

**ก.**

2, 8, 6 และมีเวเลนซ์อิเล็กตรอน 6 ตัว

**ข.**

2, 8, 6 และมีเวเลนซ์อิเล็กตรอน 2 ตัว

**ค.**

2, 6, 8 และมีเวเลนซ์อิเล็กตรอน 8 ตัว

**ง.**

2, 8, 8 และมีเวเลนซ์อิเล็กตรอน 8 ตัว

**ข้อ 40.** ★★★☆☆

กำหนดแผนภาพการบรรจุอิเล็กตรอนในออร์บิทัล $2p$ ทั้งสาม (พลังงานเท่ากัน) ของอะตอมออกซิเจน ($2p^4$) 4 แบบ ดังนี้ (ก) (↑↓)(↑↓)( ) (ข) (↑↓)(↑)(↑) (ค) (↑↓)(↑)(↓) (ง) (↑↑)(↑)(↑) แบบใดเป็นการบรรจุอิเล็กตรอนในสถานะพื้นที่ถูกต้อง

**ก.**

แบบ (ก)

**ข.**

แบบ (ข)

**ค.**

แบบ (ค)

**ง.**

แบบ (ง)

## ช่วงที่ 7 · เลขควอนตัมและการจัดเรียงแบบออร์บิทัล

### 6. เลขควอนตัมเบื้องต้น — พิกัด GPS ของอิเล็กตรอน

แบบจำลองกลุ่มหมอกระบุ "ที่อยู่" ของอิเล็กตรอนด้วยเลข 4 ตัว เหมือนที่อยู่บ้าน: จังหวัด → อำเภอ → บ้านเลขที่ → ชื่อผู้อยู่

| เลขควอนตัม | สัญลักษณ์ | ค่าที่เป็นไปได้ | บอกอะไร |
|---|---|---|---|
| หลัก (principal) | $n$ | $1, 2, 3, \ldots$ | ระดับพลังงานหลัก / ขนาดออร์บิทัล |
| โมเมนตัมเชิงมุม (azimuthal) | $l$ | $0$ ถึง $n-1$ | รูปร่างออร์บิทัล: $l = 0, 1, 2, 3$ คือ $s, p, d, f$ |

| เลขควอนตัม | สัญลักษณ์ | ค่าที่เป็นไปได้ | บอกอะไร |
|---|---|---|---|
| แม่เหล็ก (magnetic) | $m_l$ | $-l$ ถึง $+l$ | ทิศการวางตัวของออร์บิทัล |
| สปิน (spin) | $m_s$ | $+\frac{1}{2}$ หรือ $-\frac{1}{2}$ | ทิศทางสปินของอิเล็กตรอน |

ผลที่ตามมาแบบนับได้ (ออกสอบบ่อย):

- ซับเชลล์ $s, p, d, f$ มีออร์บิทัลย่อย $1, 3, 5, 7$ ออร์บิทัล → จุอิเล็กตรอนได้ $2, 6, 10, 14$ ตัว
- ระดับ $n$ มีออร์บิทัลรวม $n^2$ ออร์บิทัล → จุอิเล็กตรอนสูงสุด $2n^2$ ตัว (ที่มาของกฎในหัวข้อ 5 นั่นเอง)

**ตัวอย่างโจทย์ 6.1** ที่ระดับ $n = 3$ มีซับเชลล์อะไรบ้าง มีออร์บิทัลรวมกี่ออร์บิทัล และจุอิเล็กตรอนได้สูงสุดกี่ตัว

**วิธีทำ**

1. $l$ วิ่งจาก $0$ ถึง $n - 1 = 2$ → มี $l = 0, 1, 2$ คือซับเชลล์ $3s, 3p, 3d$
2. นับออร์บิทัล: $3s$ มี 1, $3p$ มี 3, $3d$ มี 5 → รวม $1 + 3 + 5 = 9 = n^2$ ✓
3. อิเล็กตรอนสูงสุด $= 2 \times 9 = 18 = 2n^2$ ✓

**ตอบ** มี $3s, 3p, 3d$; รวม 9 ออร์บิทัล; จุได้สูงสุด 18 อิเล็กตรอน

**เช็กชุดเลขควอนตัมว่า "เป็นไปได้" ไหม:** เช่น $(n, l, m_l) = (2, 2, 0)$ ผิดทันที เพราะ $l$ ต้องไม่เกิน $n - 1$ ส่วน $(3, 1, -1)$ ถูกต้อง (คือออร์บิทัลหนึ่งใน $3p$)

## 7. การจัดเรียงอิเล็กตรอนแบบออร์บิทัล: Aufbau, Pauli, Hund

การจัดแบบละเอียดใช้กฎ 3 ข้อทำงานร่วมกัน:

1. **หลักเอาฟ์เบา (Aufbau):** เติมอิเล็กตรอนจากออร์บิทัลพลังงานต่ำไปสูง ตามลำดับ

$$1s \to 2s \to 2p \to 3s \to 3p \to 4s \to 3d \to 4p \to 5s \to 4d \to 5p \to 6s$$

จุดพลิกคือ $4s$ มาก่อน $3d$ (จำผ่านแผนภาพลูกศรทแยง หรือท่องช่วงหักเลี้ยว "3p 4s 3d 4p" ให้ขึ้นใจ) 2. **หลักการกีดกันของเพาลี (Pauli):** อิเล็กตรอน 2 ตัวในอะตอมเดียวกันมีเลขควอนตัมครบชุดซ้ำกันไม่ได้ → 1 ออร์บิทัลจุได้สูงสุด 2 ตัวและต้องสปินสวนกัน 3. **กฎของฮุนด์ (Hund):** ในซับเชลล์เดียวกัน ให้กระจายอิเล็กตรอนแบบเดี่ยวๆ สปินขนานกันให้ครบทุกออร์บิทัลก่อน แล้วค่อยจับคู่ (เหมือนคนขึ้นรถเมล์ — เลือกนั่งเบาะว่างก่อนไปนั่งเบียดใคร)

**สองข้อยกเว้นดังที่ต้องจำ:** ความเสถียรพิเศษของซับเชลล์ **ครึ่งเต็ม** ($d^5$) และ **เต็ม** ($d^{10}$) ทำให้

- Cr ($Z = 24$): $[\text{Ar}]\, 4s^1 3d^5$ (ไม่ใช่ $4s^2 3d^4$)
- Cu ($Z = 29$): $[\text{Ar}]\, 4s^1 3d^{10}$ (ไม่ใช่ $4s^2 3d^9$)

**กฎเหล็กของไอออนธาตุแทรนซิชัน:** ตอนเติมใส่ $4s$ ก่อน แต่ตอนดึงออก **ดึงจาก** $4s$ **ก่อนเสมอ** (ชั้น $n = 4$ อยู่นอกสุด โดนดึงง่ายสุด)

**ตัวอย่างโจทย์ 7.1** จงจัดเรียงอิเล็กตรอนแบบออร์บิทัลของ Fe ($Z = 26$), $Fe^{2+}$ และ $Fe^{3+}$ พร้อมบอกจำนวนอิเล็กตรอนเดี่ยว (unpaired) ของ $Fe^{3+}$

**วิธีทำ**

1. Fe มี 26 อิเล็กตรอน เติมตาม Aufbau: $1s^2\,2s^2\,2p^6\,3s^2\,3p^6\,4s^2\,3d^6$ (นับเช็ก: $2+2+6+2+6+2+6=26$ ✓) เขียนย่อ $[\mathrm{Ar}]\,4s^2 3d^6$
2. $Fe^{2+}$ ดึงออก 2 ตัว **จาก** $4s$ **ก่อน**: $[\mathrm{Ar}]\,3d^6$
3. $Fe^{3+}$ ดึงเพิ่มอีก 1 ตัวจาก $3d$: $[\mathrm{Ar}]\,3d^5$ — สังเกตว่าเป็น $d$ ครึ่งเต็มพอดี จึงเสถียรเป็นพิเศษ (นี่คือเหตุผลที่ $Fe^{3+}$ พบได้ทั่วไปในธรรมชาติ)
4. ตามกฎฮุนด์ $3d^5$ กระจายเดี่ยวครบทั้ง 5 ออร์บิทัล → อิเล็กตรอนเดี่ยว 5 ตัว

**ตอบ** Fe: $[\mathrm{Ar}]\,4s^2 3d^6$; $Fe^{2+}$: $[\mathrm{Ar}]\,3d^6$; $Fe^{3+}$: $[\mathrm{Ar}]\,3d^5$ มีอิเล็กตรอนเดี่ยว 5 ตัว

**ตัวอย่างโจทย์ 7.2** ธาตุ A มีการจัดเรียงลงท้ายด้วย $3s^2 3p^4$ จงบอกหมู่ คาบ เวเลนซ์อิเล็กตรอน และไอออนที่เสถียร

**วิธีทำ**

1. ชั้นนอกสุดคือ $n=3$ → คาบ 3
2. เวเลนซ์อิเล็กตรอน $=2+4=6$ → หมู่ VIA (ธาตุนี้คือ S)
3. รับอีก 2 ตัวจะครบออกเตต → ไอออนเสถียรคือ $\mathrm{A}^{2-}$ (จัดเรียงเหมือน Ar)

**ตอบ** หมู่ VIA คาบ 3 เวเลนซ์อิเล็กตรอน 6 ไอออนเสถียร $\mathrm{A}^{2-}$

### 📝 ฝึกทันที 7 ข้อ (ง่าย→ยาก)

**ข้อ 41.** ★★★☆☆

ธาตุ X มีเลขอะตอม 20 การจัดเรียงอิเล็กตรอนแบบชั้น (ระดับพลังงานหลัก) ในสถานะพื้นของ X เป็นไปตามข้อใด

**ก.**

2, 8, 10

**ข.**

2, 8, 8, 2

**ค.**

2, 18

**ง.**

2, 8, 9, 1

**ข้อ 42.** ★★★☆☆

ธาตุในข้อใดมีจำนวนอิเล็กตรอนเดี่ยว (unpaired electron) ในสถานะพื้นมากที่สุด

**ก.**

C ($Z = 6$)

**ข.**

N ($Z = 7$)

**ค.**

O ($Z = 8$)

**ง.**

F ($Z = 9$)

**ข้อ 43.** ★★★☆☆

ชุดเลขควอนตัม ($n$, $l$, $m_l$, $m_s$) ในข้อใด เป็นไปไม่ได้ สำหรับอิเล็กตรอนในอะตอม

**ก.**

$n = 3,\ l = 2,\ m_l = -2,\ m_s = +\frac{1}{2}$

**ข.**

$n = 2,\ l = 1,\ m_l = 0,\ m_s = -\frac{1}{2}$

**ค.**

$n = 2,\ l = 2,\ m_l = 1,\ m_s = +\frac{1}{2}$

**ง.**

$n = 4,\ l = 0,\ m_l = 0,\ m_s = -\frac{1}{2}$

**ข้อ 44.** ★★★★☆

กำหนดเลขอะตอมของ Mn = 25 ไอออนของแมงกานีสในสารประกอบ $Mn_2O_3$ มีอิเล็กตรอนเดี่ยว (unpaired electron) ในสถานะพื้นกี่ตัว

**ก.**

4 ตัว

**ข.**

5 ตัว

**ค.**

2 ตัว

**ง.**

3 ตัว

**ข้อ 45.** ★★★★☆

กำหนดเลขอะตอม Cr = 24, Mn = 25, Fe = 26, Co = 27 ไอออน $2+$ ของธาตุใดมีการจัดเรียงอิเล็กตรอนแบบ $3d$ ครึ่งเต็ม (half-filled) ในสถานะพื้น

**ก.**

$Cr^{2+}$

**ข.**

$Co^{2+}$

**ค.**

$Fe^{2+}$

**ง.**

$Mn^{2+}$

**ข้อ 46.** ★★★★☆

เหล็ก (Fe) มีเลขอะตอม 26 การจัดเรียงอิเล็กตรอนแบบออร์บิทัลของไอออน $Fe^{2+}$ ในสถานะพื้นตรงกับข้อใด

**ก.**

$[Ar]\ 3d^6$

**ข.**

$[Ar]\ 3d^4\ 4s^2$

**ค.**

$[Ar]\ 3d^6\ 4s^2$

**ง.**

$[Ar]\ 3d^5\ 4s^1$

**ข้อ 47.** ★★★★★

ไอออน $X^{3+}$ ของธาตุแทรนซิชันชนิดหนึ่งมีการจัดเรียงอิเล็กตรอนในสถานะพื้นเป็น $[Ar]\ 3d^3$ ถ้านิวไคลด์ของ X มีเลขมวล 52 ข้อสรุปใดถูกต้อง

**ก.**

อะตอม X มีการจัดเรียงอิเล็กตรอนเป็น $[Ar]\ 3d^3\ 4s^3$

**ข.**

ธาตุ X มีเลขอะตอม 21 และมีนิวตรอน 31 ตัว

**ค.**

อะตอม X ในสถานะพื้นมีการจัดเรียงอิเล็กตรอนเป็น $[Ar]\ 3d^4\ 4s^2$

**ง.**

อะตอม X ในสถานะพื้นมีการจัดเรียงอิเล็กตรอนเป็น $[Ar]\ 3d^5\ 4s^1$ และมีนิวตรอน 28 ตัว

## ช่วงที่ 8 · กัมมันตภาพรังสีและครึ่งชีวิต

หัวข้อนี้ยังไม่มีเนื้อหาสอนในบทเรียน — ฝึกจากโจทย์และเฉลยละเอียดไปก่อน

📝 **ฝึกทันที 8 ข้อ (ง่าย→ยาก)**

**ข้อ 48.** ★☆☆☆☆

รังสีชนิดใดต่อไปนี้เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ไม่มีประจุและไม่มีมวล จึงมีอำนาจทะลุทะลวงสูงที่สุด

**ก.**

รังสีแอลฟา

**ข.**

รังสีแกมมา

**ค.**

รังสีบีตา

**ง.**

รังสีแคโทด

**ข้อ 49.** ★★☆☆☆

ไอโซโทปกัมมันตรังสี Na-24 มีครึ่งชีวิต 15 ชั่วโมง ถ้าเริ่มต้นมี Na-24 อยู่ 8.00 กรัม เมื่อเวลาผ่านไป 2.5 วัน จะเหลือ Na-24 อยู่กี่กรัม

**ก.**

1.00 กรัม

**ข.**

0.50 กรัม

**ค.**

2.00 กรัม

**ง.**

0.25 กรัม

**ข้อ 50.** ★★☆☆☆

ในปฏิกิริยานิวเคลียร์ ${}^{27}_{13}\mathrm{Al} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \rightarrow {}^{30}_{15}\mathrm{P} + \mathrm{X}$ อนุภาค X คือข้อใด

**ก.**

โปรตอน (${}^{1}_{1}\mathrm{H}$)

**ข.**

นิวตรอน (${}^{1}_{0}n$)

**ค.**

อนุภาคบีตาลบ (${}^{0}_{-1}e$)

**ง.**

อนุภาคแอลฟา (${}^{4}_{2}\mathrm{He}$)

**ข้อ 51.** ★★★☆☆

นิวไคลด์ ${}^{232}_{90}\mathrm{Th}$ สลายตัวโดยปล่อยอนุภาคแอลฟา 1 อนุภาค จากนั้นนิวไคลด์ที่เกิดขึ้นสลายตัวต่อโดยปล่อยอนุภาคบีตาลบ ($\beta^{-}$) อีก 2 อนุภาคตามลำดับ นิวไคลด์สุดท้ายที่ได้คือข้อใด

**ก.**

${}^{228}_{88}\mathrm{Ra}$

**ข.**

${}^{228}_{86}\mathrm{Rn}$

**ค.**

${}^{224}_{90}\mathrm{Th}$

**ง.**

${}^{228}_{90}\mathrm{Th}$

**ข้อ 52.** ★★★☆☆

ไอโซโทปกัมมันตรังสีชนิดหนึ่งสลายตัวไปร้อยละ 87.5 ของปริมาณเริ่มต้น ในเวลา 24 วัน ครึ่งชีวิตของไอโซโทปนี้เท่ากับข้อใด

**ก.**

8 วัน

**ข.**

12 วัน

**ค.**

6 วัน

**ง.**

3 วัน

**ข้อ 53.** ★★★★☆

ไอโซโทปกัมมันตรังสี A สลายตัวให้นิวไคลด์เสถียร B โดยมีครึ่งชีวิต 6 ชั่วโมง เริ่มต้นมีแต่ A บริสุทธิ์เท่านั้น เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่ง พบว่าอัตราส่วนจำนวนอะตอม B ต่อ A เท่ากับ 7 : 1 เวลาที่ผ่านไปเท่ากับข้อใด

**ก.**

12 ชั่วโมง

**ข.**

42 ชั่วโมง

**ค.**

18 ชั่วโมง

**ง.**

24 ชั่วโมง

**ข้อ 54.** ★★★★☆

นักโบราณคดีตรวจชิ้นไม้โบราณชิ้นหนึ่ง พบว่ามีปริมาณ $^{14}\mathrm{C}$ เหลืออยู่ร้อยละ 6.25 ของปริมาณในเนื้อไม้ของต้นไม้ที่มีชีวิต กำหนดครึ่งชีวิตของ $^{14}\mathrm{C}$ เท่ากับ 5,730 ปี และ $^{14}\mathrm{C}$ สลายตัวโดยปล่อยรังสีบีตาลบ อายุของชิ้นไม้และนิวไคลด์ที่เกิดจากการสลายตัวคือข้อใด

**ก.**

17,190 ปี และได้ $^{14}_{7}\mathrm{N}$

**ข.**

22,920 ปี และได้ $^{10}_{4}\mathrm{Be}$

**ค.**

17,190 ปี และได้ $^{14}_{5}\mathrm{B}$

**ง.**

22,920 ปี และได้ $^{14}_{7}\mathrm{N}$

**ข้อ 55.** ★★★★★

นิวไคลด์ $^{210}_{84}\mathrm{Po}$ สลายตัวปล่อยอนุภาคแอลฟาได้ $^{206}_{82}\mathrm{Pb}$ โดยมีครึ่งชีวิต 138 วัน ถ้าเริ่มต้นมี $\mathrm{Po\text{-}210}$ บริสุทธิ์ 42.0 กรัม เมื่อเวลาผ่านไป 276 วัน จะเกิด $\mathrm{Pb\text{-}206}$ ขึ้นกี่กรัม (กำหนดมวลต่อโมลของ $\mathrm{Po\text{-}210}$ = 210 g/mol และ $\mathrm{Pb\text{-}206}$ = 206 g/mol)

**ก.**

31.5 กรัม

**ข.**

10.5 กรัม

**ค.**

20.6 กรัม

**ง.**

30.9 กรัม

## ช่วงที่ 9 · สรุปและจุดพลาดบ่อย

### 📌 สรุปสูตรและประเด็นต้องจำ

| เรื่อง | สูตร/ค่า | หมายเหตุ |
|---|---|---|
| เลขมวล | $A = Z + N$ | $Z$ = โปรตอน, $N$ = นิวตรอน |

| เรื่อง | สูตร/ค่า | หมายเหตุ |
|---|---|---|
| อิเล็กตรอนของไอออน | บวก $m$: $e = Z - m$; ลบ $m$: $e = Z + m$ | นิวเคลียสไม่เปลี่ยน |
| มวลอะตอมเฉลี่ย | $\bar{m} = \sum(\text{mass} \times \text{fraction})$ | เศษส่วนรวมต้องเป็น 1 |
| ระดับพลังงานไฮโดรเจน | $E_n = -\dfrac{2.18 \times 10^{-18}}{n^2}\ \text{J}$ | ใช้ได้เฉพาะระบบอิเล็กตรอนเดียว |
| พลังงานโฟตอน | $\Delta E = h\nu = \dfrac{hc}{\lambda}$ | $h = 6.626 \times 10^{-34}\ \text{J} \cdot \text{s}$, $c = 3.00 \times 10^8\ \text{m/s}$ |
| สูตรริดเบิร์ก | $\dfrac{1}{\lambda} = R\left(\dfrac{1}{n_1^2} - \dfrac{1}{n_2^2}\right)$ | $R = 1.097 \times 10^7\ \text{m}^{-1}$ |
| อนุกรมสเปกตรัม | Lyman → $n = 1$ (UV), Balmer → $n = 2$ (visible), Paschen → $n = 3$ (IR) | จำจากชั้นปลายทาง |
| ความจุชั้น | $2n^2$ แต่ชั้นนอกสุดไม่เกิน 8 | ชั้น 1–4: 2, 8, 18, 32 |
| ออร์บิทัลต่อระดับ | $n^2$ ออร์บิทัล, $2n^2$ อิเล็กตรอน | $s, p, d, f$ จุ $2, 6, 10, 14$ |
| ขอบเขตเลขควอนตัม | $l = 0 \ldots n-1$; $m_l = -l \cdots +l$; $m_s = \pm\frac{1}{2}$ | ใช้เช็กชุดเลขว่าเป็นไปได้ไหม |
| ลำดับ Aufbau | $1s\ 2s\ 2p\ 3s\ 3p\ 4s\ 3d\ 4p\ 5s\ 4d\ 5p\ 6s$ | $4s$ มาก่อน $3d$ ตอนเติม |
| ข้อยกเว้น | Cr: $4s^1 3d^5$, Cu: $4s^1 3d^{10}$ | ครึ่งเต็ม/เต็มเสถียรพิเศษ |
| ไอออนแทรนซิชัน | ดึง $4s$ ออกก่อน $3d$ เสมอ | เช่น $Fe^{3+}$ = $[\text{Ar}]3d^5$ |

## ⚠️ จุดที่เด็กพลาดบ่อย

- **สับสนเลขมวลกับมวลอะตอม** — เลขมวล $A$ เป็นจำนวนเต็มเสมอ (นับก้อนอนุภาค) ส่วนมวลอะตอมในตารางธาตุมีทศนิยมเพราะเป็นค่าเฉลี่ยไอโซโทป วิธีเลี่ยง: เห็นทศนิยมเมื่อไร นั่นคือมวลเฉลี่ย ห้ามเอาไปลบ $Z$ หานิวตรอนตรงๆ
- **นับอิเล็กตรอนไอออนกลับด้าน** — เห็นประจุ $2+$ แล้วเผลอ "บวก" อิเล็กตรอนเพิ่ม วิธีเลี่ยง: ท่องว่า "ประจุบวก = เสียของ" อิเล็กตรอนต้องลดลง แล้วเช็กว่าไอออนบวกต้อง $e < Z$ เสมอ
- **คิดว่าไอออนมีนิวตรอนเปลี่ยน** — การเกิดไอออนแตะแค่อิเล็กตรอน $Z$ กับ $N$ เท่าเดิมทุกกรณี
- **จำอนุกรมสเปกตรัมสลับ** — Balmer เท่านั้นที่ตามองเห็น วิธีเลี่ยง: จำ "ตกลงชั้น 2 เห็นด้วยตา" เพราะเส้น 656 nm (แดง) ที่คำนวณในบทนี้คือ Balmer
- **ลืมว่าพลังงานกับความยาวคลื่นสวนทาง** — คายพลังงานมาก = $\lambda$ สั้น ไม่ใช่ยาว วิธีเลี่ยง: มองสูตร $\Delta E = hc/\lambda$ — $\lambda$ อยู่ตัวส่วน
- **จัดชั้นนอกสุดเกิน 8** — K เขียน 2, 8, 9 คือผิดคลาสสิก ต้องเป็น 2, 8, 8, 1 วิธีเลี่ยง: ทุกครั้งที่จัดเสร็จ เหลือบดูตัวเลขขวาสุดว่าไม่เกิน 8
- **เขียน Cr/Cu ตาม Aufbau ตรงๆ** — $4s^2 3d^4$ กับ $4s^2 3d^9$ คือคำตอบที่ข้อสอบดักไว้ ต้องเป็น $4s^1 3d^5$ และ $4s^1 3d^{10}$
- **ดึงอิเล็กตรอนไอออนแทรนซิชันจาก $3d$ ก่อน** — ผิด! เติม $4s$ ก่อนแต่ดึง $4s$ ก่อนด้วย วิธีเลี่ยง: จำว่า "เข้าก่อน–ออกก่อน" สำหรับ $4s$

- **ให้ $l = n$ ได้** — ชุดเลขควอนตัมอย่าง $(2, 2, 0)$ เป็นไปไม่ได้ เพราะ $l$ สูงสุดคือ $n - 1$ วิธีเลี่ยง: เช็กเงื่อนไขไล่จาก $n \to l \to m_l$ ทีละชั้นทุกครั้ง
- **ลืมกฎฮุนด์ตอนนับอิเล็กตรอนเดี่ยว** — เช่น $3d^6$ ต้องกาง 5 ช่องแล้วกระจายเดี่ยวก่อนจับคู่ ได้เดี่ยว 4 ตัว ไม่ใช่เอา 6 หาร 2 วิธีเลี่ยง: วาดกล่องออร์บิทัลจริงๆ ทุกครั้ง อย่าคิดในหัว

## เฉลยย่อ บทที่ 2

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. ค | 2. ค | 3. ค | 4. ข | 5. ข | 6. ค | 7. ง | 8. ข | 9. ก | 10. ก |
| 11. ข | 12. ง | 13. ค | 14. ง | 15. ง | 16. ก | 17. ค | 18. ค | 19. ข | 20. ข |
| 21. ก | 22. ก | 23. ค | 24. ง | 25. ข | 26. ก | 27. ค | 28. ค | 29. ค | 30. ก |
| 31. ก | 32. ค | 33. ง | 34. ก | 35. ง | 36. ง | 37. ข | 38. ข | 39. ก | 40. ข |
| 41. ข | 42. ข | 43. ค | 44. ก | 45. ง | 46. ก | 47. ง | 48. ข | 49. ข | 50. ข |
| 51. ง | 52. ก | 53. ค | 54. ง | 55. ง | | | | | |

เฉลยละเอียดทีละขั้นดูได้ในแอป (โหมดไต่บันได/เรียน+ฝึก)