บทที่ 8 ของแข็งและของเหลว

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

ของแข็งและของเหลว

หมวดนี้ออกสอบน้อยที่สุด (~1.5%) แต่เป็น "ข้อแจกคะแนน" สำหรับคนที่แม่นแนวคิด เพราะแทบไม่ต้องคำนวณ — ข้อสอบจริงวนอยู่ไม่กี่แนว: (1) **ผลของอุณหภูมิต่อสมบัติของเหลว** (ลดอุณหภูมิแล้วความหนืด/ความตึงผิว/ความดันไอเปลี่ยนอย่างไร) (2) **โยงความดันไอ–แรงยึดเหนี่ยว–จุดเดือด** ทั้งแบบให้เรียงลำดับและแบบอ่านกราฟความดันไอ–อุณหภูมิ (3) **จุดเดือดกับความดันบรรยากาศ** (ต้มน้ำบนดอย หม้ออัดความดัน) (4) **แรงเชื่อมแน่น–แรงยึดติด** จากรูปหลอดคะปิลลารีและผิวโค้งของเหลว และ (5) **เลือกชุดจุดหลอมเหลว/จุดเดือดให้สอดคล้องกับสถานะที่ 25°C** — ทุกแนวใช้เครื่องมือเดียวกันคือ "แรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาค" ใครจับหลักนี้ได้หมวดนี้เก็บเต็ม

1. แบบจำลองอนุภาคของสามสถานะ: ศึกชักเย่อระหว่างพลังงานจลน์กับแรงยึดเหนี่ยว

สสารทุกชนิดประกอบด้วยอนุภาคที่**เคลื่อนที่ตลอดเวลา**และ**มีแรงยึดเหนี่ยวดึงดูดกัน** สถานะของสารคือผลแพ้ชนะของสองฝ่ายนี้:

- พลังงานจลน์เฉลี่ยของอนุภาคขึ้นกับ**อุณหภูมิเท่านั้น**: $\bar{E}_k \propto T$ (หน่วยเคลวิน)
- แรงยึดเหนี่ยวขึ้นกับ**ชนิดของสาร** (พันธะ/แรงระหว่างโมเลกุล)

สมบัติ	ของแข็ง	ของเหลว	แก๊ส
การจัดเรียงอนุภาค	ชิดกัน เป็นระเบียบ	ชิดกัน ไม่เป็นระเบียบ	ห่างกันมาก
การเคลื่อนที่	สั่นอยู่กับที่	เลื่อนไถลผ่านกันได้	อิสระทุกทิศทาง
แรงยึดเหนี่ยวเทียบพลังงานจลน์	ชนะขาด	ก้ำกึ่ง	แพ้ขาด
รูปร่าง/ปริมาตร	คงที่ทั้งคู่	ปริมาตรคงที่ รูปร่างตามภาชนะ	ไม่คงที่ทั้งคู่ (ฟุ้งเต็มภาชนะ)
การบีบอัด	แทบไม่ได้	แทบไม่ได้	ได้มาก

จุดที่ข้อสอบชอบหยอด: ที่**อุณหภูมิเดียวกัน** สารทุกชนิดมีพลังงานจลน์เฉลี่ยของอนุภาค**เท่ากัน** — น้ำแข็งที่ 0°C กับน้ำที่ 0°C ต่างกันที่ "พลังงานศักย์" (ระยะและการจัดเรียงอนุภาค) ไม่ใช่พลังงานจลน์

2. อาวุธหลักของหมวดนี้: ลำดับแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาค

ทบทวนเร็วจากบทพันธะเคมี เพราะหมวดนี้ใช้ตัดสินแทบทุกข้อ:

$$\text{London} < \text{dipole-dipole} < \text{H-bond} \ll \text{metallic} \approx \text{ionic} < \text{covalent network}$$

(สามกลุ่มขวาสุดเป็นแรงระดับ "พันธะเคมี" ทั้งหมด — โดยทั่วไป**โครงผลึกร่างตาข่ายสูงสุด** สอดคล้องกับตารางผลึก 4 ชนิดในหัวข้อ 9 ส่วนโลหะช่วงกว้างมาก ตั้งแต่ Hg ที่เหลวที่อุณหภูมิห้อง จนถึง W ที่หลอมที่ 3422°C)

- **แรงลอนดอน (แผ่กระจาย)** — มีในทุกโมเลกุล แรงขึ้นเมื่อมวลโมเลกุลมากขึ้นและพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้น (โซ่ตรง > โซ่กิ่ง)
- **แรงดึงดูดระหว่างขั้ว** — เพิ่มเข้ามาในโมเลกุลมีขั้ว
- **พันธะไฮโดรเจน** — H เกาะกับ F, O, N (เช่น H_2O, NH_3, HF, แอลกอฮอล์)

จากนั้นจำ "กฎเหล็ก" ประโยคเดียว: **แรงยึดเหนี่ยวยิ่งมาก → หนืกันยิ่งยาก**

แรงยึดเหนี่ยวมากขึ้น	ผลที่ตามมา
จุดเดือด / จุดหลอมเหลว	สูงขึ้น
ความดันไอ (ที่อุณหภูมิเดียวกัน)	**ต่ำลง**
อัตราการระเหย	ช้าลง
ความตึงผิว	สูงขึ้น
ความหนืด	สูงขึ้น
ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ	มากขึ้น

สังเกตว่า**ความดันไอกับอัตราการระเหยสวนทางกับตัวอื่น** — นี่คือกับดักอันดับหนึ่งของหมวดนี้

3. สมบัติของเหลว (1): ความตึงผิว แรงเชื่อมแน่น–แรงยึดติด และคะปิลลารี

ความตึงผิว (surface tension) เกิดเพราะโมเลกุลที่ผิวหน้าถูกเพื่อนดึงเข้าหาเนื้อของเหลวด้านเดียว (โมเลกุลข้างในถูกดึงรอบทิศจนหักล้างกัน) ผิวของเหลวจึงพยายามหดตัวให้มีพื้นที่น้อยที่สุด — หยดน้ำจึงกลม จิงโจ้น้ำจึงยืนบนผิวน้ำได้ สารที่มีพันธะไฮโดรเจนอย่างน้ำจึงมีความตึงผิวสูงผิดปกติ ส่วน**สารลดแรงตึงผิว** (สบู่ ผงซักฟอก) ไปแทรกที่ผิวหน้า ทำให้ความตึงผิวลดลง น้ำจึงแผ่ซึมผ้าได้ดีขึ้น

แยกแรงสองชนิดให้ขาด (ข้อสอบถามตรงๆ บ่อย):

- **แรงเชื่อมแน่น (cohesive force)** — แรงระหว่างโมเลกุล**ชนิดเดียวกัน** (น้ำ–น้ำ)
- **แรงยึดติด (adhesive force)** — แรงระหว่างโมเลกุล**ต่างชนิด** (น้ำ–แก้ว)

ผลที่มองเห็นในหลอดแก้วคะปิลลารี:

กรณี	ผิวโค้ง (meniscus)	ระดับในหลอดเล็ก	ตัวอย่าง
แรงยึดติด > แรงเชื่อมแน่น	**เว้า** (โค้งลง)	สูงขึ้นกว่าภายนอก	น้ำในหลอดแก้ว
แรงเชื่อมแน่น > แรงยึดติด	**นูน** (โค้งขึ้น)	ต่ำลงกว่าภายนอก	ปรอทในหลอดแก้ว

ยิ่งหลอดเล็ก ระดับยิ่งขึ้นสูง (หรือยิ่งกดต่ำ) — นี่คือเหตุที่น้ำซึมขึ้นตามลำต้นพืชและกระดาษซับหมึกได้

ตัวอย่างที่ 1 จุ่มหลอดคะปิลลารีแก้วลงในของเหลว X พบว่าระดับของเหลวในหลอดสูงกว่าภายนอกและผิวหน้าเว้า ส่วนของเหลว Y ระดับในหลอดต่ำกว่าภายนอกและผิวหน้านูน ข้อสรุปใดถูก

วิธีคิด

1. X ขึ้นสูง + ผิวเว้า → แรงยึดติด (X–แก้ว) มากกว่าแรงเชื่อมแน่น (X–X) → X ทำตัวแบบน้ำ
2. Y ถูกกดต่ำ + ผิวนูน → แรงเชื่อมแน่น (Y–Y) มากกว่าแรงยึดติด (Y–แก้ว) → Y ทำตัวแบบปรอท
3. ระวัง: ข้อมูลนี้เทียบแรงสองชนิด**ภายในของเหลวเดียวกัน**เท่านั้น สรุปไม่ได้ว่า "แรงเชื่อมแน่นของ Y มากกว่าของ X" เพราะโจทย์ไม่ได้ให้เทียบข้ามสาร — ตัวเลือกลวงประจำของแนวนี้

4. สมบัติของเหลว (2): ความหนืด และผลของอุณหภูมิต่อทุกสมบัติ

ความหนืด (viscosity) คือความต้านทานการไหล ขึ้นกับ 2 ปัจจัยหลัก:

1. **แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล** — กลีเซอรอลมีหมู่ −OH สามหมู่ สร้างพันธะไฮโดรเจนได้เยอะ จึงหนืดกว่าน้ำและเอทานอลมาก
2. **ขนาด/รูปร่างโมเลกุล** — โมเลกุลโซ่ยาวเกี่ยวพันกัน (น้ำมันเครื่อง น้ำเชื่อมเข้มข้น) ไหลยาก

ผลของอุณหภูมิ — หัวใจของแนวข้อสอบ "ลดอุณหภูมิแล้วสมบัติใดเปลี่ยนอย่างไร": อุณหภูมิต่ำลง → พลังงานจลน์ลด → โมเลกุลหนีแรงยึดเหนี่ยวได้ยากขึ้น ทุกอย่างจึง "เหนียวขึ้น หนีบ้านยากขึ้น"

ตัวอย่างที่ 2 เมื่อทำให้น้ำเย็นลงจาก 80°C เป็น 20°C สมบัติต่อไปนี้เปลี่ยนอย่างไร: ความหนืด ความตึงผิว อัตราการระเหย ความดันไอ

วิธีคิด

1. อุณหภูมิลด → พลังงานจลน์เฉลี่ยของโมเลกุลลด แรงยึดเหนี่ยว "เอาอยู่" มากขึ้น
2. ความหนืด **เพิ่มขึ้น** (ไหลยากขึ้น) และความตึงผิว **เพิ่มขึ้น** (ผิวหดตัวแน่นขึ้น)
3. โมเลกุลที่มีพลังงานพอจะหลุดจากผิวมีน้อยลง → อัตราการระเหย **ลดลง** → ความดันไอ **ลดลง**
4. สรุปภาพจำ: เย็นลง = หนืดขึ้น ตึงขึ้น แต่ระเหยช้าลงและความดันไอต่ำลง (สองกลุ่มสวนทางกันเสมอ)

5. การระเหยและความดันไอ: สมดุลไดนามิกในภาชนะปิด

การระเหย (evaporation) เกิดที่**ผิวหน้า**ของเหลว ที่**ทุกอุณหภูมิ** (ไม่ต้องรอถึงจุดเดือด): โมเลกุลที่ผิวซึ่งบังเอิญมีพลังงานจลน์สูงกว่าค่าเฉลี่ยมากพอจะสะบัดหลุดออกไปเป็นไอ โมเลกุลพลังงานสูงหนีไป ค่าเฉลี่ยของที่เหลือจึงลด → **ของเหลวที่เหลือเย็นลง** (เหตุที่เหงื่อระเหยแล้วตัวเย็น แอลกอฮอล์เช็ดแขนแล้วเย็นวาบ)

อัตราการระเหยเร็วขึ้นเมื่อ: อุณหภูมิสูงขึ้น · พื้นที่ผิวมากขึ้น · อากาศถ่ายเทดี · ความชื้นในอากาศต่ำ · แรงยึดเหนี่ยวของสารอ่อน

ความดันไอ (vapor pressure) — ใส่ของเหลวในภาชนะปิด ตอนแรกโมเลกุลระเหยออกอย่างเดียว พอไอสะสมมากขึ้นก็เริ่มควบแน่นกลับ จนถึงจุดที่

$$\text{rate}_{\text{evaporation}} = \text{rate}_{\text{condensation}}$$

เรียกว่า**สมดุลไดนามิก** ความดันของไอ ณ จุดนี้คือ **ความดันไอสมดุล** ซึ่งขึ้นกับ **ชนิดของสาร + อุณหภูมิ เท่านั้น** — ไม่ขึ้นกับปริมาณของเหลว พื้นที่ผิว หรือขนาดภาชนะ (ตราบใดที่ยังมีของเหลวเหลืออยู่) นี่คือประเด็นที่ข้อสอบชอบวัดที่สุดของหัวข้อนี้

ตัวอย่างที่ 3 บรรจุของเหลวระเหยง่ายชนิดหนึ่ง X (มวลต่อโมล 60 g/mol) ลงในภาชนะปิดสุญญากาศขนาด 10 L ที่ 27°C เมื่อถึงสมดุลยังมีของเหลว X เหลืออยู่ที่ก้นภาชนะ และวัดความดันไอได้ 0.246 atm จงหามวลของไอ X ในภาชนะ (R = 0.082 L·atm/(mol·K))

วิธีทำ

1. ไอของ X ที่สมดุลประพฤติตัวเป็นแก๊ส ใช้ $PV = nRT$ โดย $T = 27 + 273 = 300\ \mathrm{K}$
2. หาโมลของไอ X:

$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{0.246\ \cancel{\mathrm{atm}} \times 10\ \cancel{\mathrm{L}}}{0.082\ \frac{\cancel{\mathrm{L\cdot atm}}}{\mathrm{mol}\cdot\cancel{\mathrm{K}}} \times 300\ \cancel{\mathrm{K}}} = \frac{2.46}{24.6} = 0.100\ \mathrm{mol}$$

3. แปลงเป็นมวล ($M = 60$):

$$m = 0.100\ \cancel{\mathrm{mol}} \times 60\ \frac{\mathrm{g}}{\cancel{\mathrm{mol}}} = 6.0\ \mathrm{g}$$

4. **ตอบ ไอของ X มีมวล 6.0 g** — และถ้าขยายภาชนะเป็น 20 L ที่อุณหภูมิเดิม ความดันไอสมดุลจะ**เท่าเดิม** (ของเหลว X ระเหยเพิ่มจนความดันกลับมาที่ 0.246 atm) แค่มวลไอเพิ่มเป็นสองเท่า (12 g)

ตัวอย่างที่ 4 เรียงลำดับความดันไอที่ 25°C ของ ไดเอทิลอีเทอร์ ($C_2H_5OC_2H_5$), เอทานอล (C_2H_5OH) และน้ำ จากมากไปน้อย

วิธีคิด

1. ระบุแรงยึดเหนี่ยวเด่นของแต่ละสาร: อีเทอร์ไม่มี H เกาะ O โดยตรง → ไม่มีพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลกันเอง (มีแค่ dipole-dipole + ลอนดอน) · เอทานอลมี −OH หนึ่งหมู่ → มีพันธะไฮโดรเจน · น้ำสร้างพันธะไฮโดรเจนได้เฉลี่ยมากที่สุดต่อโมเลกุล (มีทั้ง H สองตัวและ lone pair สองคู่)
2. แรงยึดเหนี่ยว: น้ำ > เอทานอล > อีเทอร์
3. ความดันไอ**สวนทาง**กับแรงยึดเหนี่ยว → **อีเทอร์ > เอทานอล > น้ำ**
4. เช็กความสมเหตุสมผลด้วยจุดเดือด: อีเทอร์ (~35°C) < เอทานอล (78°C) < น้ำ (100°C) — สารที่เดือดง่ายคือสารที่ความดันไอสูง สอดคล้องกัน

6. จุดเดือด: วันที่ความดันไอสู้ความดันภายนอกได้

จุดเดือด (boiling point) คืออุณหภูมิที่

$$P_{\text{vapor}} = P_{\text{external}}$$

เมื่อความดันไอเท่ากับความดันภายนอก ฟองไอเกิดได้**ทั่วทั้งเนื้อของเหลว** (ต่างจากการระเหยที่เกิดเฉพาะผิว) ถ้าความดันภายนอกคือ 1 atm (760 mmHg) เรียกว่า **จุดเดือดปกติ (normal boiling point)**

ผลที่ตามมาแบบที่ข้อสอบรัก:

- **บนภูเขาสูง** ความดันบรรยากาศต่ำ → น้ำเดือดต่ำกว่า 100°C → ต้มไข่สุกช้า (อุณหภูมิน้ำเดือดต่ำ ไม่ใช่เพราะ "เดือดยาก")
- **หม้ออัดความดัน** ความดันในหม้อสูงกว่า 1 atm → น้ำเดือดที่สูงกว่า 100°C → อาหารสุกเร็ว
- **การกลั่นลดความดัน** ใช้แยกสารที่สลายตัวก่อนถึงจุดเดือดปกติ เพราะลดความดันแล้วสารเดือดที่อุณหภูมิต่ำลง

ระหว่างเดือด (หรือหลอมเหลว) **อุณหภูมิคงที่** แม้ให้ความร้อนต่อเนื่อง — พลังงานถูกใช้สลายแรงยึดเหนี่ยว (เพิ่มพลังงานศักย์) ไม่ได้เพิ่มพลังงานจลน์

ตัวอย่างที่ 5 ตารางแสดงความดันไอของของเหลว A, B, C ที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ (°C)	A (mmHg)	B (mmHg)	C (mmHg)
20	440	44	18

อุณหภูมิ (°C)	A (mmHg)	B (mmHg)	C (mmHg)
35	760	100	42
78	สูงมาก	760	330
100	สูงมาก	1710	760

(ก) จุดเดือดปกติของแต่ละสารคือเท่าใด (ข) เรียงลำดับแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล (ค) ถ้านำ C ไปต้มบนยอดเขาที่ความดันบรรยากาศ 330 mmHg จะเดือดที่กี่องศา

วิธีคิด

1. (ก) จุดเดือดปกติ = อุณหภูมิที่ความดันไอ = 760 mmHg → อ่านตาราง: A เดือดที่ **35°C**, B ที่ **78°C**, C ที่ **100°C**
2. (ข) ที่อุณหภูมิเดียวกัน (เช่นแถว 20°C) ความดันไอ A > B > C แปลว่าโมเลกุล A หนีง่ายสุด → แรงยึดเหนี่ยว **C > B > A** (สลับด้านกับความดันไอเสมอ)
3. (ค) C เดือดเมื่อความดันไอของมันเท่ากับความดันภายนอก 330 mmHg → อ่านตาราง: ความดันไอของ C เท่ากับ 330 mmHg ที่ **78°C** — ต่ำกว่าจุดเดือดปกติถึง 22 องศา นี่คือภาพจริงของ "น้ำเดือดเร็วแต่ไม่ร้อนพอ" บนภูเขาสูง

7. การหลอมเหลว การระเหิด และพลังงานของการเปลี่ยนสถานะ

- **การหลอมเหลว (melting)**: ของแข็ง → ของเหลว ที่จุดหลอมเหลว อนุภาคสั่นแรงจนโครงร่างที่เป็นระเบียบพังลง สารบริสุทธิ์หลอมเหลวที่อุณหภูมิ**คงที่และชัดเจน** (ใช้ตรวจความบริสุทธิ์ได้ — สารไม่บริสุทธิ์จุดหลอมเหลวต่ำลงและช่วงกว้าง)
- **การระเหิด (sublimation)**: ของแข็ง → แก๊ส โดยตรงไม่ผ่านของเหลว เกิดกับของแข็งโมเลกุลที่แรงยึดเหนี่ยวอ่อนและความดันไอสูง: **ไอโอดีน (I_2), น้ำแข็งแห้ง (CO_2), แนฟทาลีน (ลูกเหม็น), การบูร** — ทิศย้อนกลับ (แก๊ส → ของแข็ง) เรียกการระเหิดกลับ (deposition)

พลังงานของการเปลี่ยนสถานะ (ที่อุณหภูมิคงที่):

$$q = n\,\Delta H_{\text{fus}} \qquad q = n\,\Delta H_{\text{vap}}$$

โดย $\Delta H_{\text{vap}} > \Delta H_{\text{fus}}$ เสมอ เพราะการกลายเป็นไอต้องฉีกโมเลกุลออกจากกัน**หมด** แต่การหลอมเหลวแค่ทำให้โครงร่างคลายตัว (อนุภาคยังชิดกันอยู่)

ตัวอย่างที่ 6 ต้องใช้ความร้อนกี่กิโลจูลเพื่อหลอมน้ำแข็ง 54 g ที่ 0°C ให้เป็นน้ำที่ 0°C และถ้าต้มน้ำ 27 g ที่ 100°C ให้กลายเป็นไอหมดต้องใช้อีกกี่กิโลจูล (H = 1, O = 16, กำหนด $\Delta H_{\text{fus}} = 6.0$ kJ/mol, $\Delta H_{\text{vap}} = 40$ kJ/mol)

วิธีทำ

1. โมลของน้ำแข็ง:

$$n = \frac{54\,\cancel{g}}{18\,\cancel{g}/\text{mol}} = 3\ \text{mol}$$

2. ความร้อนหลอมเหลว:

$$q = 3\,\cancel{\text{mol}} \times 6.0\,\frac{\text{kJ}}{\cancel{\text{mol}}} = 18\ \text{kJ}$$

3. ส่วนการต้มน้ำ 27 g: $n = \dfrac{27}{18} = 1.5\ \text{mol}$

$$q = 1.5\,\cancel{\text{mol}} \times 40\,\frac{\text{kJ}}{\cancel{\text{mol}}} = 60\ \text{kJ}$$

4. **ตอบ หลอมใช้ 18 kJ, ต้มเป็นไอใช้ 60 kJ** — สังเกตว่าน้ำครึ่งเดียวแต่ใช้พลังงานมากกว่าสามเท่า เพราะ ΔH_{vap} โตกว่า ΔH_{fus} มาก

8. ทายสถานะของสารที่ 25°C จากจุดหลอมเหลว/จุดเดือด

กติกาง่ายๆ ที่ข้อสอบชอบแปลงเป็นตาราง:

- $T < T_{\text{mp}}$ → **ของแข็ง**
- $T_{\text{mp}} < T < T_{\text{bp}}$ → **ของเหลว**
- $T > T_{\text{bp}}$ → **แก๊ส**

ตัวอย่างที่ 7 กำหนดข้อมูลสาร A, B, C จงระบุสถานะของแต่ละสารที่ 25°C

สาร	จุดหลอมเหลว (°C)	จุดเดือด (°C)
A	−101	−34
B	−7	59
C	114	184

วิธีคิด

1. A: 25°C สูงกว่าจุดเดือด (−34°C) → เลยจุดเดือดไปแล้ว → **แก๊ส**
2. B: 25°C อยู่ระหว่าง −7°C กับ 59°C → **ของเหลว**
3. C: 25°C ต่ำกว่าจุดหลอมเหลว (114°C) → ยังไม่ทันหลอม → **ของแข็ง**
4. (ค่าในตารางนี้ล้อกับ Cl_2, Br_2, I_2 — หมู่ VIIA ที่แรงลอนดอนโตตามมวลโมเลกุล ทำให้สถานะที่อุณหภูมิห้องไล่จากแก๊ส → ของเหลว → ของแข็งพอดี ข้อสอบชอบผูกสองบทนี้เข้าด้วยกัน)

9. ของแข็ง: ผลึก 4 ชนิด กับสมบัติที่ข้อสอบชอบถาม

ของแข็งแบ่งเป็น **ผลึก (crystalline)** — อนุภาคเรียงเป็นระเบียบซ้ำๆ มีจุดหลอมเหลวชัดเจน — กับ**อสัณฐาน (amorphous)** เช่น แก้ว ยาง พลาสติก ที่ไม่มีจุดหลอมเหลวชัด แต่ค่อยๆ อ่อนตัวเมื่อร้อน

ของแข็งผลึกแบ่งตามอนุภาคและแรงยึดเหนี่ยวได้ 4 ชนิด — ตารางนี้คือหัวใจของหัวข้อ:

ชนิดผลึก	อนุภาค	แรงยึดเหนี่ยว	จุดหลอมเหลว	การนำไฟฟ้า	ตัวอย่าง
ไอออนิก	ไอออนบวก/ลบ	พันธะไอออนิก	สูง	ของแข็ง**ไม่นำ** · หลอมเหลว/ละลายน้ำ**นำ**	NaCl, CaF_2, MgO
โมเลกุล	โมเลกุล	ลอนดอน / ขั้ว / H-bond	ต่ำ (มักต่ำกว่า ~300°C)	ไม่นำทุกสถานะ	น้ำแข็ง, I_2, CO_2แข็ง, แนฟทาลีน

ชนิดผลึก	อนุภาค	แรงยึดเหนี่ยว	จุดหลอมเหลว	การนำไฟฟ้า	ตัวอย่าง
โครงผลึกร่างตาข่าย	อะตอม	พันธะโคเวเลนต์ต่อเนื่องทั้งก้อน	สูงมากที่สุด	ไม่นำ (ยกเว้นแกรไฟต์)	เพชร, SiO_2 (ควอตซ์), SiC
โลหะ	ไอออนบวก + ทะเลอิเล็กตรอน	พันธะโลหะ	ส่วนใหญ่สูง (ยกเว้น Hg, Na)	**นำได้ทั้งของแข็งและหลอมเหลว**	Fe, Cu, Al

ข้อยกเว้นที่ต้องท่อง: **แกรไฟต์**เป็นโครงผลึกร่างตาข่ายแต่**นำไฟฟ้าได้** (อิเล็กตรอนอิสระวิ่งในระนาบชั้น) และ**นิ่ม/ลื่น**เพราะชั้นยึดกันด้วยแรงลอนดอนจึงไถลหลุดง่าย — ขณะที่เพชรซึ่งเป็นคาร์บอนเหมือนกันกลับแข็งที่สุดและไม่นำไฟฟ้า

ตัวอย่างที่ 8 ของแข็ง W, X, Y, Z มีสมบัติดังนี้ จงระบุชนิดผลึก

สาร	จุดหลอมเหลว (°C)	นำไฟฟ้า (ของแข็ง)	นำไฟฟ้า (หลอมเหลว)
W	801	ไม่นำ	นำ
X	80	ไม่นำ	ไม่นำ
Y	1610	ไม่นำ	ไม่นำ
Z	1085	นำ	นำ

วิธีคิด

1. เริ่มจากการนำไฟฟ้าก่อนเสมอ (แยกชนิดได้เด็ดขาดกว่าจุดหลอมเหลว): Z นำไฟฟ้าตั้งแต่เป็นของแข็ง → **โลหะ** (เทียบเคียง Cu)
2. W ของแข็งไม่นำแต่หลอมเหลวแล้วนำ → ไอออนถูกปลดปล่อยให้เคลื่อนที่ได้ → **ผลึกไอออนิก** (เทียบเคียง NaCl)
3. X จุดหลอมเหลวต่ำ ไม่นำทุกสถานะ → **ผลึกโมเลกุล** (เทียบเคียงแนฟทาลีน)
4. Y จุดหลอมเหลวสูงมากแต่ไม่นำแม้หลอมเหลว → **โครงผลึกร่างตาข่าย** (เทียบเคียง SiO_2)

10. แผนภาพวัฏภาคเบื้องต้น: น้ำ vs CO_2

แผนภาพวัฏภาค (phase diagram) คือแผนที่บอกว่าที่ความดัน (แกนตั้ง) และอุณหภูมิ (แกนนอน) ใด สารอยู่สถานะไหน:

- **พื้นที่ 3 บริเวณ** = ของแข็ง (ซ้ายบน) ของเหลว (กลางบน) แก๊ส (ขวาล่าง)
- **เส้นแบ่ง** = สองสถานะอยู่ร่วมกันอย่างสมดุล (เส้นหลอมเหลว เส้นกลายเป็นไอ เส้นระเหิด)
- **จุดสามสถานะ (triple point)** = จุดเดียวที่ทั้งสามสถานะสมดุลพร้อมกัน — ของน้ำอยู่ที่ 0.01°C, 0.006 atm · ของ CO_2 อยู่ที่ −57°C, **5.1 atm**

สองประเด็นที่ข้อสอบหยิบไปถาม:

(1) เส้นหลอมเหลวของน้ำชันเอียงซ้าย (ความชันเป็นลบ) — ผิดจากสารแทบทุกชนิด เพราะน้ำแข็งมีโครงพันธะไฮโดรเจนโปร่งจึง**หนาแน่นน้อยกว่าน้ำ** (น้ำแข็งลอยน้ำ) เมื่อเพิ่มความดัน ระบบหนีไปทางเฟสที่กินที่น้อยกว่า คือของเหลว → **เพิ่มความดันแล้วจุดหลอมเหลวของน้ำแข็งลดลง** (น้ำแข็งละลายง่ายขึ้นใต้แรงกด) ส่วนสารทั่วไปรวมทั้ง CO_2 เส้นนี้เอียงขวา: อัดแล้วยิ่งแข็งง่าย

(2) จุดสามสถานะของ CO_2 อยู่เหนือ 1 atm — ที่ความดันบรรยากาศ เส้นแนวนอน 1 atm ลอดใต้จุดสามสถานะ ตัดเฉพาะเส้นระเหิด ดังนั้น **CO_2 ไม่มีสถานะของเหลวเลยที่ 1 atm**: น้ำแข็งแห้งจึงระเหิดตรงจากของแข็งเป็นแก๊สที่ −78°C ไม่เปียกเลอะ (จะ

ได้ CO_2 เหลวต้องอัดความดันเกิน 5.1 atm เช่นในถังดับเพลิง)

ตัวอย่างที่ 9 เหตุใดน้ำแข็งแห้งวางในห้องจึง "หายไป" โดยไม่ทิ้งรอยเปียก แต่น้ำแข็งธรรมดาละลายเป็นน้ำ และถ้าออกแรงกดน้ำแข็งธรรมดาที่ 0°C ค้างไว้จะเกิดอะไรขึ้น

วิธีคิด

1. ที่ 1 atm ตำแหน่งของ CO_2 ในแผนภาพวัฏภาคอยู่**ต่ำกว่าจุดสามสถานะ** (5.1 atm) → เมื่ออุ่นขึ้น เส้นทางของมันข้ามเส้นระเหิดโดยตรง → ของแข็งกลายเป็นแก๊สทันที ไม่ผ่านของเหลว
2. น้ำมีจุดสามสถานะที่ 0.006 atm ซึ่งต่ำกว่า 1 atm มาก → ที่ความดันห้อง เส้นทางการอุ่นข้ามเส้นหลอมเหลวก่อน → ได้ของเหลว
3. กดน้ำแข็งที่ 0°C = เพิ่มความดันขึ้นในแนวดิ่งของแผนภาพ → เพราะเส้นหลอมเหลวของน้ำเอียงซ้าย จุดที่ยืนอยู่จะทะลุเข้าเขต**ของเหลว** → น้ำแข็งใต้แรงกดหลอมเหลวทั้งที่อุณหภูมิไม่เปลี่ยน (พอคลายแรงก็แข็งกลับ — เรียกว่า regelation เห็นได้ในการทดลองคลาสสิก: ลวดถ่วงน้ำหนักค่อยๆ กดผ่านทะลุก้อนน้ำแข็ง โดยน้ำแข็งเหนือลวดแข็งตัวกลับ ก้อนจึงไม่ขาดออกจากกัน)

📌 สรุปสูตรและประเด็นต้องจำ

เรื่อง	สูตร / ประเด็น	หมายเหตุ
พลังงานจลน์เฉลี่ย	$\bar{E}_k \propto T$ (เคลวิน)	อุณหภูมิเดียวกัน → เท่ากันทุกสาร
กฎเหล็กแรงยึดเหนี่ยว	แรงมาก → bp, mp, ความตึงผิว, ความหนืด **สูง** แต่ความดันไอ, อัตราระเหย **ต่ำ**	ความดันไอสวนทางเสมอ
ลดอุณหภูมิ	ความหนืด↑ ความตึงผิว↑ · อัตราระเหย↓ ความดันไอ↓	แนวข้อสอบประจำ
ผิวเว้า–ขึ้นสูงในหลอด	แรงยึดติด > แรงเชื่อมแน่น (น้ำ–แก้ว)	ผิวนูน–กดต่ำ = ปรอท
ความดันไอสมดุล	ขึ้นกับชนิดสาร + อุณหภูมิ **เท่านั้น**	ไม่ขึ้นกับปริมาณ/ขนาดภาชนะ
เงื่อนไขการเดือด	$P_{\text{vapor}} = P_{\text{external}}$	760 mmHg = จุดเดือดปกติ
ความดันภายนอกลด	จุดเดือดลด (บนดอย) · เพิ่ม → จุดเดือดเพิ่ม (หม้ออัดความดัน)	อ่านกราฟ: ลากเส้นนอนที่ความดันนั้นตัดโค้ง
พลังงานเปลี่ยนสถานะ	$q = n\,\Delta H_{\text{fus}}$, $q = n\,\Delta H_{\text{vap}}$ · $\Delta H_{\text{vap}} > \Delta H_{\text{fus}}$	ระหว่างเปลี่ยนสถานะ อุณหภูมิคงที่
สถานะที่ 25°C	ต่ำกว่า mp = แข็ง · ระหว่าง mp–bp = เหลว · เกิน bp = แก๊ส	เทียบทีละสารในตาราง
ผลึก 4 ชนิด	ไอออนิก (หลอมเหลวจึงนำ) · โมเลกุล (mp ต่ำ ไม่นำ) · ร่างตาข่าย (mp สูงสุด ไม่นำ ยกเว้นแกรไฟต์) · โลหะ (นำทุกสถานะ)	ดูการนำไฟฟ้าก่อนเสมอ
สารระเหิดคลาสสิก	I_2, CO_2 แข็ง, แนฟทาลีน, การบูร	ผลึกโมเลกุลแรงอ่อน

เรื่อง	สูตร / ประเด็น	หมายเหตุ
แผนภาพวัฏภาค	น้ำ: เส้นหลอมเหลวชันลบ (กดแล้วละลาย) · CO_2: triple point 5.1 atm → ระเหิดที่ 1 atm	จุดสามสถานะ = 3 เฟสสมดุลพร้อมกัน

⚠️ จุดที่เด็กพลาดบ่อย

1. **สลับทิศความดันไอ** — จำว่า "แรงมาก ทุกอย่างสูง" แล้วเผลอตอบว่าความดันไอสูงด้วย ที่ถูกคือแรงยึดเหนี่ยวมาก → ความดันไอ**ต่ำ** (โมเลกุลหนียาก) ความดันไอกับจุดเดือดสวนทางกันเสมอ
2. **คิดว่าความดันไอขึ้นกับปริมาณของเหลวหรือขนาดภาชนะ** — ไม่ขึ้น! ตราบใดที่ยังมีของเหลวเหลือที่สมดุล ความดันไอขึ้นกับชนิดสารและอุณหภูมิเท่านั้น (ภาชนะใหญ่ขึ้น = ไอ**มวลมากขึ้น** แต่**ความดันเท่าเดิม**)
3. **สับสนการระเหยกับการเดือด** — การระเหยเกิดที่ผิวหน้า ทุกอุณหภูมิ ส่วนการเดือดเกิดทั้งเนื้อของเหลว เฉพาะเมื่อ $P_{\text{vapor}} = P_{\text{external}}$ · และ "น้ำเดือดบนดอยเร็วขึ้น" ไม่ได้แปลว่าอาหารสุกเร็วขึ้น เพราะน้ำเดือดที่อุณหภูมิ**ต่ำกว่า** 100°C
4. **เทียบแรงเชื่อมแน่นข้ามสารจากรูปคะปิลลารี** — รูปหลอดบอกได้แค่ว่าในของเหลวนั้น แรงยึดติดหรือแรงเชื่อมแน่นใครชนะ สรุปข้ามสารไม่ได้ถ้าโจทย์ไม่ให้ข้อมูลเพิ่ม
5. **ลืมว่าอุณหภูมิคงที่ระหว่างเปลี่ยนสถานะ** — กราฟอุณหภูมิ–เวลาช่วงหลอมเหลว/เดือดต้องแบนราบ พลังงานที่ใส่ไปเพิ่มพลังงานศักย์ (สลายแรงยึดเหนี่ยว) ไม่ใช่พลังงานจลน์
6. **เหมาว่าผลึกร่างตาข่ายไม่นำไฟฟ้าทุกตัว** — แกรไฟต์คือข้อยกเว้นที่ข้อสอบชอบเอามาหลอก (นำไฟฟ้าได้ + นิ่มลื่น) และอย่าสลับกับผลึกไอออนิกซึ่ง "ของแข็งไม่นำ แต่หลอมเหลวแล้วนำ"
7. **จำทิศความชันเส้นหลอมเหลวของน้ำผิด** — น้ำคือตัวประหลาด: เพิ่มความดันแล้วจุดหลอมเหลว**ลด** (เพราะน้ำแข็งหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ) สารทั่วไปรวมทั้ง CO_2 เพิ่มความดันแล้วจุดหลอมเหลวเพิ่ม
8. **ลืมแปลงหน่วยอุณหภูมิเป็นเคลวิน** เมื่อใช้ $PV = nRT$ กับไอที่สมดุล — 27°C ต้องเป็น 300 K ก่อนคูณกับ R = 0.082 เสมอ

✏️ แบบฝึกหัดท้ายบท (19 ข้อ — เรียงตามหัวข้อ ง่าย→ยาก)

ความดันไอและจุดเดือด

ข้อ 1. ★☆☆☆☆

นำเอทานอลใส่ภาชนะปิดสองใบที่มีขนาดเท่ากัน ใบแรกใส่ 50 mL ใบที่สองใส่ 150 mL ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 25°C เท่ากันจนระบบเข้าสู่สมดุล ข้อใดกล่าวถึงความดันไอของเอทานอลในภาชนะทั้งสองได้ถูกต้อง

ก.

ใบที่สองมีความดันไอมากกว่า เพราะมีของเหลวให้ระเหยมากกว่า

ข.

ทั้งสองใบมีความดันไอเท่ากัน เพราะความดันไอที่สมดุลขึ้นกับชนิดของสารและอุณหภูมิเท่านั้น

ค.

ใบแรกมีความดันไอมากกว่า เพราะมีที่ว่างเหนือของเหลวมากกว่า

ง.

เปรียบเทียบไม่ได้ จนกว่าจะทราบพื้นที่ผิวหน้าของของเหลวแต่ละใบ

ข้อ 2. ★★☆☆☆

ที่อุณหภูมิ 25°C ของเหลว P, Q และ R มีความดันไอเท่ากับ 500, 200 และ 60 mmHg ตามลำดับ ข้อใดเรียงลำดับจุดเดือดปกติของของเหลวทั้งสามจากสูงไปต่ำได้ถูกต้อง

ก.

P > Q > R

ข.

Q > P > R

ค.

P > R > Q

ง.

R > Q > P

ข้อ 3. ★★★☆☆

ที่ 25°C มีของเหลว 3 ชนิด ได้แก่ A = ไดเอทิลอีเทอร์ ($CH_3CH_2OCH_2CH_3$), B = เอทานอล (CH_3CH_2OH) และ C = น้ำ (H_2O) ข้อใดเรียงลำดับความดันไอที่ 25°C จากมากไปน้อยได้ถูกต้อง

ก.

A > B > C

ข.

C > B > A

ค.

B > A > C

ง.

A > C > B

ข้อ 4. ★★★☆☆

บนยอดดอยแห่งหนึ่งวัดความดันบรรยากาศได้ 600 mmHg กำหนดให้จุดเดือดปกติของน้ำคือ 100°C (ที่ 760 mmHg) ข้อสรุปใดเกี่ยวกับการต้มน้ำบนยอดดอยนี้ถูกต้องที่สุด

ก.

น้ำเดือดที่ 100°C เท่าเดิม เพราะจุดเดือดเป็นสมบัติเฉพาะตัวของสารที่ไม่ขึ้นกับความดัน

ข.

น้ำเดือดที่อุณหภูมิสูงกว่า 100°C เพราะอากาศเบาบางทำให้ความร้อนระบายออกได้เร็ว

ค.

น้ำเดือดที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100°C เพราะความดันไอของน้ำเพิ่มขึ้นจนเท่ากับความดันบรรยากาศได้ที่อุณหภูมิต่ำลง

ง.

น้ำเดือดยากขึ้นแต่อาหารสุกเร็วขึ้น เพราะน้ำที่เดือดมีอุณหภูมิสูงกว่าปกติ

ข้อ 5. ★★★☆☆

ตารางแสดงความดันไอของของเหลว X ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ดังนี้ ที่ 20°C = 45 mmHg, 40°C = 150 mmHg, 60°C = 390 mmHg, 70°C = 600 mmHg และ 80°C = 900 mmHg ถ้านำของเหลว X ไปต้มบนภูเขาซึ่งความดันบรรยากาศเท่ากับ 600 mmHg ข้อสรุปใดถูกต้อง

ก.

X เดือดที่ 60°C และจุดเดือดปกติของ X อยู่ระหว่าง 60–70°C

ข.

X เดือดที่ 70°C และจุดเดือดปกติของ X อยู่ระหว่าง 70–80°C

ค.

X เดือดที่ 70°C และจุดเดือดปกติของ X คือ 70°C เพราะจุดเดือดไม่ขึ้นกับความดัน

ง.

X เดือดที่ 80°C เพราะความดันไอต้องสูงกว่าความดันบรรยากาศจึงจะเดือดได้

ข้อ 6. ★★★★☆

ตารางแสดงความดันไอ (mmHg) ของของเหลว A และ B ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

- ที่ 40°C: A = 180, B = 55
- ที่ 60°C: A = 450, B = 150
- ที่ 80°C: A = 1000, B = 360 พิจารณาข้อความต่อไปนี้ (ก) จุดเดือดปกติของ A อยู่ระหว่าง 60°C กับ 80°C (ข) ที่ 60°C ถ้าลดความดันเหนือของเหลวลงเหลือ 450 mmHg ของเหลว A จะเดือด แต่ B จะยังไม่เดือด (ค) แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของ B อ่อนกว่าของ A (ง) จุดเดือดปกติของ B สูงกว่า 80°C ข้อใดถูกต้อง

ก.

(ก) (ข) และ (ง)

ข.

(ก) (ค) และ (ง)

ค.

(ก) และ (ข) เท่านั้น

ง.

(ข) (ค) และ (ง)

ข้อ 7. ★★★★★

ของเหลว A, B และ C มีกราฟความดันไอ–อุณหภูมิเป็นเส้นโค้งที่ไม่ตัดกัน โดยความดันไอถึง 760 mmHg ที่อุณหภูมิ 35°C, 78°C และ 100°C ตามลำดับ พิจารณาข้อความต่อไปนี้ (ก) ที่ 25°C ความดันไอของ A > B > C (ข) แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของ C แข็งแรงที่สุดในสามชนิดนี้ (ค) ถ้าลดความดันเหนือของเหลวเหลือ 400 mmHg ของเหลวทั้งสามจะเดือดที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดปกติของตัวเอง (ง) ที่ 78°C ความดันไอของ B เท่ากับ 760 mmHg ส่วนความดันไอของ C ยังน้อยกว่า 760 mmHg ข้อใดถูกต้อง

ก.

(ก) (ข) และ (ค)

ข.

(ก) และ (ง) เท่านั้น

ค.

(ก) (ข) และ (ง)

ง.

(ข) (ค) และ (ง)

แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลกับสมบัติของเหลว

ข้อ 8. ★☆☆☆☆

แมลงจิงโจ้น้ำสามารถยืนและวิ่งบนผิวน้ำได้โดยไม่จมลงไป และเข็มเย็บผ้าเหล็กเล็ก ๆ ที่วางเบา ๆ ตามแนวนอนก็ลอยอยู่บนผิวน้ำได้ทั้งที่เหล็กหนาแน่นกว่าน้ำ ปรากฏการณ์ทั้งสองนี้เป็นผลของสมบัติใดของน้ำ

ก.

ความหนืดของน้ำที่ต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุ

ข.

ความดันไอของน้ำที่ดันวัตถุขึ้นจากด้านล่าง

ค.

ความตึงผิวของน้ำ ซึ่งเกิดจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลน้ำที่ผิวหน้า

ง.

แรงลอยตัวของน้ำตามหลักของอาร์คิมิดีส

ข้อ 9. ★★☆☆☆

เมื่อลดอุณหภูมิของกลีเซอรอลจาก 60°C เหลือ 20°C สมบัติในข้อใดของกลีเซอรอลที่มีค่า "เพิ่มขึ้น" ทั้งสองรายการ

ก.

ความหนืด และ ความตึงผิว

ข.

ความหนืด และ ความดันไอ

ค.

ความตึงผิว และ อัตราการระเหย

ง.

ความดันไอ และ อัตราการระเหย

ข้อ 10. ★★★☆☆

พิจารณาข้อความต่อไปนี้ (ก) น้ำในหลอดคะปิลลารีแก้วมีผิวหน้าโค้งเว้า เพราะแรงยึดติดระหว่างโมเลกุลน้ำกับผิวแก้วมากกว่าแรงเชื่อมแน่นระหว่างโมเลกุลน้ำด้วยกัน (ข) ปรอทในหลอดคะปิลลารีแก้วมีผิวหน้าโค้งนูน และระดับปรอทในหลอดต่ำกว่าระดับปรอทภายนอกหลอด (ค) หยดน้ำบนใบบัวมีลักษณะเกือบเป็นทรงกลม เพราะแรงยึดติดระหว่างน้ำกับผิวใบบัวมากกว่าแรงเชื่อมแน่นระหว่างโมเลกุลน้ำ ข้อใดถูกต้อง

ก.

(ก) เท่านั้น

ข.

(ก) และ (ข)

ค.

(ข) และ (ค)

ง.

(ก) (ข) และ (ค)

ข้อ 11. ★★★☆☆

ของแข็ง 4 ชนิดมีสมบัติดังนี้ A: จุดหลอมเหลวสูงมาก แข็งมาก ไม่นำไฟฟ้าทั้งขณะเป็นของแข็งและขณะหลอมเหลว B: จุดหลอมเหลวสูง เปราะ ไม่นำไฟฟ้าขณะเป็นของแข็ง แต่นำไฟฟ้าเมื่อหลอมเหลวหรือละลายน้ำ C: จุดหลอมเหลวต่ำ เนื้ออ่อน ไม่นำไฟฟ้าทั้งของแข็งและของเหลว D: นำไฟฟ้าได้ดีทั้งขณะเป็นของแข็งและของเหลว ตีแผ่เป็นแผ่นได้ ข้อใดระบุชนิดผลึกของ A, B, C, D ได้ถูกต้อง

ก.

A = ไอออนิก, B = โครงผลึกร่างตาข่าย, C = โมเลกุล, D = โลหะ

ข.

A = โครงผลึกร่างตาข่าย, B = โมเลกุล, C = ไอออนิก, D = โลหะ

ค.

A = โครงผลึกร่างตาข่าย, B = ไอออนิก, C = โมเลกุล, D = โลหะ

ง.

A = โลหะ, B = ไอออนิก, C = โมเลกุล, D = โครงผลึกร่างตาข่าย

ข้อ 12. ★★★★☆

พิจารณาข้อความเกี่ยวกับของแข็งต่อไปนี้ (ก) แกรไฟต์เป็นผลึกโครงผลึกร่างตาข่าย แต่นำไฟฟ้าได้เพราะแต่ละอะตอมคาร์บอนสร้างพันธะเพียง 3 พันธะ เหลืออิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ได้ระหว่างชั้น (ข) น้ำแข็งแห้ง (CO_2 ของแข็ง) เป็นผลึกโมเลกุลที่ยึดเหนี่ยวกันด้วยแรงลอนดอน จึงระเหิดได้ง่ายที่ความดันบรรยากาศ (ค) ผลึก NaCl นำไฟฟ้าได้ดีในสถานะของแข็ง เพราะประกอบด้วยไอออนบวกและไอออนลบจำนวนมาก (ง) ควอตซ์ (SiO_2) เป็นผลึกโมเลกุล เพราะประกอบด้วยโมเลกุล SiO_2 ขนาดเล็กจำนวนมาก ข้อใดถูกต้อง

ก.

(ก) และ (ค)

ข.

(ก) และ (ข)

ค.

(ข) และ (ง)

ง.

(ก) (ข) และ (ค)

ข้อ 13. ★★★★★

ที่ 25°C มีของเหลว 3 ชนิด: เอทานอล (C_2H_5OH มีหมู่ $-OH$ 1 หมู่), เอทิลีนไกลคอล ($C_2H_4(OH)_2$ มีหมู่ $-OH$ 2 หมู่) และกลีเซอรอล ($C_3H_5(OH)_3$ มีหมู่ $-OH$ 3 หมู่) พิจารณาข้อความต่อไปนี้ (ก) ที่อุณหภูมิเดียวกัน ความหนืดเรียงเป็น กลีเซอรอล > เอทิลีนไกลคอล > เอทานอล (ข) ที่ 25°C ความดันไอเรียงเป็น เอทานอล > เอทิลีนไกลคอล > กลีเซอรอล (ค) เมื่อหยดเอทานอลลงบนหลังมือจะรู้สึกเย็น เพราะการระเหยเป็นกระบวนการดูดพลังงานความร้อนจากผิวหนัง (ง) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้ของเหลวทั้งสาม ความตึงผิวของแต่ละชนิดจะเพิ่มขึ้น ข้อใดถูกต้อง

ก.

(ก) และ (ข) เท่านั้น

ข.

(ก) (ข) และ (ค)

ค.

(ข) (ค) และ (ง)

ง.

(ก) (ค) และ (ง)

การเปลี่ยนสถานะและสถานะของสารที่อุณหภูมิห้อง

ข้อ 14. ★☆☆☆☆

พิจารณาปรากฏการณ์ต่อไปนี้ (ก) ลูกเหม็น (แนฟทาลีน) ในตู้เสื้อผ้ามีขนาดเล็กลงเรื่อย ๆ (ข) น้ำแข็งแห้งในกล่องไอศกรีมหายไปหมดโดยไม่มีของเหลวเหลืออยู่ (ค) น้ำค้างเกาะบนใบหญ้าในตอนเช้ามืด (ง) เกล็ดไอโอดีนกลายเป็นไอสีม่วงเมื่ออุ่นเบา ๆ ในบีกเกอร์เปิด ข้อใดเป็นการระเหิดทั้งหมด

ก.

(ก) (ข) และ (ค)

ข.

(ข) (ค) และ (ง)

ค.

(ก) (ค) และ (ง)

ง.

(ก) (ข) และ (ง)

ข้อ 15. ★★☆☆☆

ให้ความร้อนแก่น้ำแข็งอุณหภูมิ −10°C ด้วยอัตราคงที่ที่ความดัน 1 atm แล้วเขียนกราฟอุณหภูมิ–เวลา พบว่ากราฟมีช่วงราบ (อุณหภูมิคงที่) ช่วงแรกที่ 0°C เหตุใดอุณหภูมิจึงไม่เพิ่มขึ้นทั้งที่ยังให้ความร้อนต่อเนื่อง

ก.

พลังงานความร้อนที่ให้ถูกใช้ไปในการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลเพื่อเปลี่ยนของแข็งเป็นของเหลว ไม่ได้ใช้เพิ่มพลังงานจลน์เฉลี่ยของโมเลกุล

ข.

น้ำแข็งเป็นฉนวนความร้อน พลังงานจึงผ่านเข้าไปไม่ได้จนกว่าจะหลอมหมด

ค.

พลังงานความร้อนถูกใช้ทำลายพันธะโคเวเลนต์ระหว่างอะตอม H กับ O ภายในโมเลกุลน้ำ

ง.

อุณหภูมิ 0°C เป็นค่าต่ำสุดที่เทอร์มอมิเตอร์ทั่วไปวัดได้ กราฟจึงดูราบ

ข้อ 16. ★★★☆☆

ที่อุณหภูมิ 25°C และความดัน 1 atm สาร X เป็นแก๊ส สาร Y เป็นของเหลว และสาร Z เป็นของแข็ง ข้อใดกำหนดจุดหลอมเหลว (mp) และจุดเดือด (bp) ที่ 1 atm ของสารทั้งสามได้สอดคล้องกับสถานะข้างต้น

ก.

X: mp −7°C, bp 59°C · Y: mp −95°C, bp 56°C · Z: mp 115°C, bp 445°C

ข.

X: mp −101°C, bp −34°C · Y: mp 44°C, bp 280°C · Z: mp 115°C, bp 445°C

ค.

X: mp −101°C, bp −34°C · Y: mp −95°C, bp 56°C · Z: mp −39°C, bp 357°C

ง.

X: mp −101°C, bp −34°C · Y: mp −95°C, bp 56°C · Z: mp 115°C, bp 445°C

ข้อ 17. ★★★★☆

แผนภาพวัฏภาคของ CO_2 มีจุดร่วมสาม (triple point) ที่ −56.6°C, 5.1 atm และเส้นแบ่งของแข็ง–ของเหลวมีความชันเป็นบวก ข้อใดถูกต้อง

ก.

ที่ความดัน 1 atm เมื่อให้ความร้อนแก่ CO_2 ของแข็ง จะหลอมเป็นของเหลวก่อนแล้วจึงกลายเป็นแก๊ส

ข.

ที่จุดร่วมสาม มีเฉพาะสถานะของแข็งกับแก๊สอยู่ร่วมกันในสมดุล

ค.

เส้นแบ่งของแข็ง–ของเหลวของ CO_2 ชันเป็นลบเหมือนของน้ำ ทำให้เพิ่มความดันแล้วของแข็งหลอมเหลว

ง.

CO_2 ของเหลวเกิดไม่ได้ที่ความดันต่ำกว่า 5.1 atm ดังนั้นที่ 1 atm น้ำแข็งแห้งจึงระเหิดโดยไม่หลอมเหลว

ข้อ 18. ★★★★☆

กำหนดให้ความร้อนแฝงของการหลอมเหลวของน้ำแข็ง $\Delta H_{\text{fus}} = 6.0$ kJ/mol และความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ $\Delta H_{\text{vap}} = 41.0$ kJ/mol (H = 1, O = 16) การระเหิดน้ำแข็ง 4.5 g (ที่ภาวะซึ่งการระเหิดเกิดได้ และถือว่าค่าความร้อนแฝงคงที่) ต้องใช้พลังงานกี่ kJ

ก.

11.75 kJ

ข.

10.25 kJ

ค.

8.75 kJ

ง.

1.50 kJ

ข้อ 19. ★★★★★

ต้องการเปลี่ยนน้ำแข็ง 9.0 g ที่ 0°C ให้กลายเป็นไอน้ำทั้งหมดที่ 100°C ภายใต้ความดัน 1 atm กำหนดให้ $\Delta H_{\text{fus}} = 6.0$ kJ/mol, $\Delta H_{\text{vap}} = 40.7$ kJ/mol, ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ = 4.2 J/(g·°C) และ H = 1, O = 16 ต้องใช้พลังงานทั้งหมดกี่ kJ

ก.

23.35 kJ

ข.

24.13 kJ

ค.

27.13 kJ

ง.

30.91 kJ

เฉลยย่อ บทที่ 8

1. ข	2. ง	3. ก	4. ค	5. ข	6. ก	7. ค	8. ค	9. ก	10. ข
11. ค	12. ข	13. ข	14. ง	15. ก	16. ง	17. ง	18. ก	19. ค	

เฉลยละเอียดทีละขั้นดูได้ในแอป (โหมดไต่บันได/เรียน+ฝึก)