

## IV- SUBSTANTZIA PURUEN FASE-OREKA

1. 25 °C-tan dagoen 4 L-tako ganbara ireki batean, 3 cm<sup>3</sup> nitrobenzenoaren (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>NO<sub>2</sub>) sartzen dira. Ondoren ganbara itxi eta 50 °C-raino berotzen da. Zein da likido gisan geratuko den ehuneko bestea? Zein izango den ganbarako presio totala  
*Datuak:* C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>NO<sub>2</sub>-rako: d( 25°C)=1,174 g·cm<sup>-3</sup> ; T<sup>o</sup><sub>ira</sub>=210 °C; P<sub>v</sub>(85 °C)=10 mmHg

### PLANTEAMENDUA

Ontzi itxia denez likido-bapore oreka lortzen da. Oreka hau kuantifikatzeko likidoaren lurrun presioa 50 °C-tan lortu behar dugu. Likidoa lurrunduko da presio hori lortu arte. Beraz kalkulatu behar dugu.

### PROZEDURA

#### Lurrun-presioa 50 °C-tan

Gas-likidoa oreka-egoeran P eta T erlazionatzeko adierazpena Clausius-Clapeyron ekuazioa dugu:

$$\ln P_v (\text{bar}) = \frac{-\Delta_{\text{vap}}H^\circ}{RT} + \frac{\Delta_{\text{vap}}S^\circ}{R}$$

Irakite-tenperatura normala ezagutzen dugu, hau da 210 °C-tan lurrun-presioa 1 atm dela. Eta gainera 85 °C-tan lurrun-presioa 10 mmHg.

Bi balioetarako

$$\ln \frac{P_v(T_1)}{P_v(T_2)} = \frac{-\Delta_{\text{vap}}H^\circ}{R} \cdot \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

Balioak ordezkatzuz:

$$\ln \frac{1 \text{ atm}}{10/760} = \frac{-\Delta_{\text{vap}}H^\circ}{8,314 \cdot 10^{-3}} \cdot \left( \frac{1}{273 + 210} - \frac{1}{273 + 85} \right)$$

$$\Delta_{\text{vap}}H^\circ = 49,81 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Entalpia ezagutuz, 50 °C-tako lurrun presioa lor dezakegu, adierazpen berdina erabiliz eta ordezkatzuz balioak. Adibidez, irakite-puntu normala erabiltzen badugu:

$$\ln \frac{1}{P_v(50^\circ\text{C})} = \frac{-49,81}{8,314 \cdot 10^{-3}} \cdot \left( \frac{1}{273 + 210} - \frac{1}{273 + 50} \right)$$

$$P_v(50\text{ }^\circ\text{C}) = 2,14 \cdot 10^{-3} \text{ atm}$$

### Mol-kopurua gas fasean

Gas egoeran dauden molak, gas idealen egoera ekuaziotik lor dezakegu:

$$n = \frac{PV}{RT} \quad n(\text{gas}) = \frac{2,14 \cdot 10^{-3} \text{ atm} \cdot (4 - 3 \cdot 10^{-3})}{0,082 \cdot (273 + 50)} = 3,23 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

### Mol totalak

$$n(\text{total}) = \frac{3 \text{ mL} \cdot 1,174 \text{ g/mL}}{123 \text{ g/mol}} = 0,0286 \text{ mol}$$

### Baporizatu dena

$$100 \cdot \frac{3,23 \cdot 10^{-4}}{0,0286} = \%1,1$$

### Presio totala:

Presio totala nitrobenzenoaren lurrin presioa aparte airea sartu dugu presio atmosferikoan (1 atm). Tenperatura igotzean presio hori igo egin da. Beraz:

$$P = P_{\text{aire}} + P_{\text{nitro}} = 1 \text{ atm} \cdot \frac{273 + 50}{273 + 25} + 2,14 \cdot 10^{-3} \text{ atm}$$

$$\mathbf{P = 1,086 \text{ atm}}$$

## 2. A substantziaren ondoko datuak ezagutzen dira:

Puntu hirukoitza: 5,2 atm, -40,5°C  
 Puntu kritikoa: 70 atm, 30°C

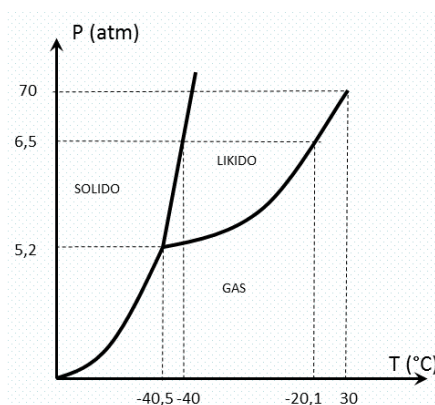
$T_{\text{irakite}} (P = 6,5 \text{ atm}) = -20,1^\circ\text{C}$   
 $T_{\text{fusio}} (P = 6,5 \text{ atm}) = -40^\circ\text{C}$

Erantzun ondorengo galderi:

- Substantzia honen fase-diagrama irudikatu (fase guztiak adierazi).
- Azaldu ze egoeratan aurkituko den A substantzia 3 atm eta 32°C-tan. Zer gertatuko da, presioa konstante mantenduz, temperatura -50°C-raino jaisten bada?
- Eta temperatura konstante mantenduz presioa 100 atm-raino igotzen bada?
- A substantziaren dentsitatea egoera solidoan handiagoa izango da likidoan baino?
- Irakite-tenperatura normala -20,1°C baino baxuagoa izango da?

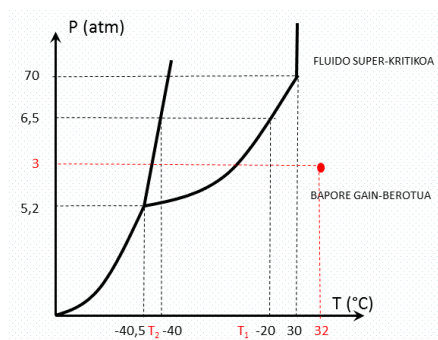
### a. Fase-diagrama

Enuntziatuan agertzen diren datuak P vs T grafikoan irudikatzen ditugu (ez-eskalan)



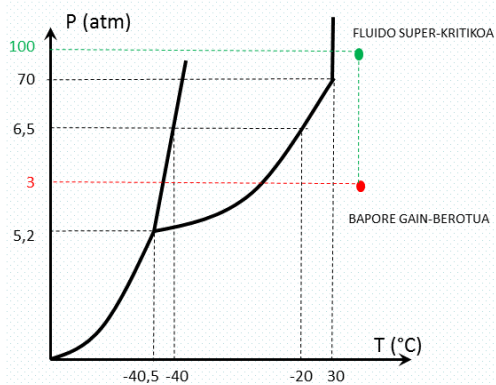
### b. Egoera 3 atm eta 32°C-tan.

Puntu hori fase-diagraman irudikatzean, substantzia gas egoeran dagoela adierazten da. Tenperatura, tenperatura kritikoa baino altuagoa denez, bapore gain-bereotu deritzo.



Presioa konstante mantenduz, temperatura -50°C-raino jaisten bada, lerro gorriak adierazten den moduan: gasa hozten ea  $T_1$  tenperatura lortu arte; ondoren gasa kondentsatzen da tenperatura horretan; substantzia osoa likidotzean likidoaren tenperatura jaitsiz doa  $T_2$  tenperatura lortu arte; tenperatura horretan solido bihurtzen da eta bukatzeko solidoaren tenperatura jaisten da.

**c. T konstante P=100 atm**



Prozesua lerro berdeak adierazten du. Temperatura barioa barioa kritikoa baino altuagoa denez, gasa ezin da likidotu, presioa asko igo arte. Presioa presio kritikoa baino altuagoa denean substantzia fluido super-kritikoa izango da.

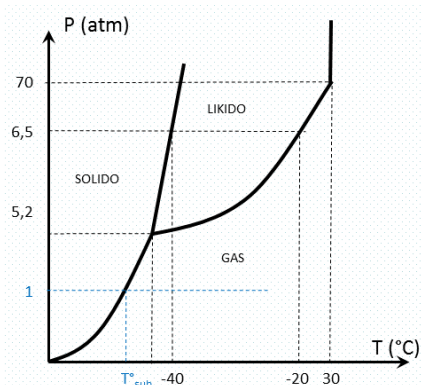
**d. d(s) > d(l)?**

Solido-likido orekaren termodinamika kuantifikatzeko Clapeyron ekuazioa daukagu.

$$\Delta T_{\text{fus}} = \frac{T_{\text{fus}} \cdot \Delta V_{\text{fus}}}{\Delta_{\text{fus}}} \Delta P$$

Ekuazio honen arabera presioarekin fusio-temperatura igotzea ala jaitea  $\Delta V_{\text{fus}}$ -ren seinuaren menpe dago, gainontzeko magnitude guztiak positiboak direlako. Fase diagrama solido-likido oreka adierazten duen lerroak malda positiboa du. Beraz  $\Delta V_{\text{fus}}$  positiboa da  $V(l)-V(s) > 0$  edo beste era batean esanda, egoera likidoaren dentsitatea txikiagoa da egoera solidoarena baino.

**e. T°ira < -20.1°C ?**



Irakite-temperatura normalak adierazten du kanpoko presioa 1 atm dela. Substantzia honetarako 1 atm egoera solidoa eta gas egoera bakarrik egon daitezke, baina ez likidoa. Beraz sublimazio-temperatura normala bakarrik existitzen da.

3. Ezezaguna den konposatu baten fase-diagramatik honako datuak bildu dira:

**Puntu hirukoitza: 91,9 mmHg, 113,6 °C**

**T° irakite: 184,4 °C**

**Puntu kritikoa: 1550 mmHg, 225,0 °C**

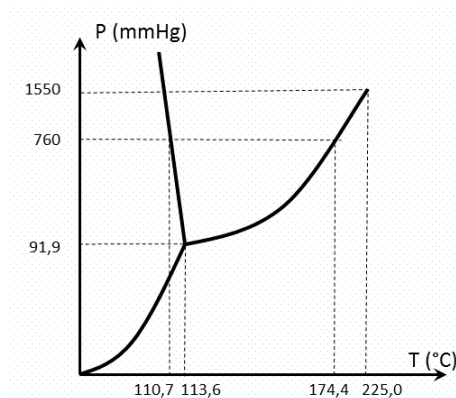
**T° fus: 110,7 °C**

- Substantziaren fase-diagrama irudikatu.
- Azaldu zein egoeratan aurkituko den sustantzia inguruko tenperaturan eta 105,0 mmHg-ko presiopean. Egoera solidoan egonik beroa ematen bazaio modu jarraian, **arrazoitu** tenperaturaren igoera ere progresiboa izango den edo ez.
- Zein da sublimazio tenperatura normala?
- Zein egoeratan aurkitzen da inguruko presioan 250 °C-tan berotzen bada? Eta tenperatura horretan presioa igotzen bada, zer gertatuko da?
- Hozkailu-kamioien enpresa batek sustantzia garraiatzeko eskaintza bat egin du. Baldintzetako bat egoera likidoan garraiatzea da, eta hozkailuak ez dauka huts-sistemarik. Egokia litzateke eskaintza onartzea?
- Ikertzaile batek ohar hau idatzi zuen: "sustantzia honen bi masa, bata solidoa eta bestea likidoa, nahastean, solidoa azkar urperatzen dela ikusten da". Zure irizpidearen arabera, ohar hau zuzena da?

Erantzunak **arrazonatu**.

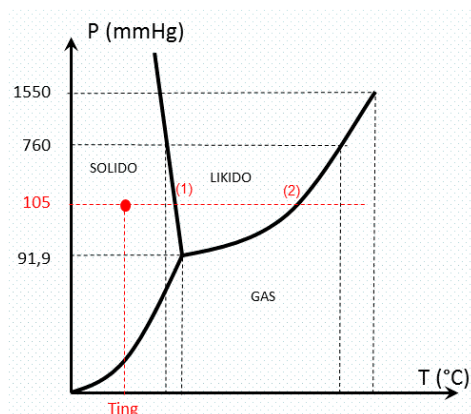
#### a. Fase-diagrama

Enuntziatuan agertzen diren datuak P vs T grafikoan irudikatzen ditugu (ez-eskalan)



#### b. Egoera 105,0 mmHg eta T<sub>inguru</sub>.

Puntu hori fase-diagraman irudikatzean, sustantzia solido egoeran dagoela adierazten da.



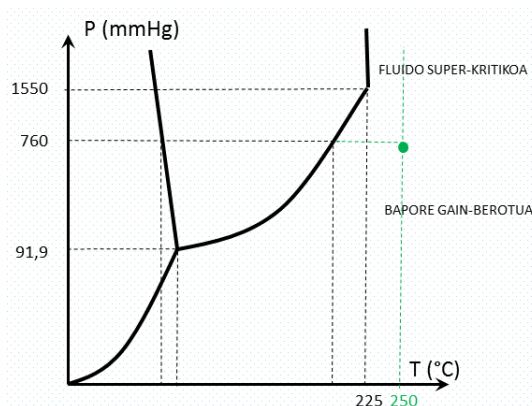
Egoera horretan dagoen substantziari beroa ematean temperatura jarraian igoko da (1) puntuko egoera lortu arte. Puntu horretan solidoa likidotu egingo da, beraz emandako beroak ez du temperatura igoko, energia fase-aldaketan erabiliko da. Dena funditu ondoren kikidoaren temperatura berriro igotzen hasiko da (2) puntuko temperatura lortu arte. Momentu horretan likidoa baporizatuko da, eta beraz emandako beroak ez du temperatura igoko, substantzia baporizatzeke erabiliko da. Baporizazio

prozesua bukatzen denean, beroak gasaren temperatura progresiboki igoko du.

### c. Sublimazio tenperatura normala

Normala hitzak kanpoko presioa 1 atm (760 mmHg) deneko prozesua adierazten du. Sublimazioa gertatzeko kanpoko presioa presio hirukoitza baino baxuagoa izan behar da, kasu honetan 91,9 mmHg baino baxuagoa da. Beraz substantzia honek ez du sublimazio-tenperatura normala.

### d. $P_{ing}$ eta $T = 250\text{ }^{\circ}\text{C}$



Baldintza hauekin, substantziaren egoera diagramako puntu berdeak adierazten du. Gasa da. Tenperatura tenperatura kritikoa baino altuagoa denez, bapore gain-berotua deritzo.

Temperatura konstante manenduz presioa igotzen badugu, gasa ezin da likidotu tenperatura kritikoa baino altuagoa delako. Presioa kritikoa baino altuagoa denean egoerari fluido super-kritiko deritzo.

### e. Kamioia: $P_{ing}$ eta $T \leq T_{ingu}$

Likidoa existitzeko, presioa presio hirukoitza baino altuagoa izan behar da. Kamioiaren presioa presio atmosferikoa (760 mmHg) denez, baldintza hori betetzen da. Baina hozkailu-kamioaren tenperatura ingurukoa edo baxuagoa da, eta tenperatura horiek fusio-tenperatura normala baino baxuagoa denez, substantzia solidoa da. Beraz eskaintza onartzea ezinezkoa da.

### e. Solidoa likidoan urperatzea

Solidoa likidoan urperatzeko, solidoaren dentsitatea likidoarena baino altuagoa izan behar da. Ala bada, fusio prozesuan gertatzen den bolumen aldaketa

positiboa da,  $\Delta V_{\text{fus}} > 0$ . Clapeyron ekuazioa adierazten den arabera, kasu horretan fusio tenperatura presioarekin batera igo behar da, magnitude

$$\Delta T_{\text{fus}} = \frac{T_{\text{fus}} \cdot \Delta V_{\text{fus}}}{\Delta_{\text{fus}}} \Delta P$$

guztiak positiboak direlako. Baina fase-diagraman fusio-prozesuaren malda negatiboa da, hau da, presioa igotzean fusio-tenperatura jaisten da. Ondorioz, ikertzaileak idatzitakoa ez da zuzena.

4. a. Izotzaren lurrun-presioa  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ -tan eta  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ -tan  $1,63\text{ mmHg}$  eta  $0,0157\text{ mmHg}$  dira hurrenez hurren. Determinatu uraren puntu hirukoitza eta irudikatu fase-diagrama.
- b.  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ -tan dagoen  $3\text{ L}$ -ko ganbara ireki batean,  $2,5\text{ cm}^3$  sartzen dira. Ondoren ganbara itxi eta  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ -taraino berotzen da. Zein da likido gisa geratuko den ehuneko bestea? Zein izango da ganbarako presio totala?

Datuak:  $d(\text{H}_2\text{O}, 25^{\circ}\text{C})=1,00\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$        $T^{\circ}_{\text{ira}}=100\text{ }^{\circ}\text{C}$      $S^{\circ}(\text{l})$      $S^{\circ}(\text{g})$

### a. Izotzaren puntu hirukoitza eta fase-diagrama

#### PLANTEAMENDUA

Puntu hirukoitzean solidoaren lurrun-presioa eta likidoaren lurrun-presioa berdinak dira, hiru egoera fisikoak batera aurkitzen direlako. Puntu hirukoitza determinatzeko solidorako eta likidorako lurrun-presioaren adierazpen bana aurkitu behar dira eta berdindu.

#### PROZEDURA

##### Solido-Bapore Oreka

Solidoaren lurrun-presioaren balioa tenperaturaren menpe dago eta menpekotasuna kuantifikatzeko adierazpena hau da:

$$\ln P_v(\text{bar}) = \frac{-\Delta_{\text{sub}}H^{\circ}}{RT} + \frac{\Delta_{\text{sub}}S^{\circ}}{R}$$

Adierazpen hau erabiltzeko sublimazio-entalpia eta entropia kalkulatu behar dugu. Horretarako oreka honetako bi datu ditugu:  $P_v(-12\text{ }^{\circ}\text{C})=1,63\text{ mmHg}$  eta  $P_v(-55\text{ }^{\circ}\text{C})=0,0157\text{ mmHg}$ . Bi balioetarako ekuazioa beste era honetan jar dezakegu:

$$\ln \frac{P_v(T_1)}{P_v(T_2)} = \frac{-\Delta_{\text{sub}}H^{\circ}}{R} \cdot \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

Aurreko datuak ordezkatzuz (tenperatura Kelvinetan)

$$\ln \frac{1,63}{0,0157} = \frac{-\Delta_{\text{sub}}H^{\circ}}{8,314 \cdot 10^{-3}} \cdot \left( \frac{1}{261} - \frac{1}{218} \right)$$

$$\Delta_{\text{sub}}H^{\circ} = 51,07\text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Sublimazio-entalpia ezaguturik, sublimazio-entropia falta da. Kalkulatzeko lehenengo ekuazioa erabiliko dugu entalpiaren balioa jarriz eta ezagutzen diren bi datuetatik bat erabiliz, adibidez  $P_v(-12\text{ }^{\circ}\text{C})=1,63\text{ mmHg}$ :

$$\ln \frac{1,63}{760 \cdot 0,9869} = \frac{-51,07}{8,314 \cdot 10^{-3} \cdot 261} + \frac{\Delta_{\text{sub}}S^{\circ}}{8,314}$$

$$\Delta_{\text{sub}}S^{\circ} = 144,69\text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$



Beraz:

$$\ln P_v (s, \text{bar}) = \frac{-51,07}{RT} + \frac{144,69}{R}$$

### Likido-Bapore Oreka

Presioa eta temperatura erlazionatzeko adierazpena:

$$\ln P_v (\text{bar}) = \frac{-\Delta_{\text{vap}}H^\circ}{RT} + \frac{\Delta_{\text{vap}}S^\circ}{R}$$

Irakite-tenperatura normala ezagutzen dugu, hau da 100 °C-tan lurrin-presioa 1 atm dela. Eta gainera  $\Delta_{\text{vap}}S^\circ$  kalkula dezakegu likidoaren eta gasaren entropia balio absolutuekin:

$$\Delta_{\text{vap}}S^\circ = S^\circ(\text{g}) - S^\circ(\text{l}) = 188,93 - 69,91 = 118,92 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

Ordezkatuz:

$$\ln \frac{1}{0,9869} = \frac{-\Delta_{\text{vap}}H^\circ}{8,314 \cdot 10^{-3} \cdot 373} + \frac{118,92}{8,314}$$

$$\Delta_{\text{vap}}H^\circ = 44,32 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Beraz:

$$\ln P_v (\text{l, bar}) = \frac{-44,32}{RT} + \frac{118,92}{R}$$

### Puntu hirukoitza

Solido-bapore eta likido-bapore bi adierazpenak berdinduz lortzen da

$$\frac{-51,07}{RT_H} + \frac{144,69}{R} = \frac{-44,32}{RT_H} + \frac{118,92}{R}$$

$$T_H = 261,9 \text{ K} = -11,1 \text{ }^\circ\text{C}$$

Eta tenperatura hori ordezkatzuz  $P_v(\text{s})$ -an zein  $P_v(\text{l})$ -an

$$\ln P_H = \frac{-44,32}{8,314 \cdot 10^{-3} \cdot 261,9} + \frac{118,92}{8,314} = -6,05$$

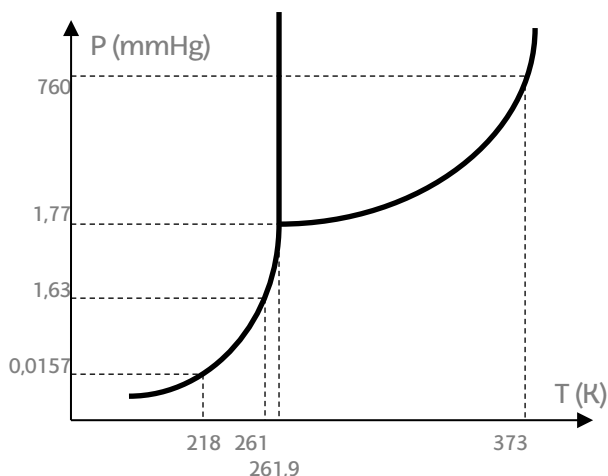
$$P_H = 2,35 \cdot 10^{-3} \text{ bar} = 1,77 \text{ mmHg}$$

**Puntu hirukoitza: 1,77 mmHg eta -11,1 °C**

Benetako puntu hirukoitza 273,01 K eta 4,58 mmHg da. Ariketaren emaitza ez dago oso ondo. Arrazoiren bat prozesuaren entalpia eta entropia temperaturarekiko menpekotasuna kontutan ez hartzea da.

### Fase-diagrama

Puntu hirukoitza ezaguturik eta enuntziatuan agertzen diren datuak p vs T diagrama batean irudikatuko ditugu (ez-eskalan)



### **b. Ontzi batean ura sartzea**

20 °C-tan dagoen 3 L-ko ganbaran, 2,5 cm<sup>3</sup> sartzen dira. Ondoren ganbara itxi eta 60 °C-taraino berotzen da. Berotzean ura lurrunduko da 60 °C-ko lurrunpresioa lortu arte. Presio hori zein den determinatuko dugu:

$$\ln P_v(60\text{ }^\circ\text{C}) = \frac{-44,32}{8,314 \cdot 10^{-3} \cdot 333} + \frac{118,92}{8,314}$$

$$P_v(60\text{ }^\circ\text{C}) = 0,1818\text{ bar}$$

Gas egoeran dauden molak gasen egoera-ekuazioa erabiliz kalkula daiteke:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$n(\text{gas}) = \frac{0,182\text{ bar} \cdot (3 - 2,5 \cdot 10^{-3})\text{ L}}{0,083\text{ bar} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot 333\text{ K}} = 1,97 \cdot 10^{-2}\text{ mol}$$

Ontzian sartu diren mol totalak, likidoa denez:

$$n(\text{total}) = \frac{2,5\text{ mL} \cdot 1\text{ g/mL}}{18,02\text{ g/mol}} = 0,1389\text{ mol}$$

Baporizatu den portzentaia:

$$100 \cdot \frac{1,97 \cdot 10^{-2}}{0,1389} = \%14$$

Ontziko presio totala ur-lurrunak egiten duen presioa da baina baita ura sartu baino lehen zegoen airearena (1 atm eta 293 K). Dena den, airea berotzean presioa igoko da, temperatura absolutuarekiko proportzionala delako. Beraz:

$$P = P_{\text{aire}} + P_{\text{ura}} = 1\text{atm} \cdot \frac{333}{293} + 0,179\text{atm}$$

$$\mathbf{P = 1,32 atm}$$

5. Xenonarentzat ondoko datuak emanik:

$$T^{\circ}_{\text{irakite}} = -105 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Puntu hirukoitza: } 0,37 \text{ atm eta } -121 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

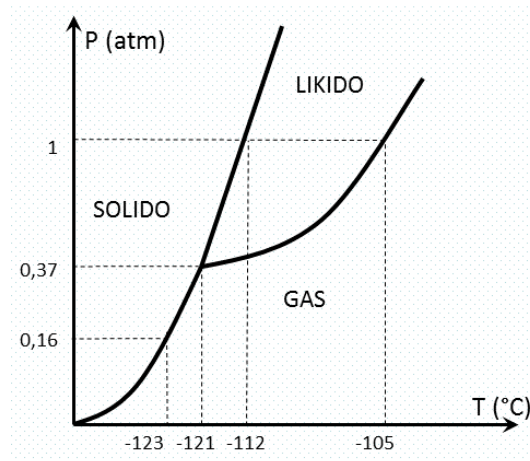
$$T^{\circ}_{\text{fusio}} = -112 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$P_v(\text{Xe(s)} \text{ } -123 \text{ }^{\circ}\text{C-tan}) = 0,16 \text{ atm}$$

- a. Xenonaren fase-diagrama irudikatu.
- b. Zein da Xe-aren sublimazio-tenperatura normala?
- c. Ze egoeratan aurkituko da xenona:
  - 1- 1 atm eta 25 °C-tan?
  - 2- 0,76 atm eta -110 °C-tan? Eta -108 °C-tan?
- d. Zein da Xe-aren fusio-entalpia?

**a. Fase-diagrama**

Enuntziatuan agertzen diren datuak P vs T grafikoan irudikatzen ditugu (ez-eskalan)



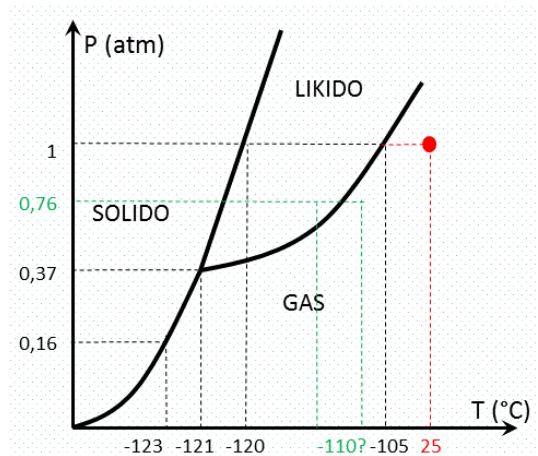
**b. Sublimazio-tenperatura normala**

Normala hitzak adierazten duena kanpoko presioa 1 atm dela. 1 atm puntu hikoitzetik gora dagoenez, Xe ezin da sublimatu 1 atm-pean. Sublimazioa gertatzeko kanpoko presioa 0,37 atm baino baxuagoa izan behar da. Ondorioz Xe-k ez du sublimazio-tenperatura normala.

**c1. 1 atm eta 25 °C-tan**

Fase diagraman Xe-aren egoera gasa dela ikus daiteke (puntu gorria), bere lurrin presioa 1 atm baino altuagoa delako.

**c2. 0,76 atm eta -110 °C-tan**



0,76 atm-peak Xe-a hiru egoera fisikoetan aurki daiteke tenperaturaren arabera. Baina tenperaturaren mugak ez dakigu. Beraz, eta fase-diagrama ikus daitekeen bezala, -110 °C-tan Xe likido zein gas izan daiteke. Determinatzeko bi aukera ditugu, bietan Clausius-Clapeyron ekuazioa erabiltzen da:

$$\ln \frac{P_v(T_1)}{P_v(T_2)} = \frac{-\Delta_{\text{vap}}H^\circ}{R} \cdot \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

- Aukera 1: -110 °C-tan lurrun-presioa kalkulatu eta konparatuz 0,76 atm-rekin.

Ekuazioa erabiltzeko baporizazio-entalpia aurretik kalkulatu behar dugu. Asmo horrekin iraki-prozesuko ezagutzen ditugu erabiliko dugu: puntu hirukoitza eta irakite tenperatura-normala.

Irakite-tenperatura normala: 1 atm -105 °C

Puntu hirukoitza: 0,37 atm -121 °C

$$\ln \frac{1}{0,37} = \frac{-\Delta_{\text{vap}}H^\circ}{8,314 \cdot 10^{-3} \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}} \cdot \left( \frac{1}{273 - 105} - \frac{1}{273 - 121} \right)$$

$$\Delta_{\text{vap}}H^\circ = 13,19 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Behin baporizazio-entalpiaren balioa ezagutuz, -110 °C-an lurrun-presio kalkulatu da, irakite-tenperatura normala edo puntu hirukoitza (hemen lehen datua erabili da):

$$\ln \frac{1}{P_v(-110^\circ\text{C})} = \frac{-13,19 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}}{8,314 \cdot 10^{-3} \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}} \cdot \left( \frac{1}{273 - 105} - \frac{1}{273 - 110} \right)$$

$$P_v(-110^\circ\text{C}) = 0,75 \text{ atm} < 0,76 \text{ atm}$$

Lurrun-presioa kanpoko presioa baino baxuagoa denez, Xe gas egoera dago.

- Aukera 2: 0,76 atm-an irakite tenperatura kalkulatu

Behin baporizazio-entalpiaren balioa ezagutuz, 0,76 atm-an irakite-puntua kalkulatu da, irakite-tenperatura normala edo puntu hirukoitza (hemen lehen datua erabili da):

$$\ln \frac{1}{0,76} = \frac{-13,19 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}}{8,314 \cdot 10^{-3} \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}} \cdot \left( \frac{1}{273 - 105} - \frac{1}{273 + T} \right)$$

$$T = -109,7 \text{ }^\circ\text{C}$$

0,76 atm-pean Xe-ak -109,7 °C-tan diraki. Beraz -110 °C-tan gasa da.

## C2. 0,76 atm eta -108 °C-tan.

Aurreko atalean Xe-aren irakite-tenperatura 0,76 atm -109,7 ikusiko dugu dela, beraz, -108 °C Xe-a likidoa da. Tenperatura horretan lurrun-presioa zein den ere kalkula daiteke eta 0,76 atm-rekin alderatu:

$$\ln \frac{1}{P_v(-108^\circ\text{C})} = \frac{-13,19 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}}{8,314 \cdot 10^{-3} \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}} \cdot \left( \frac{1}{273 - 105} - \frac{1}{273 - 108} \right)$$

$$P_v(-108^\circ\text{C}) = 0,84 \text{ atm} > 0,76 \text{ atm}$$

Handiagoa denez, Xe likidoa da.

## d. Xe-aren fusio-entalpia

Fusioaren-entalpia kalkulatzeko Clapeyron-en ekuazioa erabili daiteke. Ekuazio hau fusio-tenperaturaren aldaketa presioarekin kuantifikatzen du, eta aldaketa hori fusio-entalpiaren mende dago

$$\Delta T_{\text{fus}} = \frac{T_{\text{fus}} \cdot \Delta V_{\text{fus}}}{\Delta_{\text{fus}}} \Delta P$$

Formula hau erabiltzeko solidoaren eta likidoaren bolumena edo dentsitateak behar direnez, ezin dugu erabili.

Beste modu bat lortzeko, sublimazioaren bi datuekin sublimazio-entalpia kalkulatu eta baporizazio-entalpiarekin alderatuz, fusio prozesuaren entalpia kalkula daiteke sublimazioa fusioa gehi baporizazioa delako.

Solido egoerako:

$$\ln \frac{P_v(T_1)}{P_v(T_2)} = \frac{-\Delta_{\text{sub}}H^\circ}{R} \cdot \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

Datuak: Puntu hirukoitza: 0,37 atm, -121 °C; 0,16 atm, -123 °C

$$\ln \frac{0,16}{0,37} = \frac{-\Delta_{\text{sub}}H^\circ}{8,314 \cdot 10^{-3} \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}} \cdot \left( \frac{1}{273 - 123} - \frac{1}{273 - 121} \right)$$

$$\Delta_{\text{sub}}H^\circ = 79,46 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Sublimazio prozesua fusioa gehi baporizazio moduan uler daiteke (egoera-funtzio baten ikuspuntutik). Beraz:

$$\Delta_{\text{sub}}H^\circ = \Delta_{\text{fus}}H^\circ + \Delta_{\text{vap}}H^\circ$$

$$\Delta_{\text{fus}}H^\circ = \Delta_{\text{sub}}H^\circ - \Delta_{\text{vap}}H^\circ$$

$$\Delta_{\text{fus}}H^\circ = 79,46 - 13,19 = 66,27 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$