

# Termodinàmica Fonamental

Luis Carlos Pardo  
planta 11 Despatx 11.61

- 1.- Introducció
- 2.- Equació d'estat del gas ideal
- 3.- Superfície PVT d'un gas ideal
- 4.- Barreja de gasos perfecte no reaccionants
- 5.- Superfície PVT de substàncies reals
- 6.- Equacions d'estat de substàncies reals
  - 7.1.- Equació de Van der Waals
  - 7.2.- Altres equacions d'estat
  - 7.3.- Equacions d'estat del Virial
- 7.- Coordenades Crítiques, equacions d'estat reduïdes i llei d'estats corresponent
- 8.- Humitat

### 1.- Introducció

2.- Equació d'estat del gas ideal

3.- Superfície PVT d'un gas ideal

4.- Barreja de gasos perfecte no reaccionants

5.- Superfície PVT de substàncies reals

6.- Equacions d'estat de substàncies reals

7.1.- Equació de Van der Waals

7.2.- Altres equacions d'estat

7.3.- Equacions d'estat del Virial

7.- Coordenades Críiques, Equacions d'estat reduïdes  
i llei d'estats corresponent

8.- Humitat

**Sistema termodinàmic:** porció de l'espai separada de l'exterior per parets reals o imaginèries objecte d'estudi de la termodinàmica

**Variables o coordenades termodinàmiques:** valors de determinades propietats macroscòpiques

**Variables o coordenades d'estat:** variables independents per descriure l'estat termodinàmic

**Equilibri termodinàmic**(sistema homogeni):

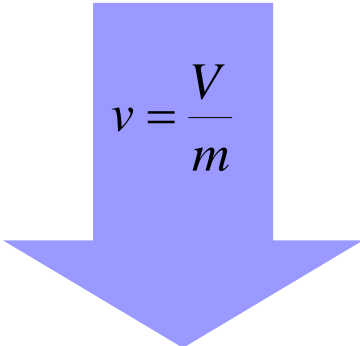
quan les coordenades termodinàmiques no varien amb el temps

## Equació d'estat

Relació entre variables termodinàmiques en estats d'equilibri

$$f(P, V, T, m) = 0$$

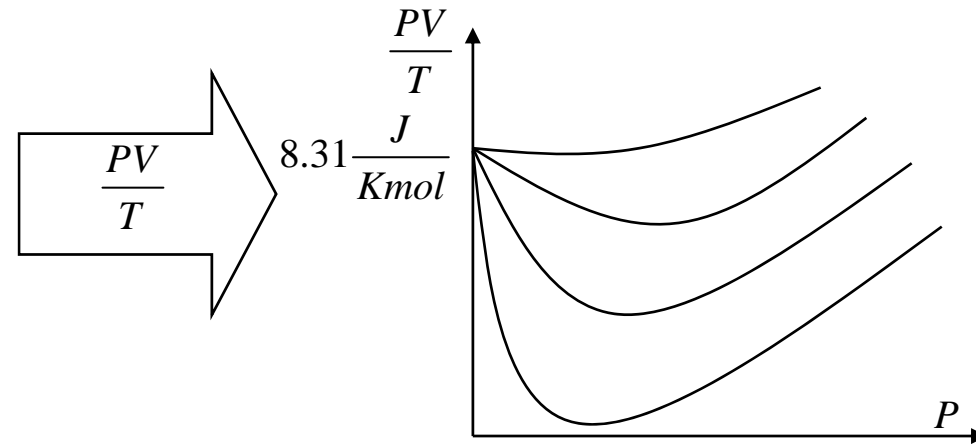
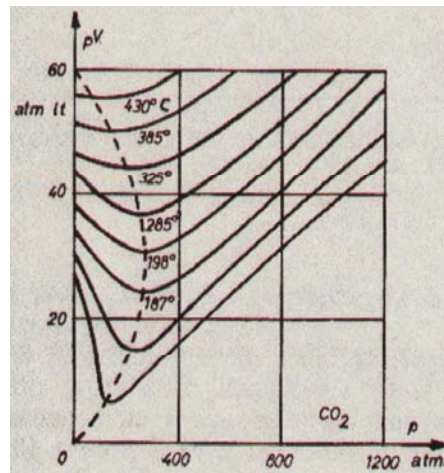
Es pot utilitzar el volum específic "eliminant la grandaria" del sistema


$$v = \frac{V}{m}$$

$$f(P, v, T) = 0$$

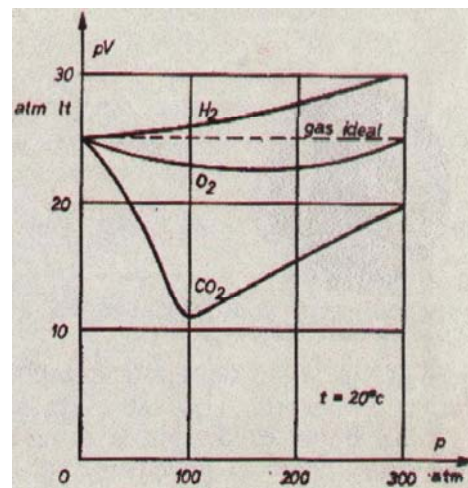
- 1.- Introducció
- 2.- Equació d'estat del gas ideal**
- 3.- Superfície PVT d'un gas ideal
- 4.- Barreja de gasos perfecte no reaccionants
- 5.- Superfície PVT de substàncies reals
- 6.- Equacions d'estat de substàncies reals
  - 7.1.- Equació de Van der Waals
  - 7.2.- Altres equacions d'estat
  - 7.3.- Equacions d'estat del Virial
- 7.- Coordenades Críiques, Equacions d'estat reduïdes i llei d'estats corresponent
- 8.- Humitat

Mesurem per cada isoterma la relacio  $pV$  per a **un gas ( $\text{CO}_2$ )** de *massa fixada*



Ara representem  $PV$  per **molts gasos** en funció de  $P$  per a una isoterma ( $T=293.15\text{K}$ )

$24.038 \text{atm} \cdot \text{l}$



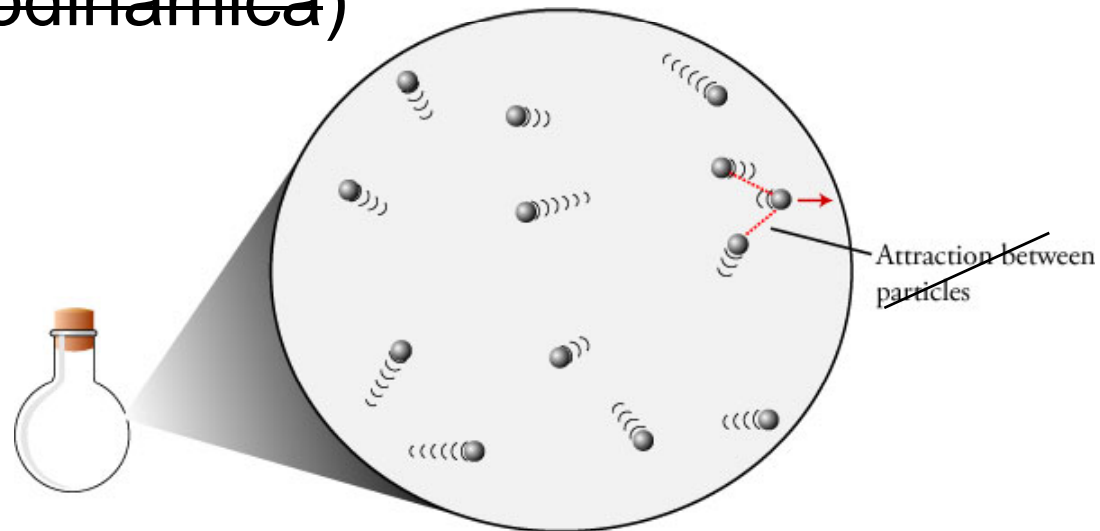
Al límit de pressions baixes, es a dir, quan la densitat és baixa  
**tots els gasos es comporten igual!!!**

Constant universal dels gasos  $R = \frac{Pv}{T} = 8.31 \frac{J}{Kmol} = 1.987 \frac{Cal}{Kmol} = 0.082 \frac{atm \cdot l}{Kmol}$

Equació del gas ideal  $Pv = RT$  (Equació de Clapeyron)

$$PV = nRT \xrightarrow{n=m/M} PV = \frac{m}{M} RT$$

Per què? (termodinàmica)



- 1.- Introducció
- 2.- Equació d'estat del gas ideal
- 3.- Superfície PVT d'un gas ideal**
- 4.- Barreja de gasos perfecte no reaccionants
- 5.- Superfície PVT de substàncies reals
- 6.- Equacions d'estat de substàncies reals
  - 7.1.- Equació de Van der Waals
  - 7.2.- Altres equacions d'estat
  - 7.3.- Equacions d'estat del Virial
- 7.- Coordenades Críiques, Equacions d'estat reduïdes i llei d'estats corresponent
- 8.- Humitat

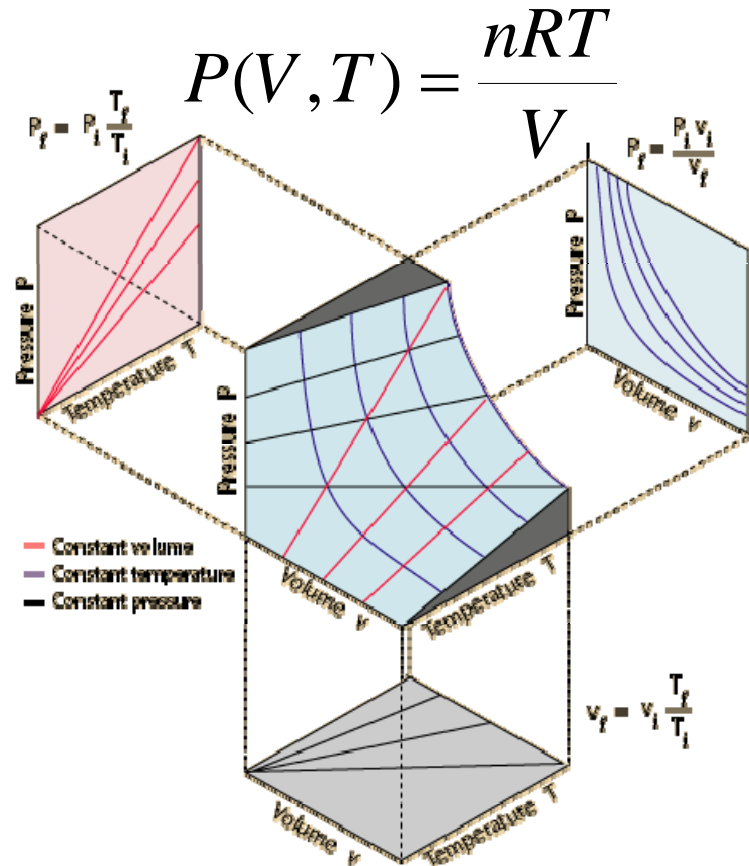


# Superfície PVT del gas ideal

Isòcores

$$P = \frac{nR}{V} T$$

$$\frac{P}{T} = \frac{nR}{V} = ct$$



Isotermes

$$P = nRT \frac{1}{V}$$

$$PV = nRT = ct$$

Llei de Boyle



Isóbaras

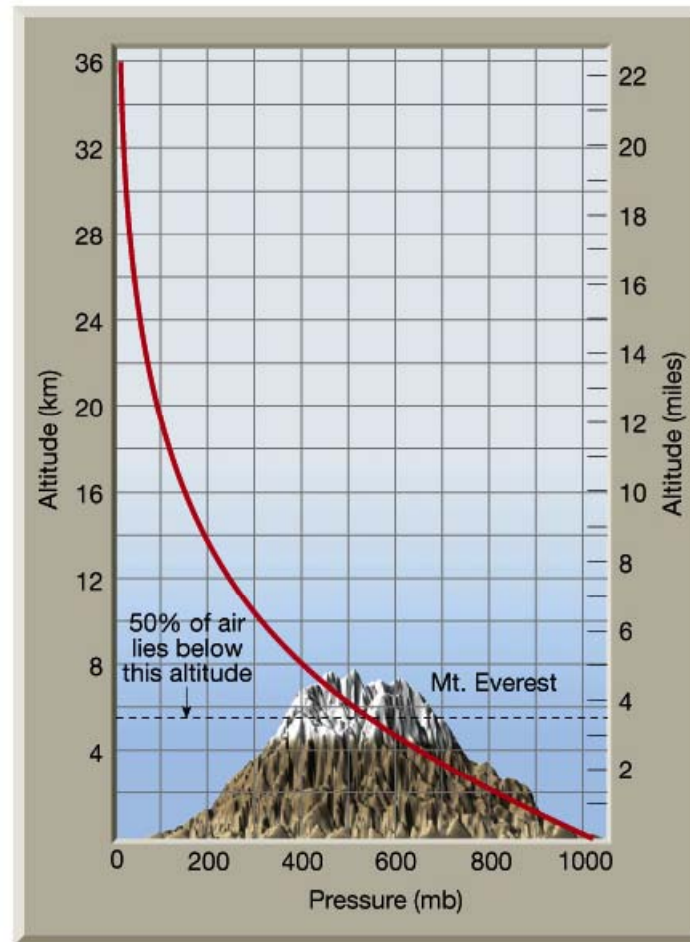
$$V = \frac{nR}{P} T$$

$$\frac{V}{T} = \frac{nR}{P} = ct$$

Llei de Charles Gay-Loussac



## Superficie PVT del gas ideal



From [http://www.ux1.eiu.edu/~cfjps/1400/atmos\\_struct.html](http://www.ux1.eiu.edu/~cfjps/1400/atmos_struct.html)

$$P = P_0 \exp\left(-\frac{Mg}{RT} h\right)$$

# Superfície PVT del gas ideal

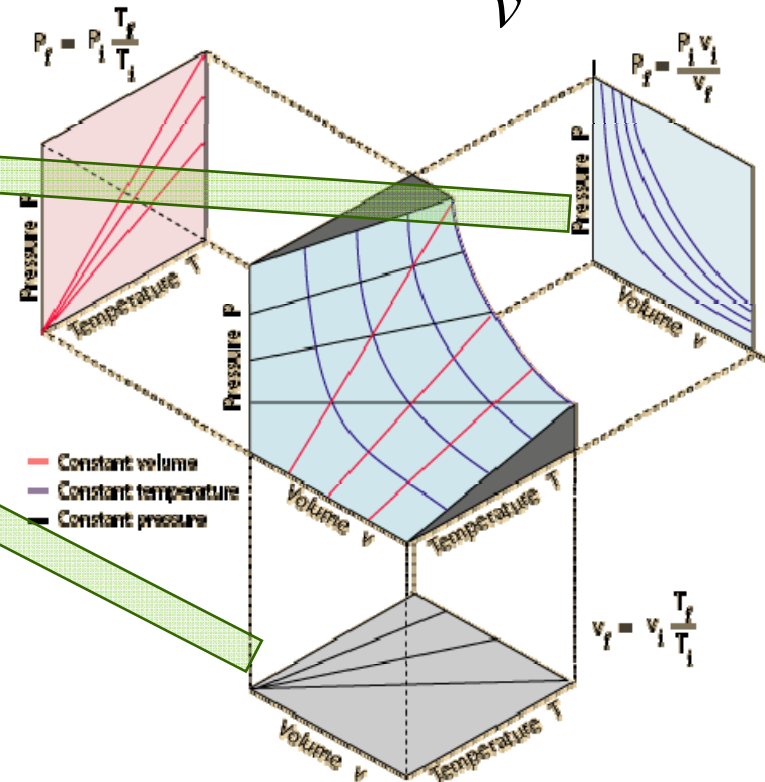
$$v = \frac{R}{P}T$$

$$P(v, T) = \frac{RT}{v}$$

"Deconstruïm" l'equació d'estat del G.I.

$$\chi_T = -\frac{1}{v} \left( \frac{\partial v}{\partial P} \right)_T = \frac{1}{v} \frac{RT}{P^2} = \frac{1}{P}$$

$$\alpha = \frac{1}{v} \left( \frac{\partial v}{\partial T} \right)_P = \frac{1}{v} \frac{R}{P} = \frac{1}{v} \frac{v}{T} = \frac{1}{T}$$



i ara "reconstruïm" l'equació d'estat

$$dv = v\alpha dT - v\chi_T dP$$

$$d \ln v = \frac{1}{T} dT - \frac{1}{P} dP$$

$$\int d \ln v = \int d \ln T - d \ln P$$

$$\ln v = \ln T - \ln P + K = \ln \frac{T}{P} + K$$

$$v = \frac{T}{P} k$$

$$Pv = Tk$$

Experiment!!

- 1.- Introducció
- 2.- Equació d'estat del gas ideal
- 3.- Superfície PVT d'un gas ideal
- 4.- Barreja de gasos perfecte no reaccionants**
- 5.- Superfície PVT de substàncies reals
- 6.- Equacions d'estat de substàncies reals
  - 7.1.- Equació de Van der Waals
  - 7.2.- Altres equacions d'estat
  - 7.3.- Equacions d'estat del Virial
- 7.- Coordenades Críiques, Equacions d'estat reduïdes i llei d'estats corresponent
- 8.- Humitat

## Superfície PVT del gas ideal

Considerem una barreja de  $N$  gasos ideals ocupant un volum  $V$  a temperatura  $T$ , sigui

➤  $P$  la pressió total

➤  $P_i$  la **pressió parcial** del gas  $i$  = la pressió com si només el gas  $i$  ocupés tot el volum

Per a cada gas  $i$ :

$$P_i V = n_i R T$$

Sumem totes les equacions:  $\left( \sum_{i=1}^N P_i \right) V = \left( \sum_{i=1}^N n_i \right) R T$

Però l'equació de G.I. es compleix també pel conjunt de gasos!

$$P V = \left( \sum_{i=1}^N n_i \right) R T$$

comparem

Obtenim la **Llei de Dalton**

$$P = \sum_{i=1}^N P_i$$

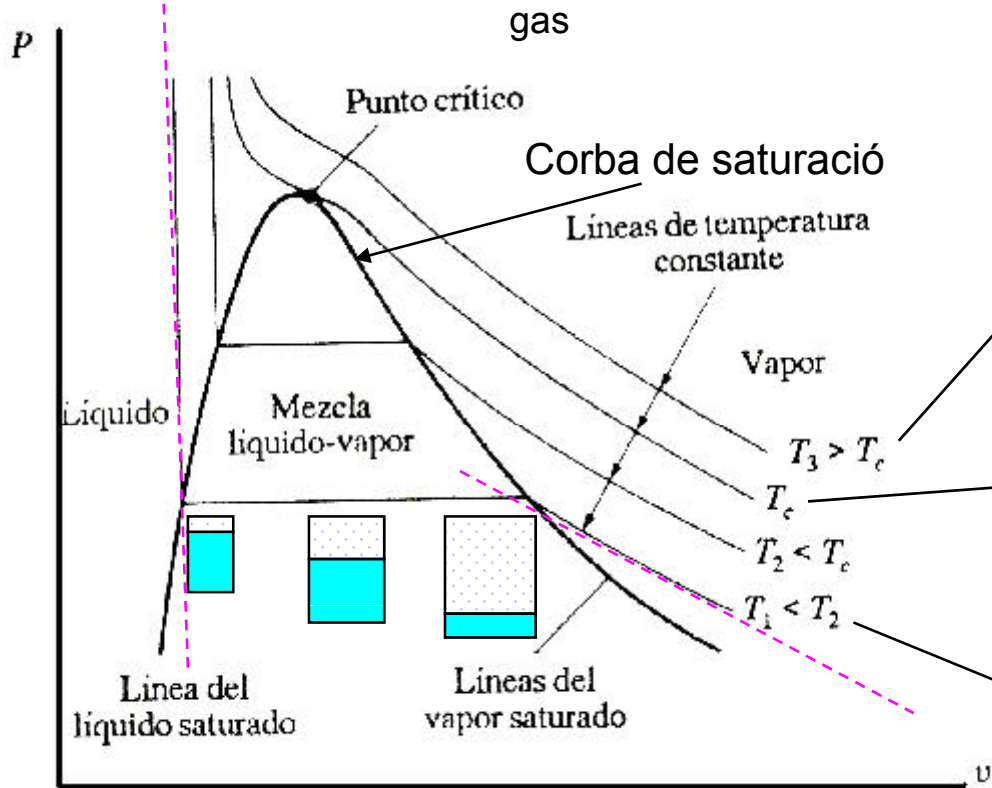
Per què? (termodinàmica)

Per que els gasos no interaccionen: "no es veuen entre ells"

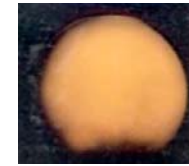


- 1.- Introducció
- 2.- Equació d'estat del gas ideal
- 3.- Superfície PVT d'un gas ideal
- 4.- Barreja de gasos perfecte no reaccionants
- 5.- Superfície PVT de substàncies reals**
- 6.- Equacions d'estat de substàncies reals
  - 7.1.- Equació de Van der Waals
  - 7.2.- Altres equacions d'estat
  - 7.3.- Equacions d'estat del Virial
- 7.- Coordenades Críiques, Equacions d'estat reduïdes i llei d'estats corresponent
- 8.- Humitat

## Diagrama de Clapeyron



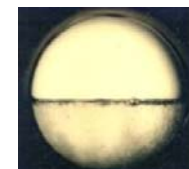
Els fluids supercrítics son disolvent molt efectius  
i ecològics!!!



Isotherma per sobre de  $T_c$   
Tenim gas **sempre**



Isotherma crítica ( $T_c$ )  
Coexistència L+V un punt!



Isotherma per sota de  $T_c$   
 $V \rightarrow$  Coexistència L+V  $\rightarrow$  L

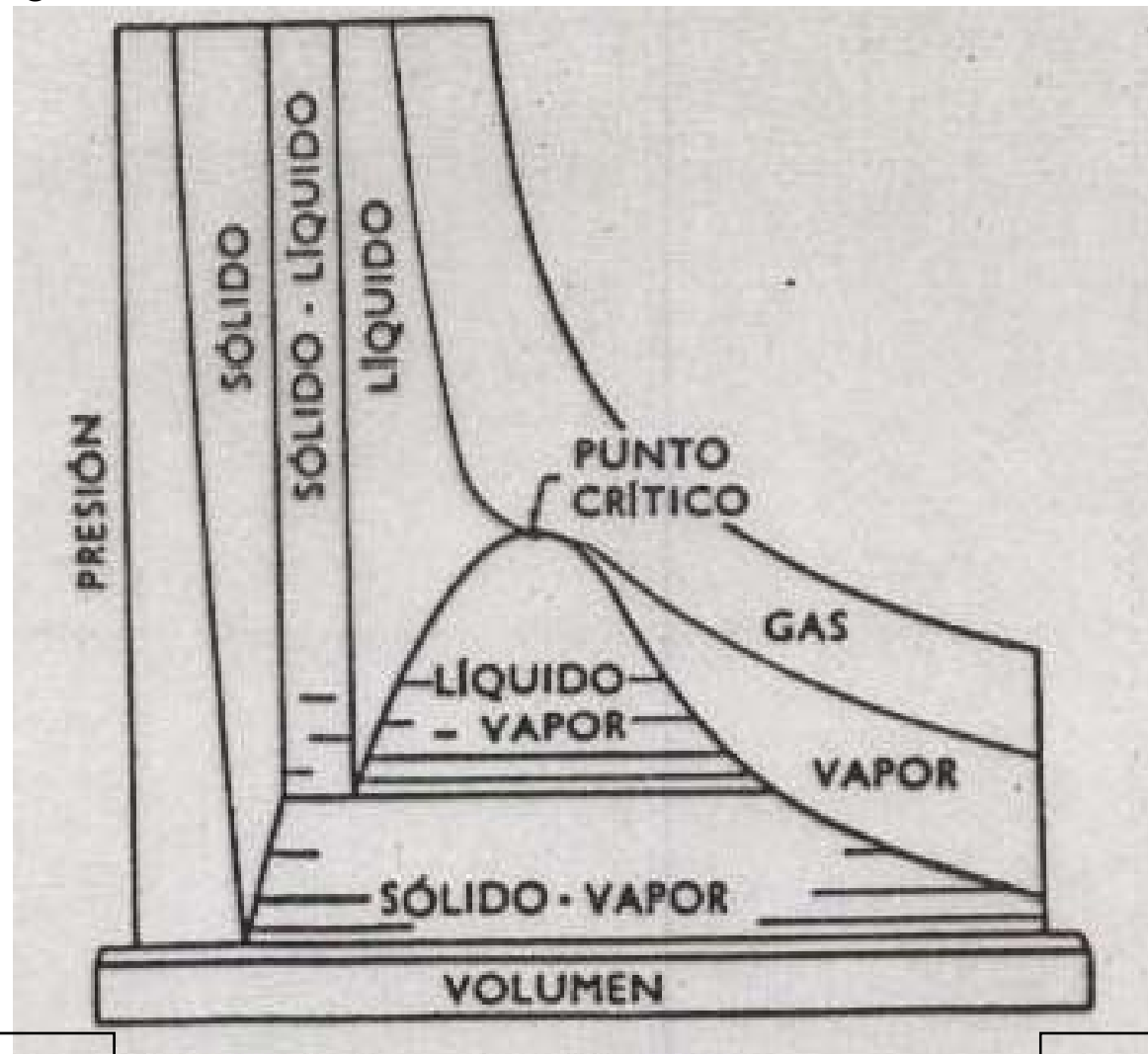
La compressibilitat del líquid i el gas es molt diferent

$$\chi_T = \frac{1}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial P} \right)_T$$

Podem “anar” del vapor al líquid sense que hi hagi coexistència L+V?



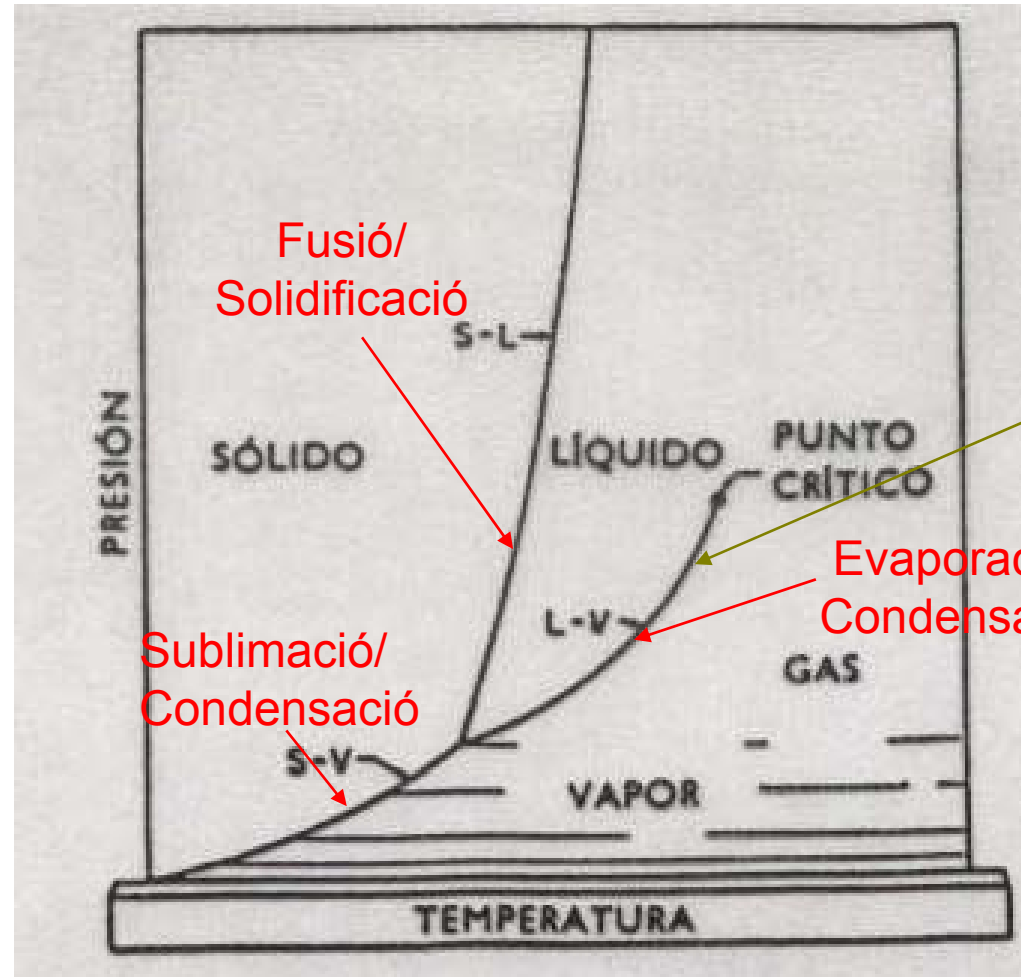
Si ara "afegim" el Sòlid...



$v_e$  petita  $\rightarrow$   $\rho$  gran

$v_e$  gran  $\rightarrow$   $\rho$  petita

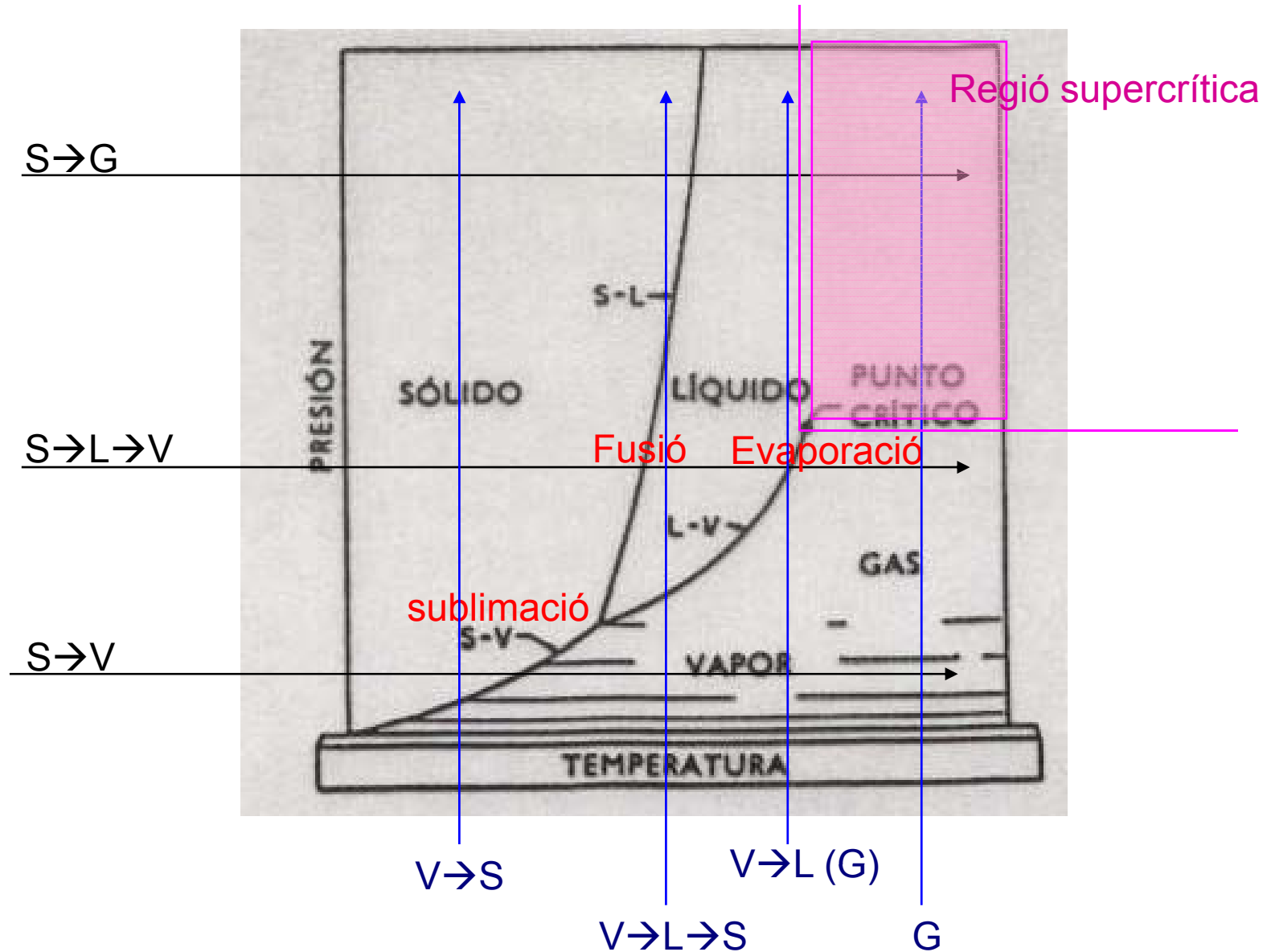
Diagrama PT



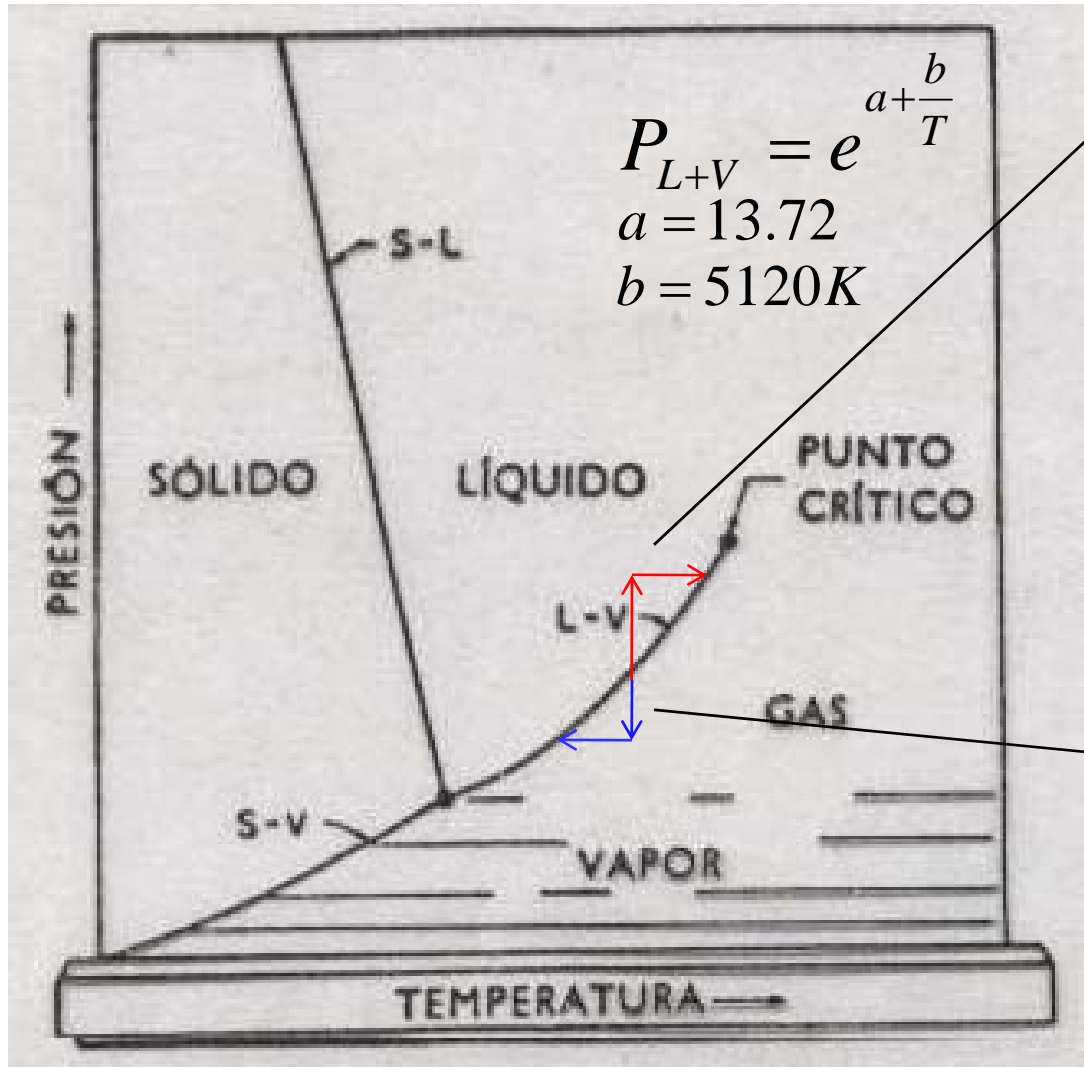
$$P_{L+V} = e^{a+\frac{b}{T}}$$

Ebulició: quan  $P_v = P_{ext}$

Diagrama PT



## Diagrama PT per l'aigua



Denis Papin (1679)  
"La digestive"



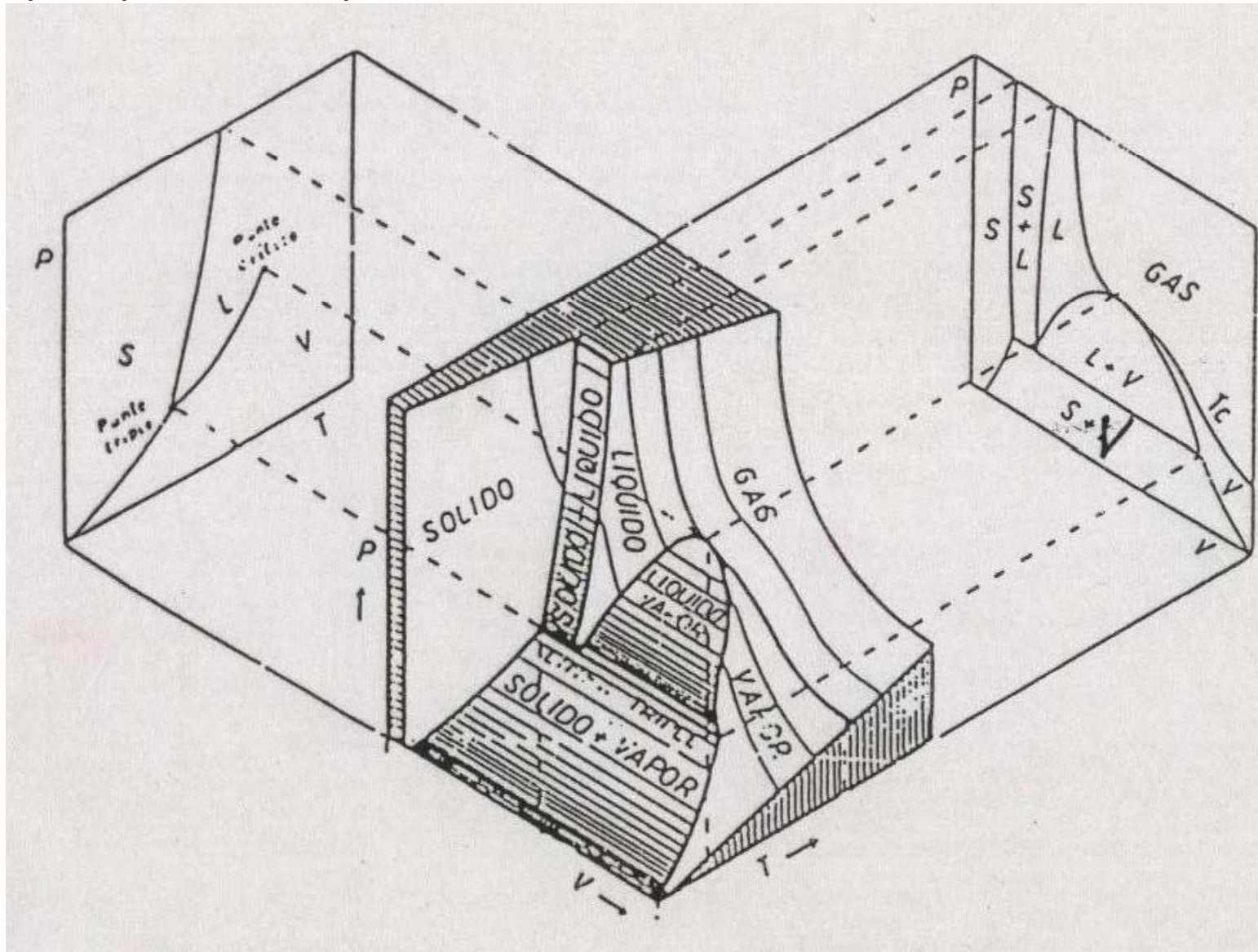
2 atm → 121°C



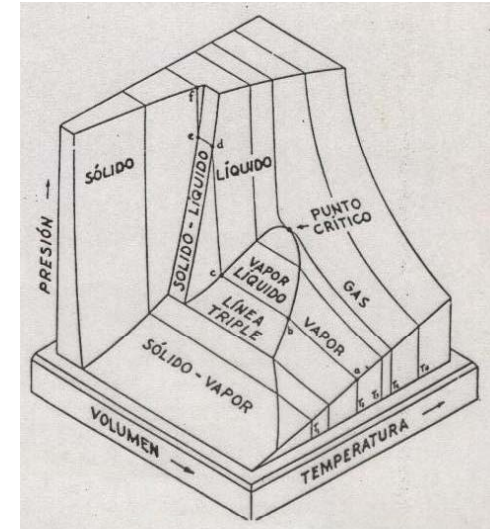
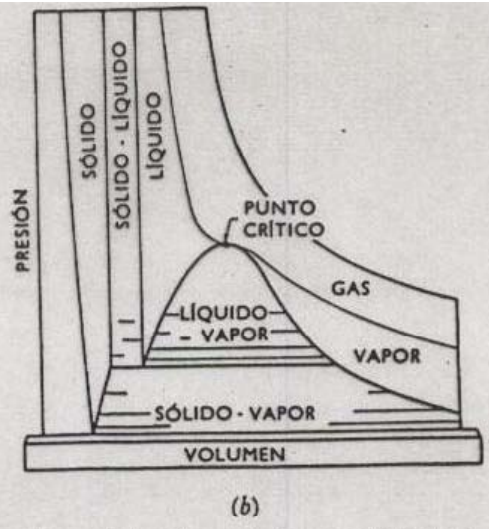
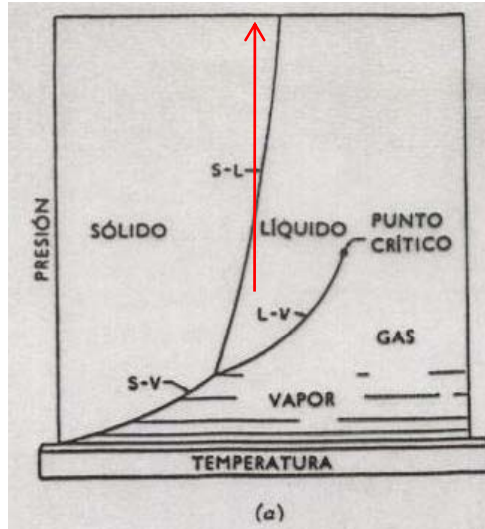
Temperatura d'ebullició  
a l'Aconcagua 6959m  
és de 75.5°C!!!!

"Las malditas patatas no eran para comer" (Charles Darwin)

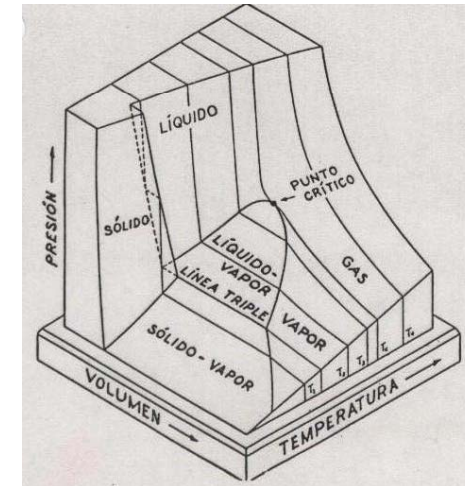
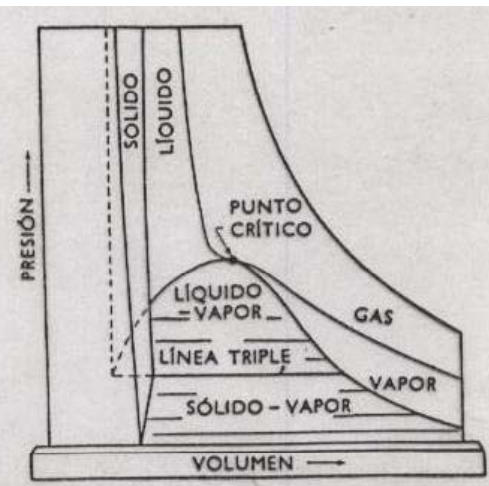
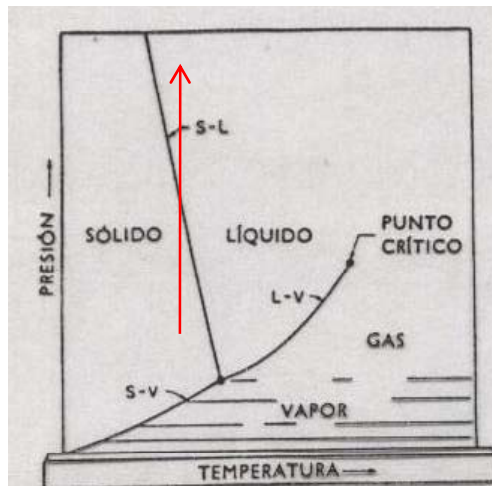
... i quina pinta te la superfície PVT?



... i l'aigua?



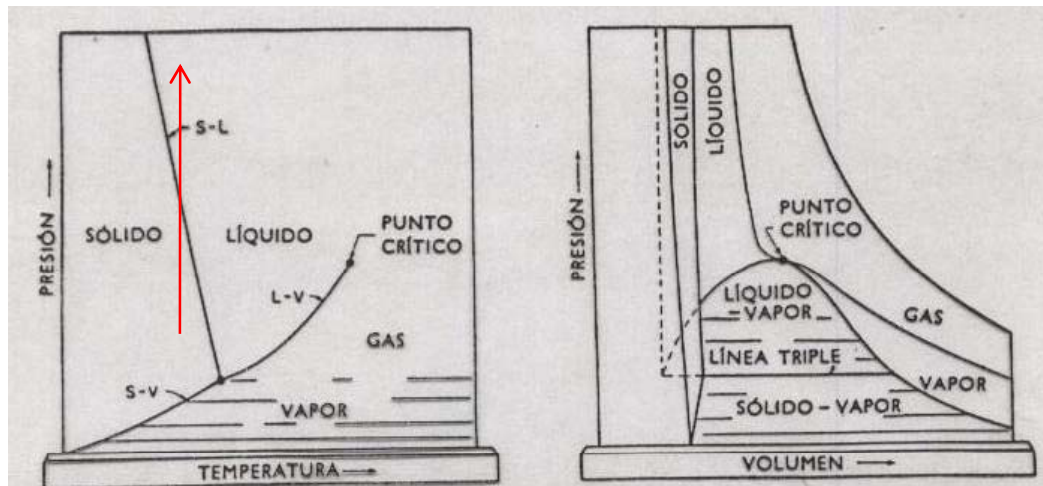
Aigua



El volum disminueix en la fusió!!

... i l'aigua?

Aigua

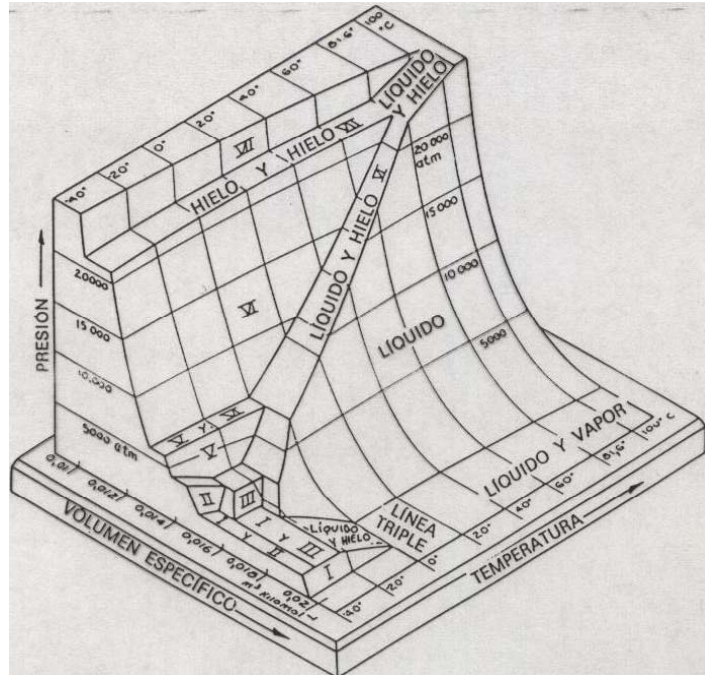


=

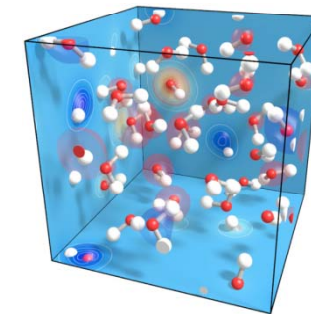
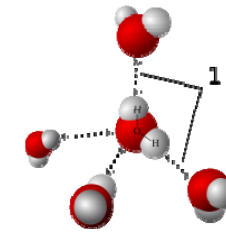
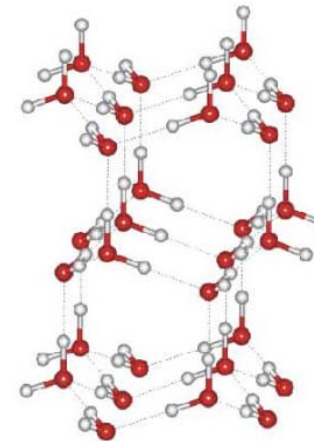


El volum disminueix en la fusió!!

Diagrama PVT de l'aigua + gels



67 anomalies de l'aigua



simcon.upc.edu



- 1.- Introducció
- 2.- Equació d'estat del gas ideal
- 3.- Superfície PVT d'un gas ideal
- 4.- Barreja de gasos perfecte no reaccionants
- 5.- Superfície PVT de substàncies reals
- 6.- Equacions d'estat de substàncies reals**
  - 7.1.- Equació de Van der Waals
  - 7.2.- Altres equacions d'estat
  - 7.3.- Equacions d'estat del Virial
- 7.- Coordenades Críiques, Equacions d'estat reduïdes i llei d'estats corresponent
- 8.- Humitat

Van der Waals



Cal tenir en compte que les molècules:

- Ocupen un cert volum
- Hi ha interacció entre elles

$$\cancel{PV = nRT}$$

Premi Nobel 1910

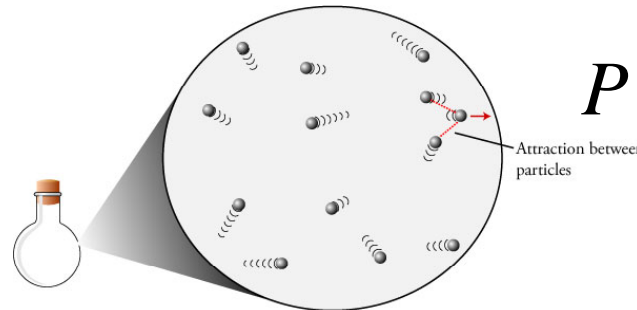
Ocupen un cert volum



$$V \rightarrow V_{g.i.} - nb$$

+

Hi ha interacció entre elles



$$P \rightarrow P_{g.i.} - a \frac{n^2}{V^2}$$

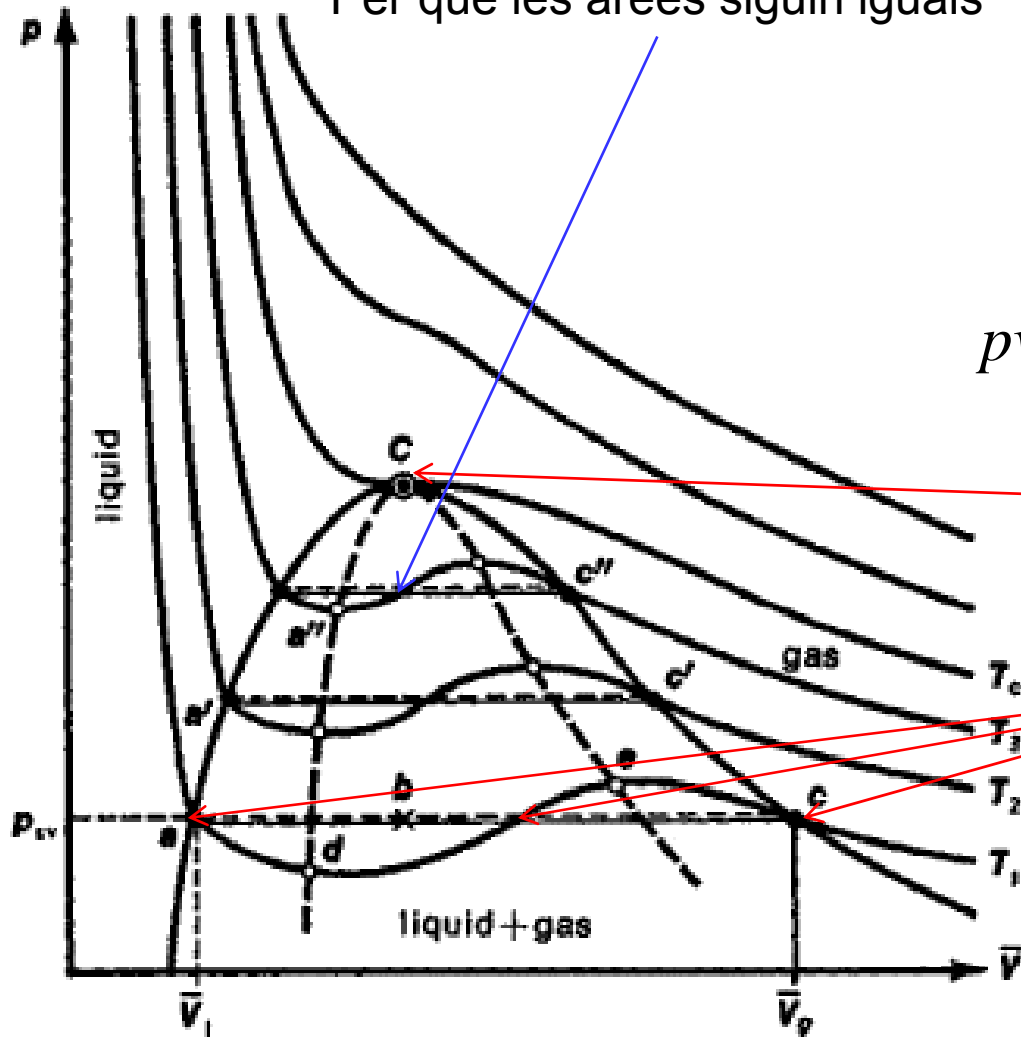
---

$$= \left( P + \frac{an^2}{V^2} \right) (V - nb) = nRT$$

## Tema 2: Equacions d'estat

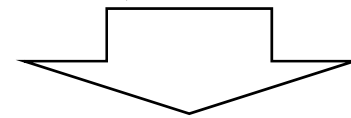
Regla de Maxwell  
fem un línia recta

Per que les àrees siguin iguals



$$\left( P + \frac{an^2}{V^2} \right) (V - nb) = nRT$$

$$\left( P + \frac{a}{v^2} \right) (v - b) = RT$$



$$pv^3 - (Pb + RT)v^2 + av - ab = 0$$

L'equació te una arrel  
per  $T > T_c$

L'equació te tres arrels  
per  $T < T_c$

- 1.- Introducció
- 2.- Equació d'estat del gas ideal
- 3.- Superfície PVT d'un gas ideal
- 4.- Barreja de gasos perfecte no reaccionants
- 5.- Superfície PVT de substàncies reals
- 6.- Equacions d'estat de substàncies reals**
  - 7.1.- Equació de Van der Waals
  - 7.2.- Altres equacions d'estat**
  - 7.3.- Equacions d'estat del Virial
- 7.- Coordenades Críiques, Equacions d'estat reduïdes i llei d'estats corresponent
- 8.- Humitat

Equació de Clausius (1822-1888)



$$P(v - b) = RT$$

Equació de Berthelot (1827-1907)



$$\left( P + \frac{a}{Tv^2} \right) (v - b) = RT$$

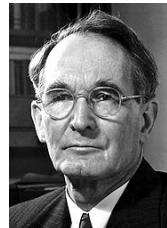
$$\left( P + \frac{an^2}{TV^2} \right) (v - nb) = nRT$$

Equació de Dieterici (??-??)

$$P(v - b) = RT e^{-\frac{a}{RTv}}$$

$$P(V - nb) = nRT e^{-\frac{na}{RTV}}$$

Equació de Beathie/Bridgman (1882-1961)



Premi Nobel (1946)

$$P = \frac{RT}{v^2} (1 - e)(v + b) - \frac{A}{v^2}$$

$$A = A_0 \left( 1 - \frac{a}{v} \right) \quad B = B_0 \left( 1 - \frac{b}{v} \right) \quad e = \frac{c}{vT^3}$$

## Equations of state for fluids: The Dieterici approach revisited

Richard J. Sadus<sup>a)</sup>

*Centre for Molecular Simulation and School of Information Technology,  
Swinburne University of Technology, P.O. Box 218, Hawthorn, Victoria 3122, Australia*

(Received 18 January 2001; accepted 1 May 2001)

In 1873, van der Waals proposed a simple equation of state that qualitatively described the phase behavior of fluids. Since then, the principles behind the van der Waals equation have been used and refined countless times in the quest for an accurate equation of state. Despite the enormous amount of work reported, the goal of a simple and accurate equation of state for even relatively simple systems, such as monatomic or polyatomic gases, has proved elusive. Therefore, the analysis of phase equilibria with equations of state is more often than not an exercise in data fitting rather than genuine prediction. In this work, we revisit the early work of Dieterici. When coupled with modern developments in equations of state, this little used approach has the potential of generating useful equations of state. To illustrate the usefulness of the Dieterici formula, we use it to derive a simple equation of state based on the Carnahan–Starling hard-sphere term and van der Waals interactions. This simple approach yields more accurate predictions of the phase co-existence of fluids than the traditional additive approach used to develop equations of state. © 2001 American Institute of Physics. [DOI: 10.1063/1.1380711]

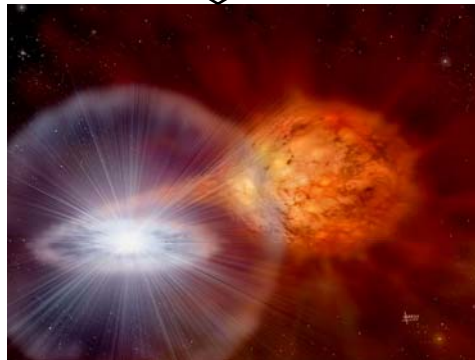
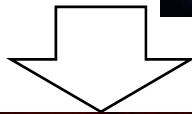
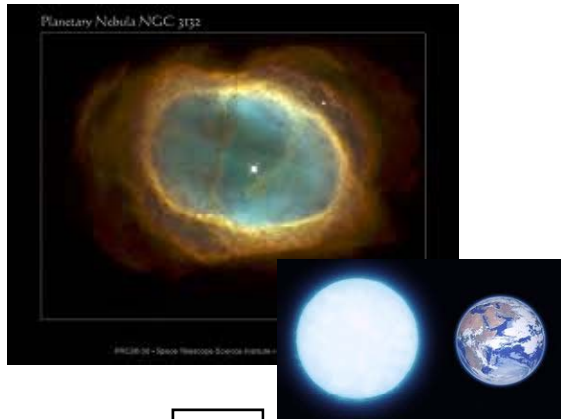
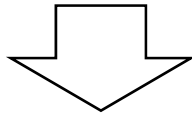
Tranquils si teniu problemes amb les equacions d'estat...  
No sou els únics!

Gas ideal: Gegant vermella

$$Pv = RT$$

Contrarresta la gravetat

Fusió hidrogen

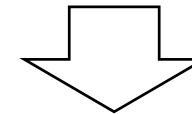


L'estel s'aguanta per la pressió del gas d'electrons degenerats

Nana blanca

$$Pv^{5/3} = K$$

Es refreda: edat de la galaxia



Si el sistema es doble

- La companya transfereix matèria
- Comencen reaccions nuclears augmenta la temperatura
- Però no s'expandeix per l'equació d'estat: allau termonuclear

**Explosió = NOVA**

- 1.- Introducció
- 2.- Equació d'estat del gas ideal
- 3.- Superfície PVT d'un gas ideal
- 4.- Barreja de gasos perfecte no reaccionants
- 5.- Superfície PVT de substàncies reals
- 6.- Equacions d'estat de substàncies reals**
  - 7.1.- Equació de Van der Waals
  - 7.2.- Altres equacions d'estat
  - 7.3.- Equacions d'estat del Virial**
- 7.- Coordenades Críiques, Equacions d'estat reduïdes i llei d'estats corresponent
- 8.- Humitat



Kammerling-Onnes  
(1853-1929)



Premi Nobel 1913  
(superconductivitat)

$$Pv = RT + \text{correccions}$$

$$Pv = RT \left( 1 + \frac{B(T)}{v} + \frac{C(T)}{v^2} + \dots \right)$$

- Coeficients del virial poden ser deduïts de la física estadística
- Son funció de la temperatura
- B(T): interacció a dos cossos, C(T) interacció a tres cossos,...

En funció de la pressió  $Pv = RT (1 + B'P + C'P^2 + \dots)$

## Càlcul del primer coeficient del virial B(t)

Dues opcions:

- Escriure l'equació d'estat en forma del virial  $\Rightarrow P_v = RT \left( 1 + \frac{B(T)}{v} + \frac{C(T)}{v^2} + \dots \right)$
- Utilitzar la següent relació

$$\frac{\partial P_v}{\partial \left( \frac{1}{v} \right)} = RT \left( B(T) + 2 \cdot C(T) \frac{1}{v} + \dots \right)$$

Si ara faig el limit  
quan  $1/v \rightarrow 0$

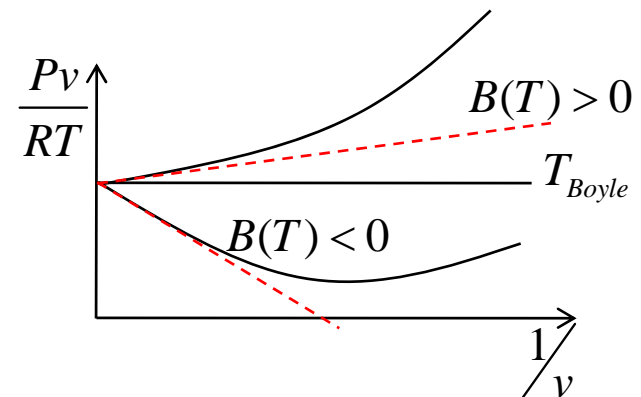
$$\lim_{1/v \rightarrow 0} \frac{\partial P_v}{\partial \left( \frac{1}{v} \right)} = RT \left( B(T) + 2 \cdot C(T) \frac{1}{v} + \dots \right)$$

Només "sobreviu" el primer coeficient del virial

Per tant:

$$\lim_{1/v \rightarrow 0} \frac{1}{RT} \left[ \frac{\partial (P_v)}{\partial \left( \frac{1}{v} \right)} \right]_T = B(T)$$

Gràficament:



**Temperatura de Boyle:** temperatura per la qual el coeficient B(T) es nul -->G.I.

$$B(T_{Boyle}) = 0$$

## Temperatura de Boyle: exemple

Equació de Dieterici:

$$P = \frac{1}{v-b} RT e^{-\frac{a}{RTv}}$$

$$\frac{1}{v-b} = \frac{1}{v} \cdot \frac{1}{1-b/v} \approx \frac{1}{v} \left[ 1 + \frac{b}{v} + \frac{b^2}{v^2} + \dots \right]$$

$$e^{-1/v} \approx 1 - \frac{1}{v} + \frac{1}{v^2} - \frac{1}{2v^3} + \frac{1}{6v^4} - \dots$$

$$P = RT \frac{1}{v} \left[ 1 + \frac{b}{v} + \frac{b^2}{v^2} + \dots \right] \left[ 1 - \frac{a}{RTv} + \frac{a^2}{2R^2T^2v^2} - \dots \right]$$

$$Pv = RT \left[ 1 + \left( b - \frac{a}{RT} \right) \frac{1}{v} + [\dots] \frac{1}{v^2} + \dots \right]$$

$$T_{Boyle} = \frac{a}{bR}$$

$$P = \frac{1}{v-b} RT e^{-\frac{a}{RTv}}$$

$$Pv = \frac{1}{1-b/v} RT e^{-\frac{a}{RT} \cdot \frac{1}{v}} \stackrel{\frac{1}{v}=x}{=} \frac{1}{1-bx} RT e^{-\frac{a}{RT} \cdot x}$$

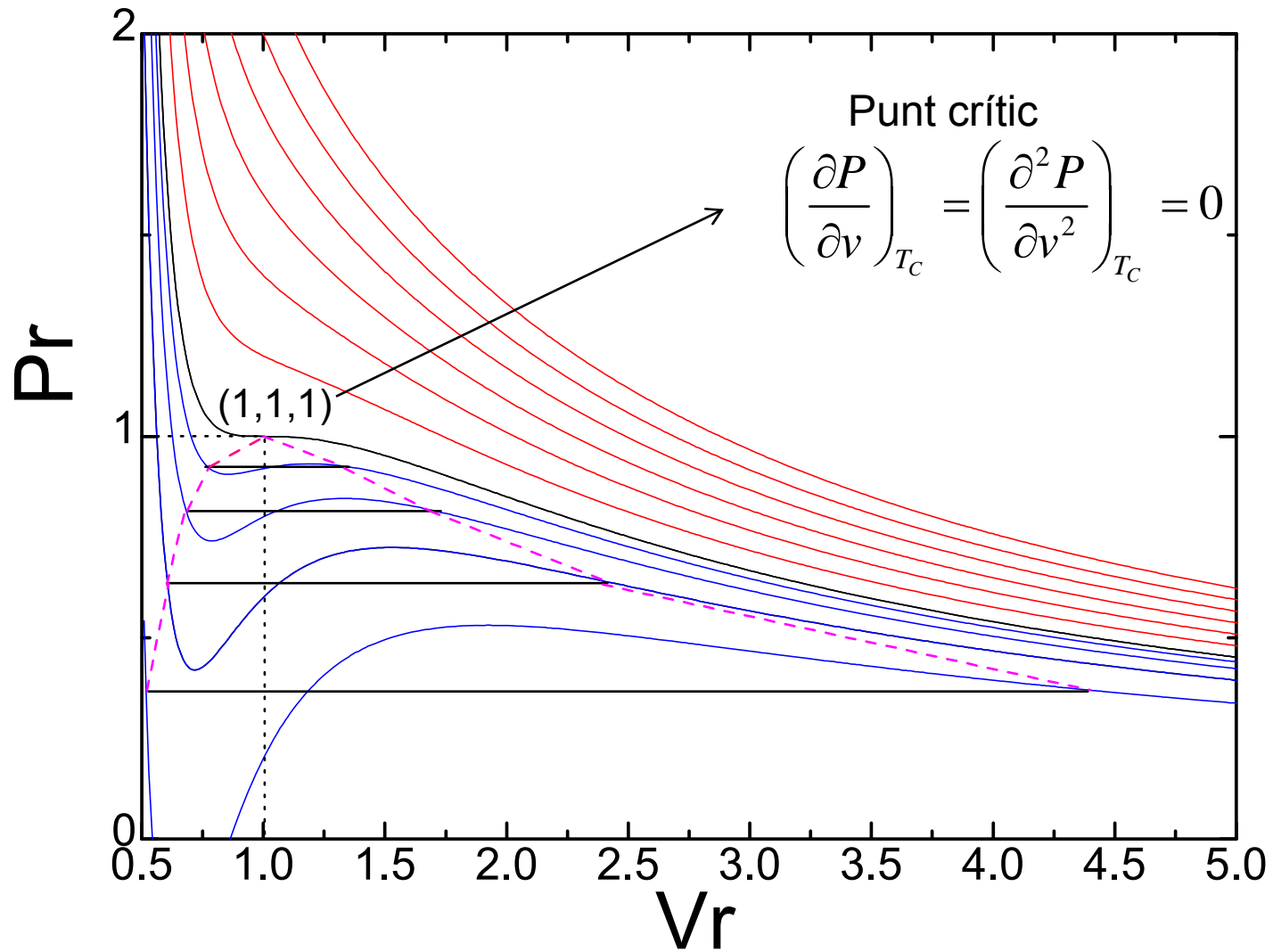
$$\frac{\partial(Pv)}{\partial x} = RT \left[ \frac{b}{(1-bx)^2} e^{-\frac{a}{RT} \cdot x} - \frac{e^{-\frac{a}{RT} \cdot x}}{1-bx} \frac{a}{RT} \right]$$

$$T_{Boyle} = \frac{a}{bR}$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\partial(Pv)}{\partial x} = \lim_{1/v \rightarrow 0} \frac{RT e^{-\frac{a}{RT} \cdot x}}{(1-bx)} \left[ \frac{b}{(1-bx)} - \frac{a}{RT} \right] = RT \frac{1}{1} \left[ \frac{b}{1} - \frac{a}{RT} \right] = RT \left[ b - \frac{a}{RT} \right]$$

- 1.- Introducció
- 2.- Equació d'estat del gas ideal
- 3.- Superfície PVT d'un gas ideal
- 4.- Barreja de gasos perfecte no reaccionants
- 5.- Superfície PVT de substàncies reals
- 6.- Equacions d'estat de substàncies reals
  - 7.1.- Equació de Van der Waals
  - 7.2.- Altres equacions d'estat
  - 7.3.- Equacions d'estat del Virial
- 7.- Coordenades Críiques, Equacions d'estat reduïdes i llei d'estats corresponent**
- 8.- Humitat

Per l'equació de Van der Waals



## Coordenades crítiques

Punt crític

$$\left(\frac{\partial P}{\partial v}\right)_{T_c} = \left(\frac{\partial^2 P}{\partial v^2}\right)_{T_c} = 0$$

Aïllem P

$$P = \frac{RT}{v-b} - \frac{a}{v^2}$$

$$[1] \left(\frac{\partial P}{\partial v}\right)_{T_c} = -\frac{RT_c}{(v_c-b)^2} + \frac{2a}{v_c^3} = 0$$

$$[2] \left(\frac{\partial^2 P}{\partial v^2}\right)_{T_c} = \frac{2RT_c}{(v_c-b)^3} - \frac{6a}{v_c^4} = 0$$

$$\frac{[1]}{[2]} = \frac{\frac{RT_c}{(v_c-b)^2} = \frac{2a}{v_c^3}}{\frac{2RT_c}{(v_c-b)^3} = \frac{6a}{v_c^4}} \Rightarrow$$

$$v_c = 3b$$

$$[1] \frac{RT_c}{(v_c-b)^2} = \frac{2a}{v_c^3} \Rightarrow T_c = \frac{8a}{27bR}$$

$$T_c = \frac{8a}{27bR}$$

$$v_c = 3b$$

Eq. De VdW

$$P_c = \frac{RT_c}{v_c-b} - \frac{a}{v_c^2}$$

$$P_c = \frac{a}{27b^2}$$

per cert...  $\frac{P_c v_c}{RT_c} = 3/8$

**Coordenades d'estat reduïdes:**  $v_r = \frac{v}{v_C}$        $T_r = \frac{T}{T_C}$        $P_r = \frac{P}{P_C}$

**Equació d'estat reduïda:**

tots els gasos descrits per la mateixa equació d'estat, tenen idèntica equació d'estat en coordenades reduïdes  $f(P, v, T) \rightarrow \phi(P_r, v_r, T_r)$

Dos gasos es troben en **estats corresponents** quan tenen les mateixes coordenades reduïdes

Exemple

gas	T	Tr
N <sub>2</sub>	19°C	2.3
CO <sub>2</sub>	427°C	2.3
CS <sub>2</sub>	1032°C	2.3

Experimentalment:

l'estudi del N<sub>2</sub> a 19°C ens permet estudiar el CS<sub>2</sub> en condicions "difícils"

**Exemple: Equació de Van der Waals**

**Objectiu:** expressar a,b,R en funció de  $T_c$ ,  $V_c$  i  $P_c$

$$v_c = 3b \rightarrow b = \frac{v_c}{3}$$

Ja tenim  $b = \frac{v_c}{3}$

$$P_c = \frac{a}{27b^2} \rightarrow a = 27b^2 P_c = 3v_c^2 P_c$$

Ja tenim  $a = 3v_c^2 P_c$

$$T_c = \frac{8a}{27bR} \rightarrow R = \frac{8a}{27bT_c} = \frac{8 v_c P_c}{3 T_c}$$

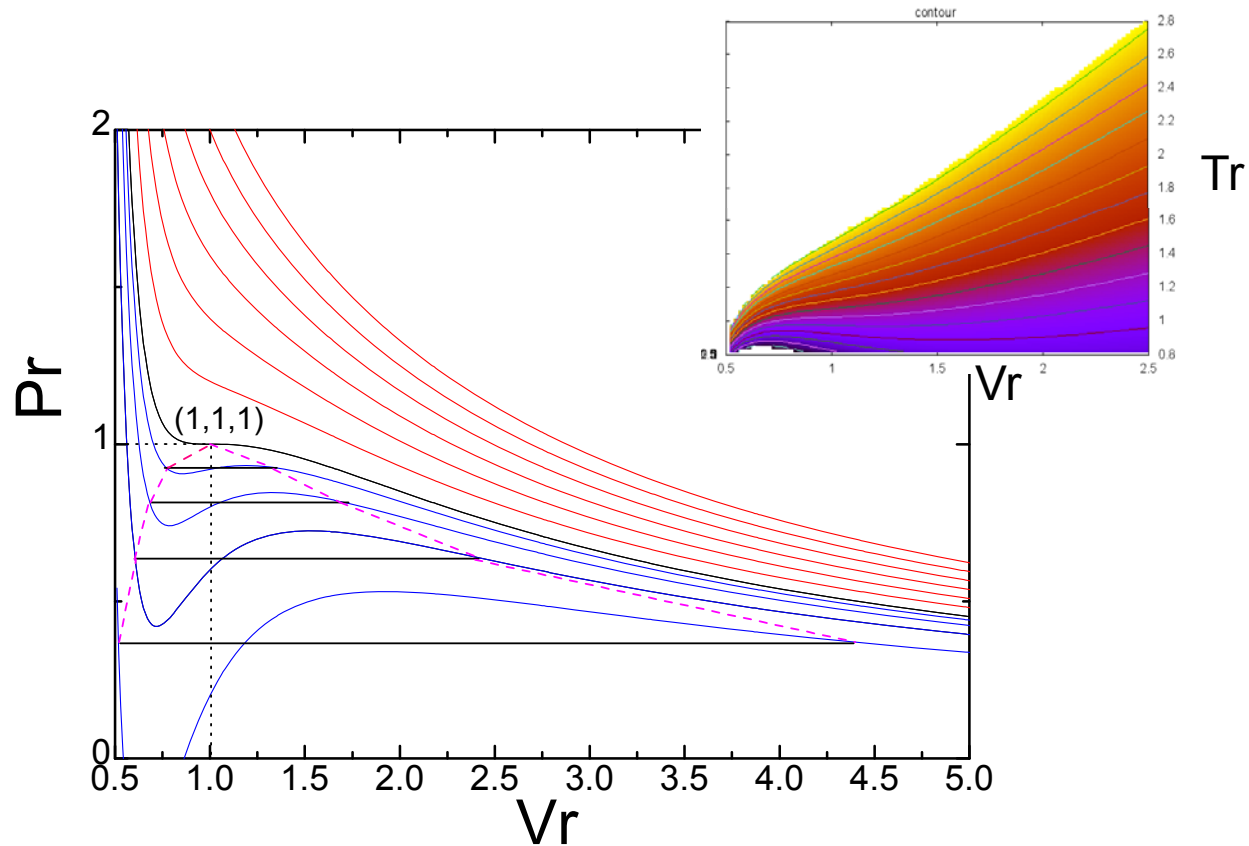
Ja tenim  $R = \frac{8 v_c P_c}{3 T_c}$

$$\left( P + \frac{a}{v^2} \right) (v - b) = RT \quad \left( P + \frac{3v_c^2 P_c}{v^2} \right) \left( v - \frac{v_c}{3} \right) = \frac{8 v_c P_c}{3 T_c} T \quad \left( P_r + \frac{3}{v_r^2} \right) \left( v_r - \frac{1}{3} \right) = \frac{8}{3} T_r$$

**Les constants han desaparegut!!**

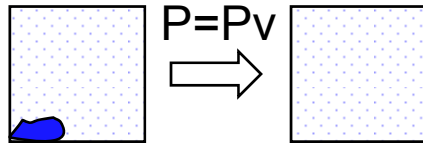


$$\left( P_r + \frac{3}{v_r^2} \right) \left( v_r - \frac{1}{3} \right) = \frac{8}{3} T_r$$



- 1.- Introducció
- 2.- Equació d'estat del gas ideal
- 3.- Superfície PVT d'un gas ideal
- 4.- Barreja de gasos perfecte no reaccionants
- 5.- Superfície PVT de substàncies reals
- 6.- Equacions d'estat de substàncies reals
  - 7.1.- Equació de Van der Waals
  - 7.2.- Altres equacions d'estat
  - 7.3.- Equacions d'estat del Virial
- 7.- Coordenades Críiques, Equacions d'estat reduïdes i llei d'estats corresponent
- 8.- Humitat:**
  - 8.1.- Humitat absoluta: isòcores, isoterms, isòbares
  - 8.2.- Humitat relativa: isòcores, isoterms, isòbares

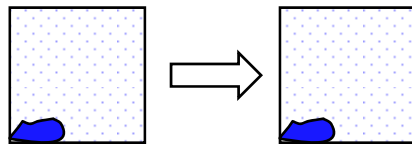
Evaporació: En afegir aigua aquesta s'evapora



Arriba un moment en que l'aigua no s'evapora

$$P=P_s$$

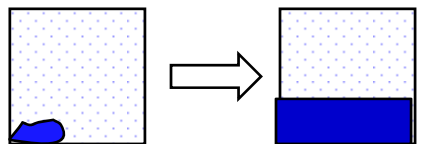
El vapor està saturat (no admet més vapor)



Si afegim encara més aigua no s'evapora

$$P=P_s$$

Però canvia la proporció aigua/vapor

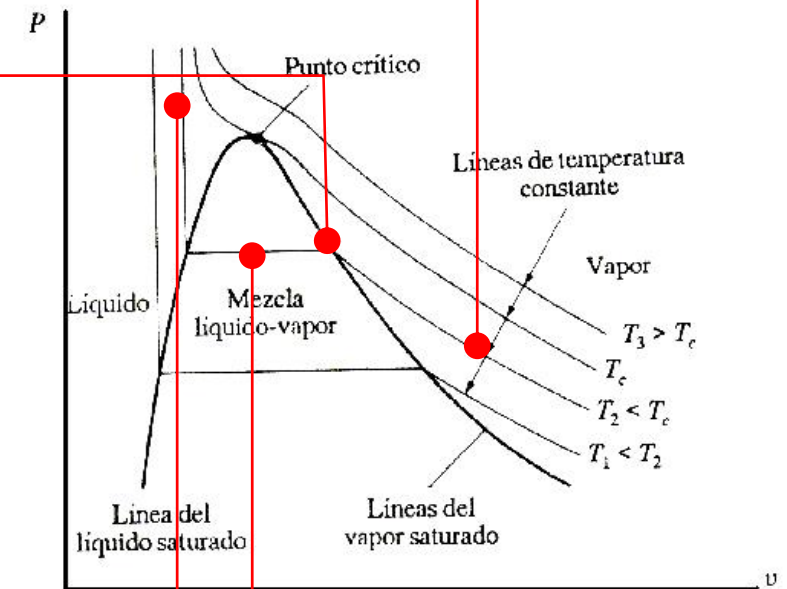


**No es compleix Boyle!!!  $PV \neq ct$**

Finalment només tenim líquid



**A temperatura constant**  
afegim aigua al vapor



Ebullició  
Quan  $P_v = P_{ext}$

Definim:

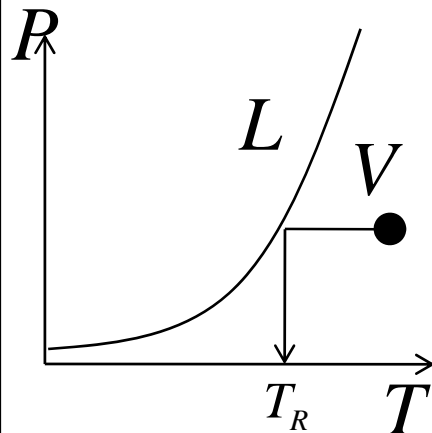
Humitat absoluta: Massa de vapor d'aigua continguda en un cert volum

$$H_a = \frac{m_v}{V} \frac{g}{cm^3} \quad P_v V = \frac{m_v}{M} RT \rightarrow \frac{m_v}{V} = \frac{P_v M}{RT}$$

Humitat relativa: Massa de vapor d'aigua respecte la massa màxima que pot contenir (es a dir la de saturació)

$$H_r = \frac{m_v}{m_s} = \frac{P_v}{P_s}$$

Punt de rosada: Temperatura a la qual el vapor d'aigua estaria saturat



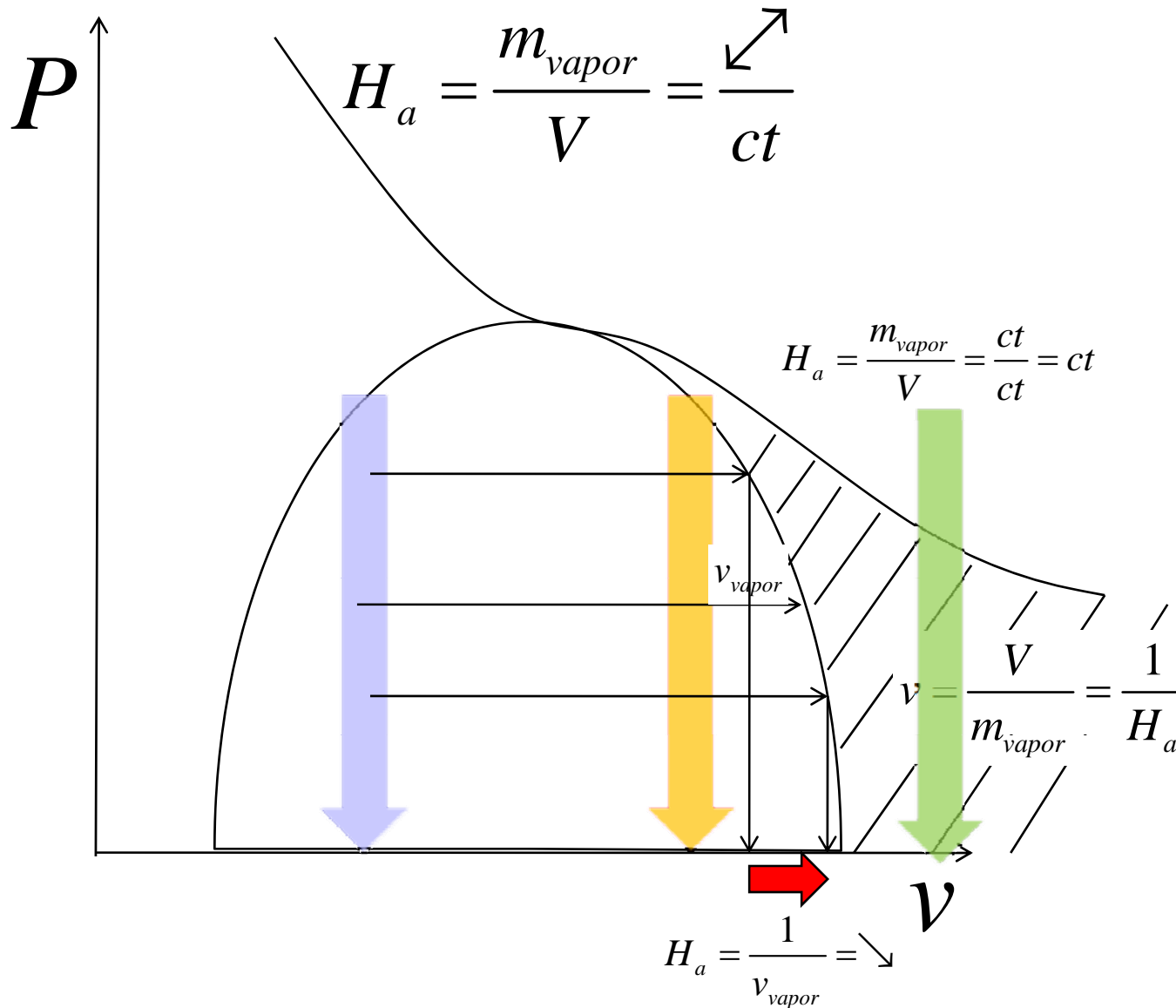
(és una forma de donar o demanar  $P_s/P_v$  als problemes!)

$$P_v = P_s(T_R)$$

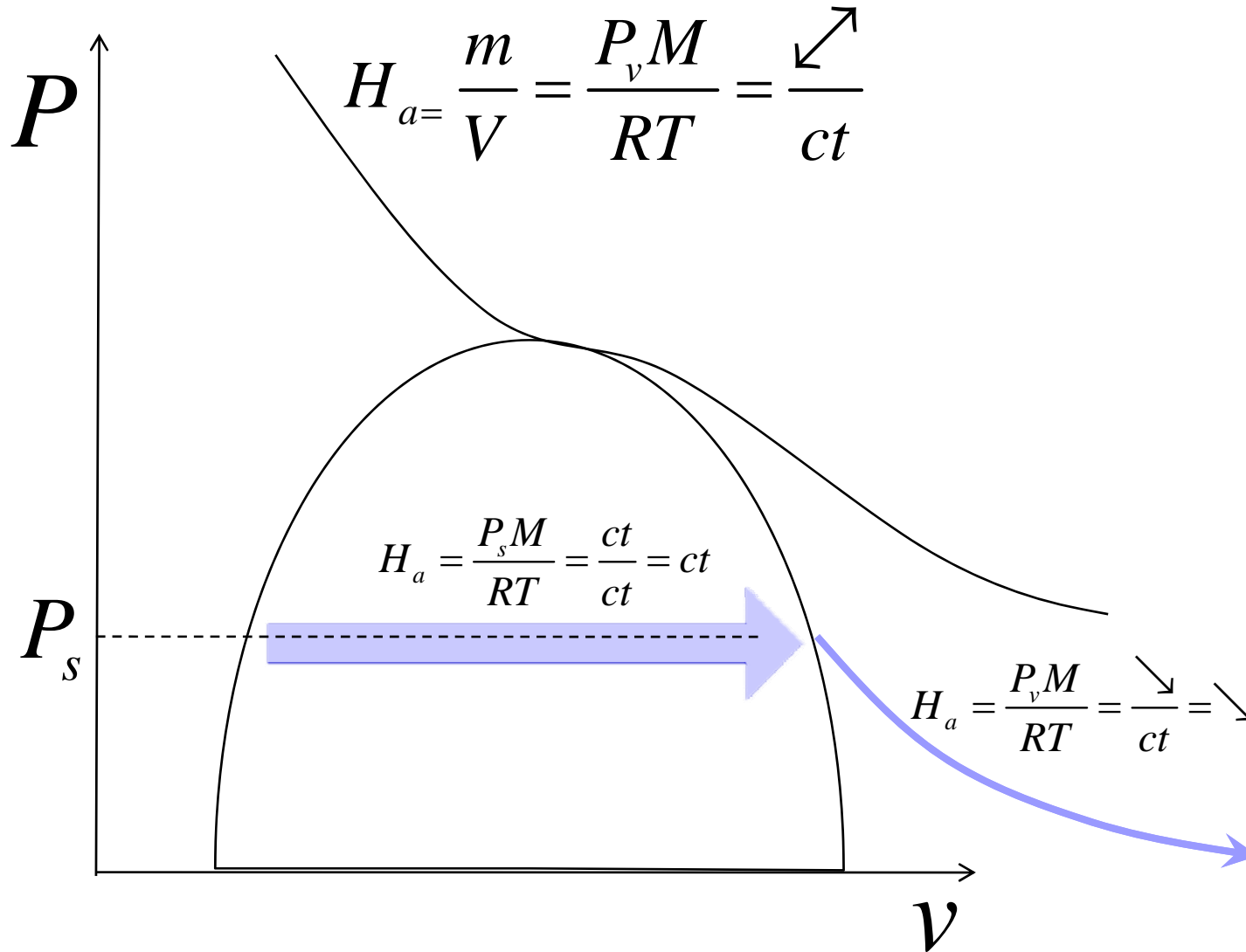
$$1atm = 760Torr = 760mmHg$$

- 1.- Introducció
- 2.- Equació d'estat del gas ideal
- 3.- Superfície PVT d'un gas ideal
- 4.- Barreja de gasos perfecte no reaccionants
- 5.- Superfície PVT de substàncies reals
- 6.- Equacions d'estat de substàncies reals
  - 7.1.- Equació de Van der Waals
  - 7.2.- Altres equacions d'estat
  - 7.3.- Equacions d'estat del Virial
- 7.- Coordenades Crítiques, Equacions d'estat reduïdes i llei d'estats corresponent
- 8.- Humitat:**
  - 8.1.- Humitat absoluta: isòcores, isoterms, isòbares
  - 8.2.- Humitat relativa: isòcores, isoterms, isòbares
  - 8.3.- Projeccions Pv i PT: Temperatura de rosada

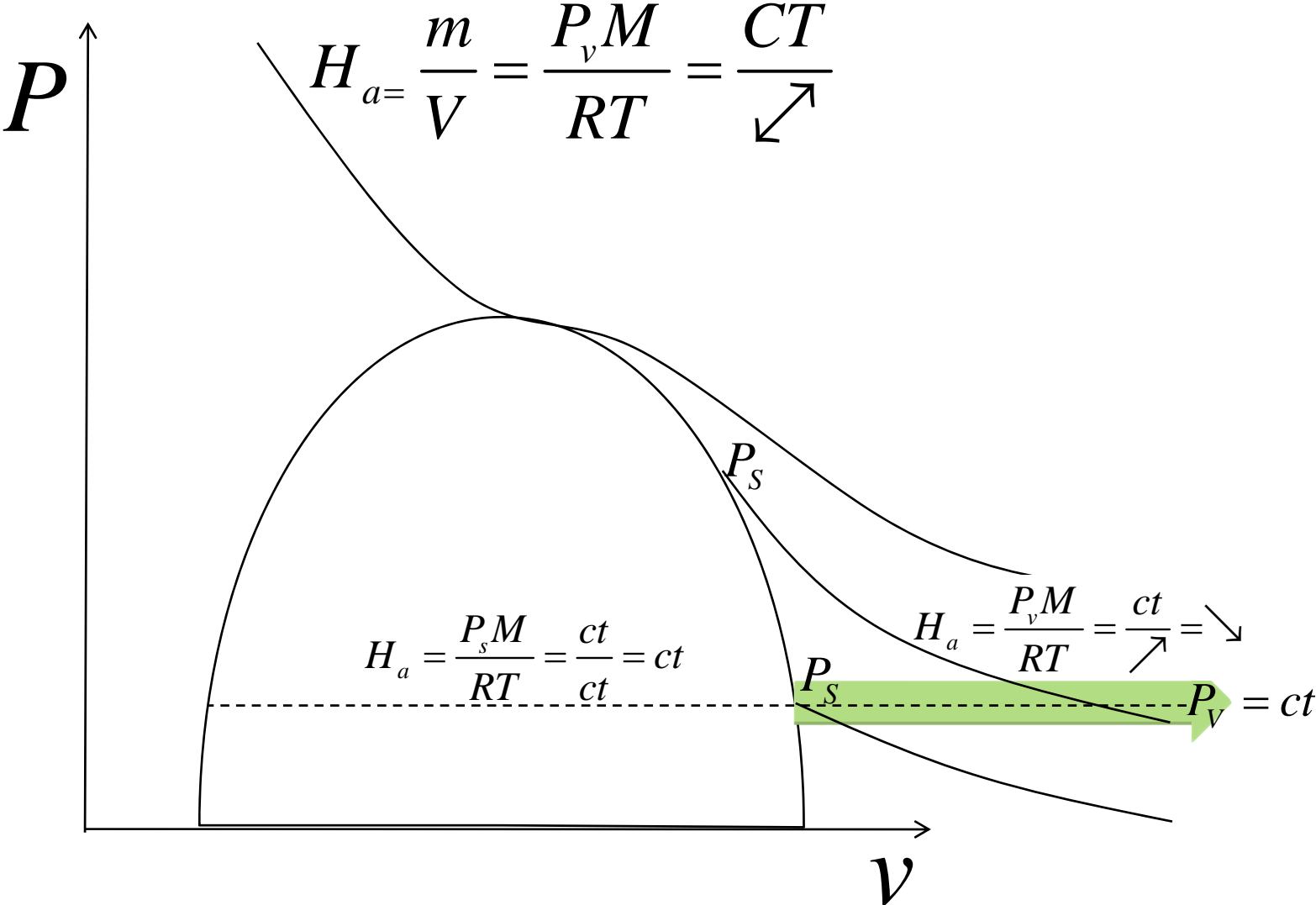
## Humitat absoluta en isòcores



## Humitat absoluta en isoterme

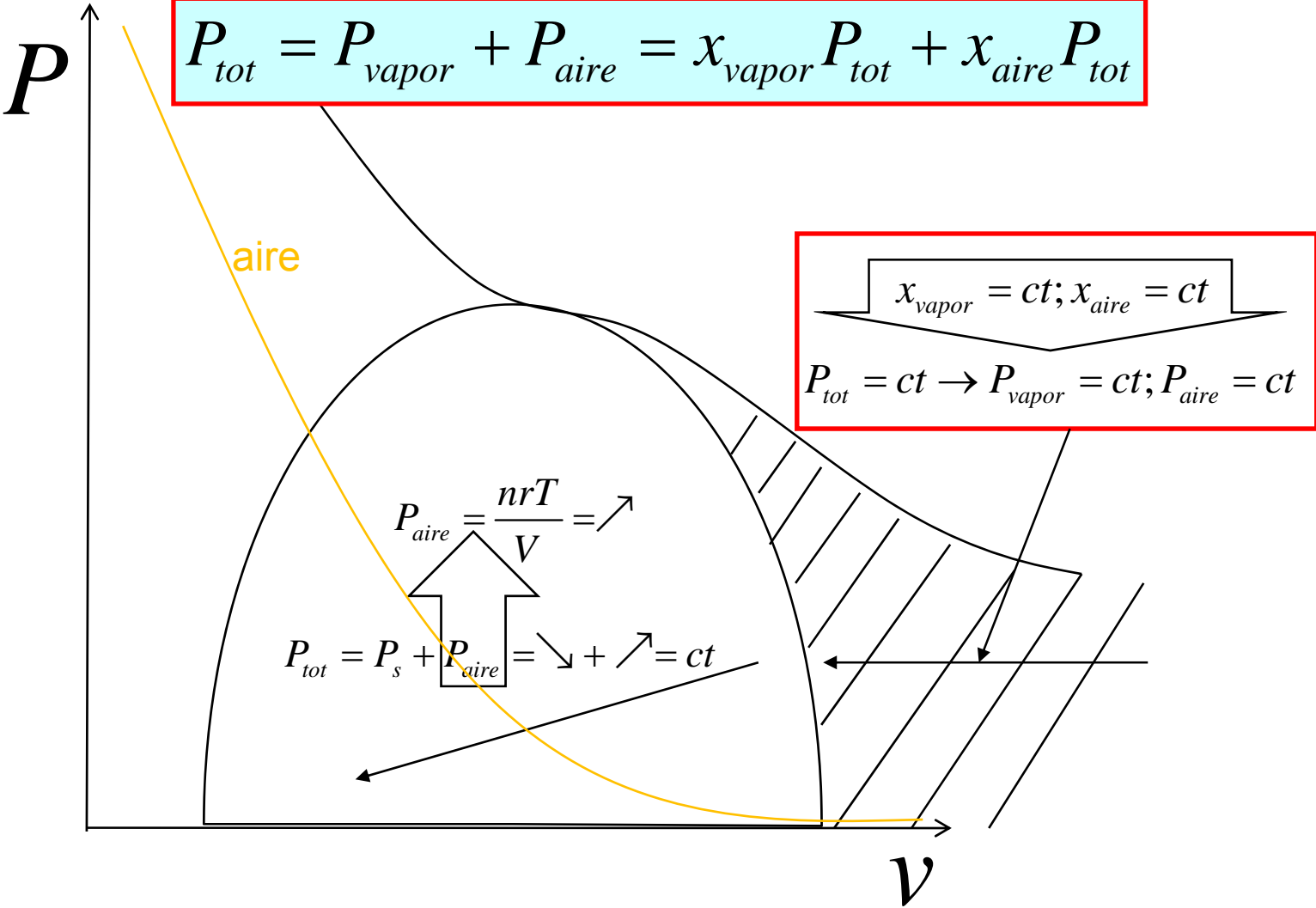


# Humitat absoluta a $P_v=ct$





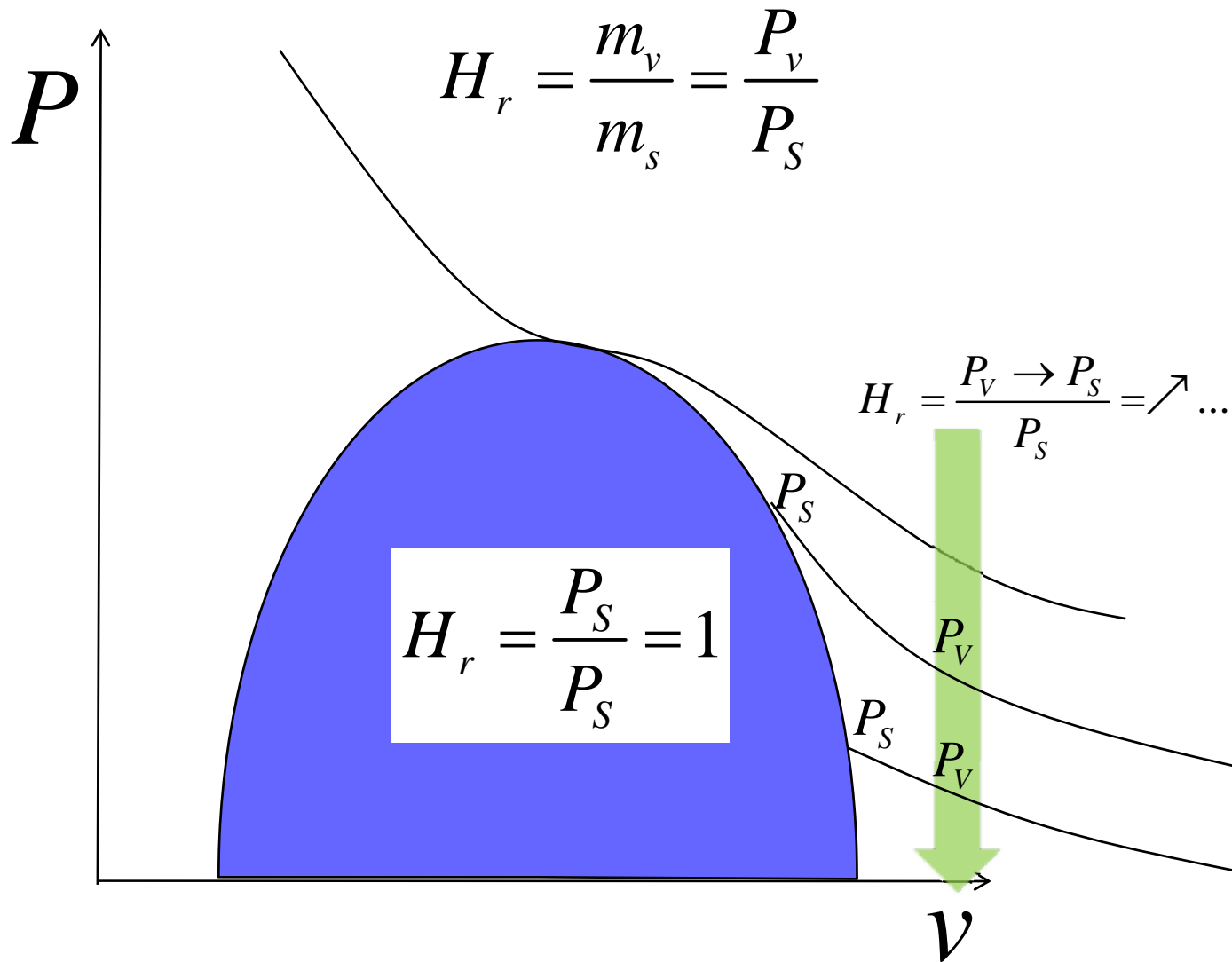
# Humitat absoluta a $P_{tot}=ct$ (Isòbara)



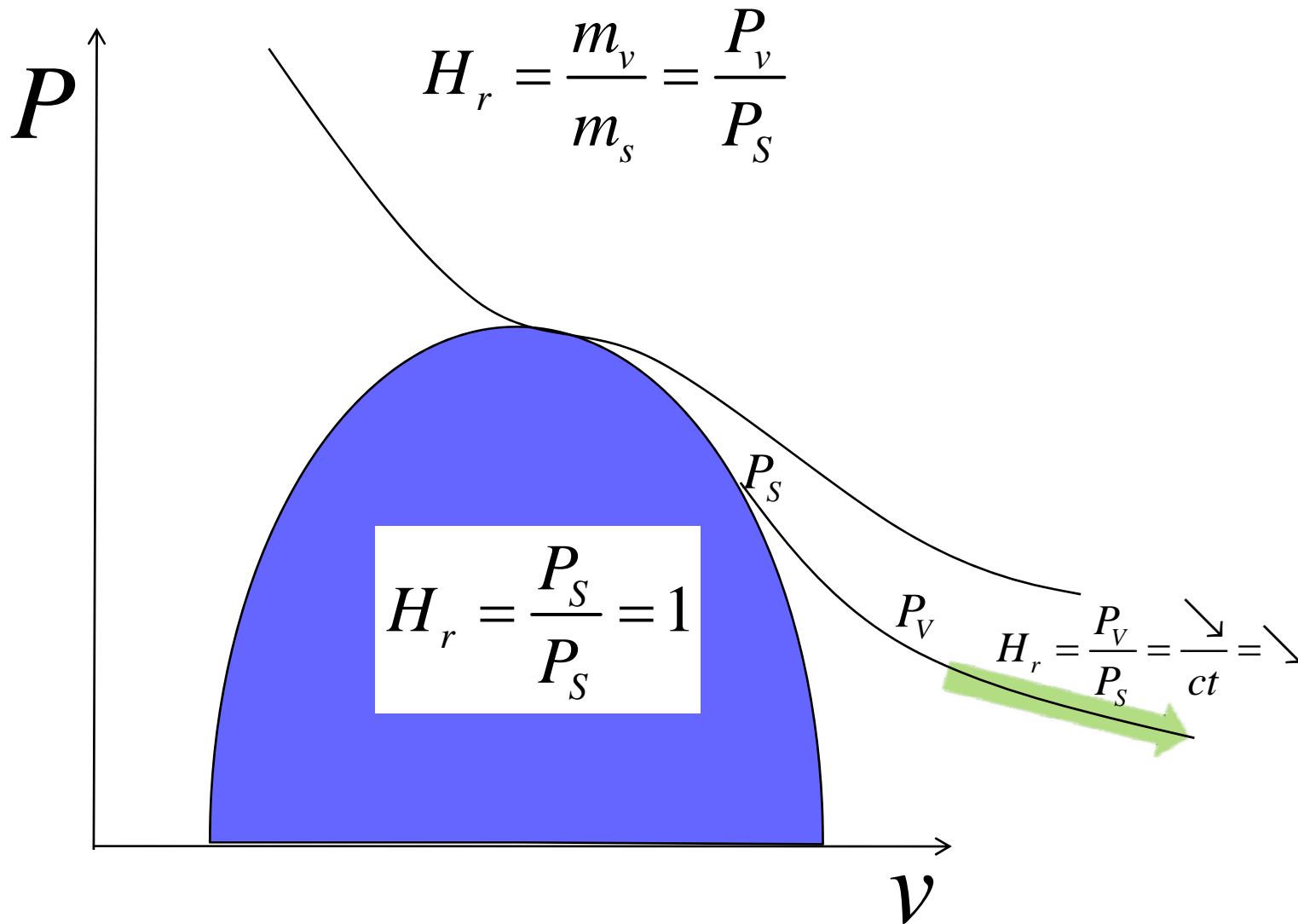
\*Pel gas només fora de la regio de coexistència L+V!!!

- 1.- Introducció
- 2.- Equació d'estat del gas ideal
- 3.- Superfície PVT d'un gas ideal
- 4.- Barreja de gasos perfecte no reaccionants
- 5.- Superfície PVT de substàncies reals
- 6.- Equacions d'estat de substàncies reals
  - 7.1.- Equació de Van der Waals
  - 7.2.- Altres equacions d'estat
  - 7.3.- Equacions d'estat del Virial
- 7.- Coordenades Críiques, Equacions d'estat reduïdes i llei d'estats corresponent
- 8.- Humitat:**
  - 8.1.- Humitat absoluta: isòcores, isoterms, isòbares
  - 8.2.- Humitat relativa: isòcores, isoterms, isòbares**
  - 8.3.- Projeccions Pv i PT: Temperatura de rosada

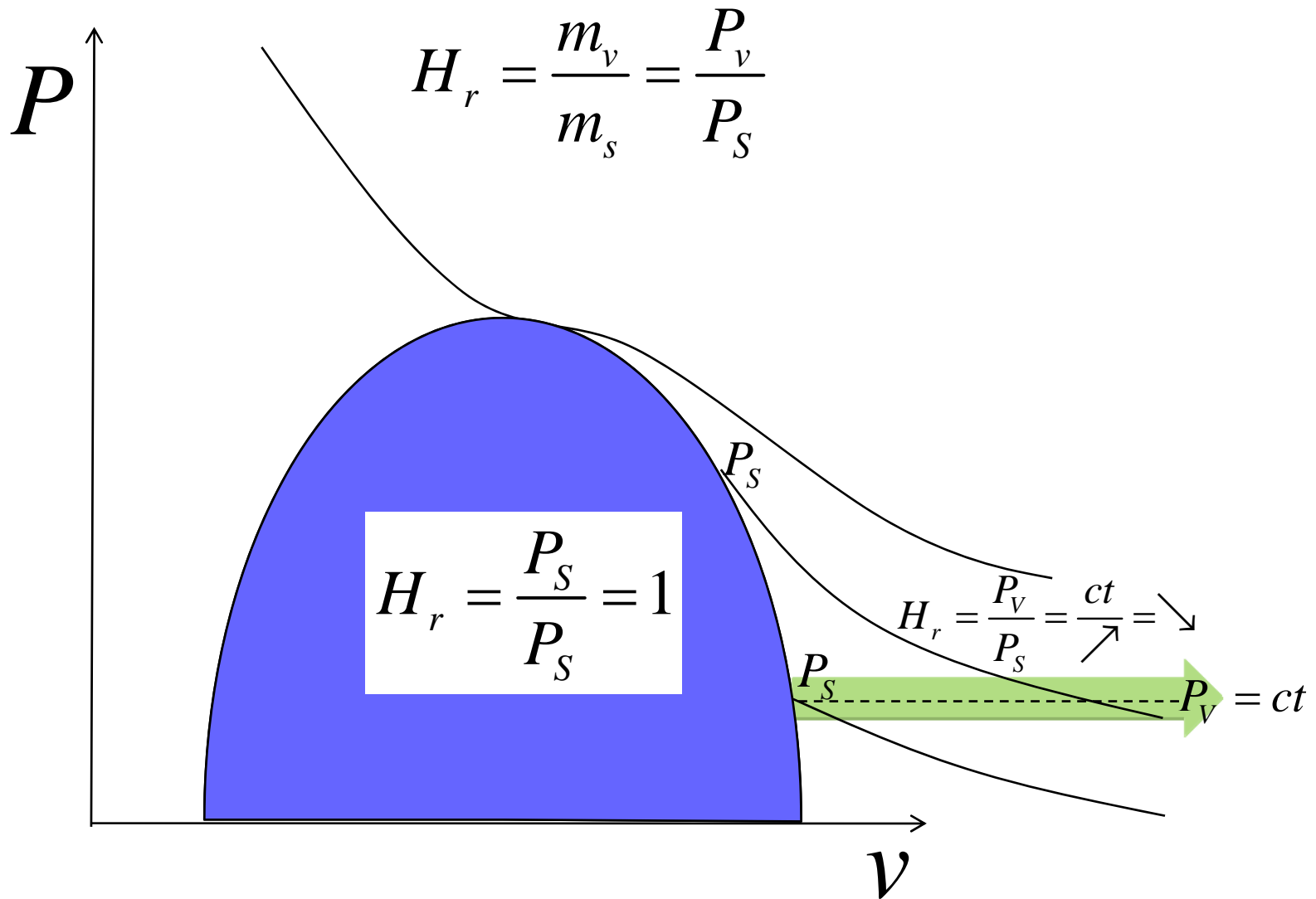
## Humitat relativa en isòcores



## Humitat relativa en isòtermes

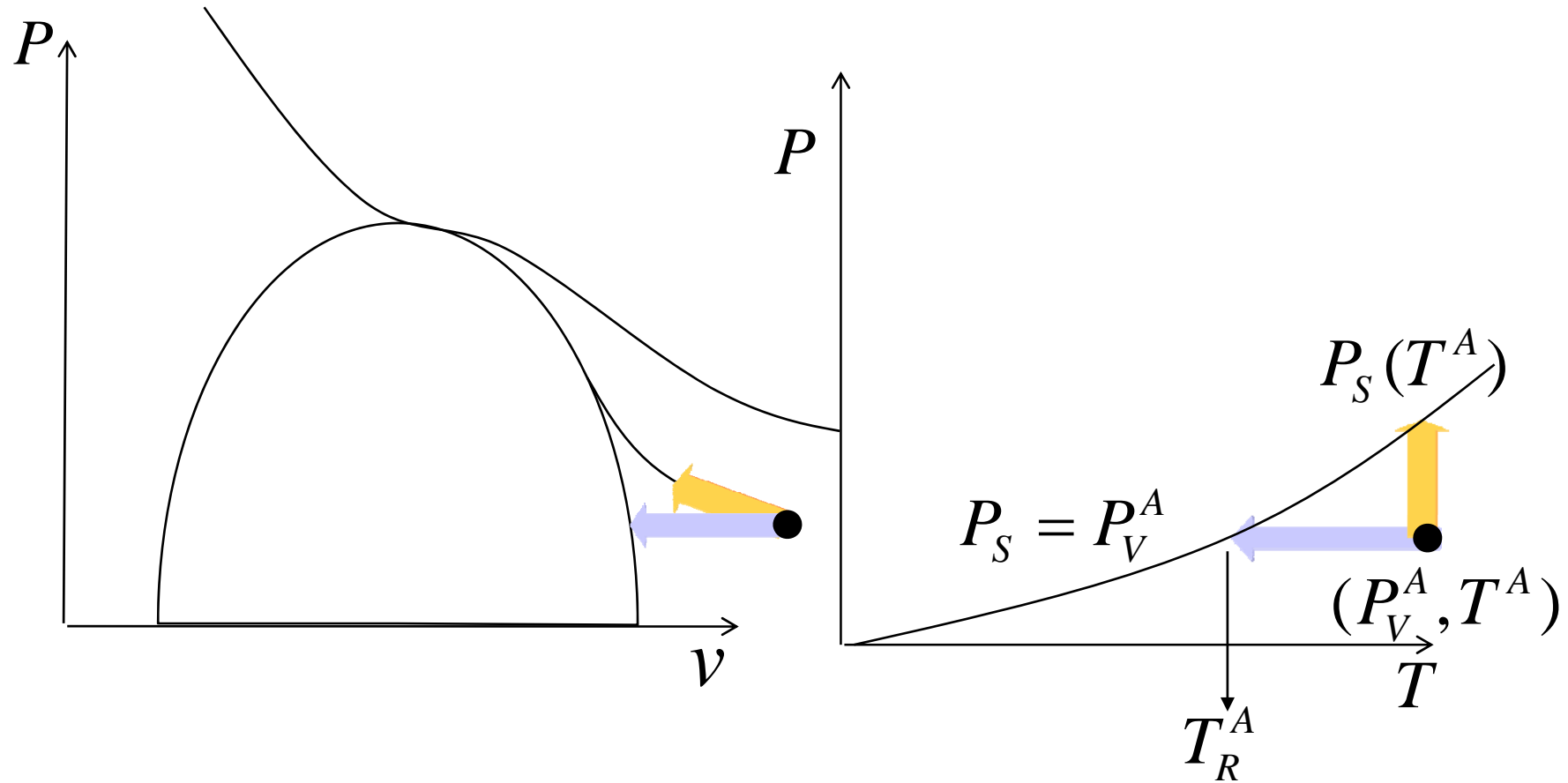


## Humitat relativa a $Pv=ct$

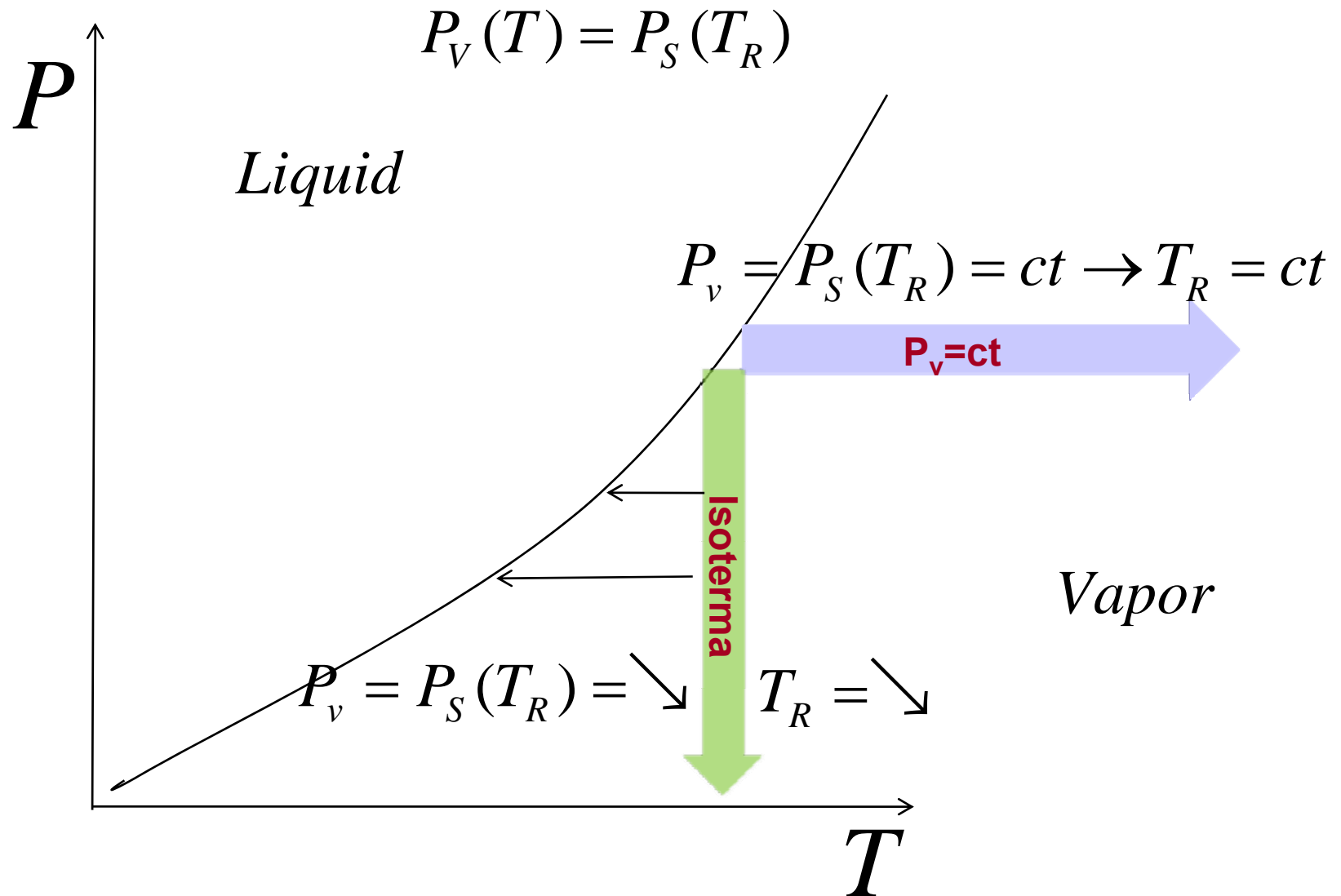


- 1.- Introducció
- 2.- Equació d'estat del gas ideal
- 3.- Superfície PVT d'un gas ideal
- 4.- Barreja de gasos perfecte no reaccionants
- 5.- Superfície PVT de substàncies reals
- 6.- Equacions d'estat de substàncies reals
  - 7.1.- Equació de Van der Waals
  - 7.2.- Altres equacions d'estat
  - 7.3.- Equacions d'estat del Virial
- 7.- Coordenades Críiques, Equacions d'estat reduïdes i llei d'estats corresponent
- 8.- Humitat:**
  - 8.1.- Humitat absoluta: isòcores, isoterms, isòbares
  - 8.2.- Humitat relativa: isòcores, isoterms, isòbares
  - 8.3.- Projeccions Pv i PT: Temperatura de rosada**

Projecció dels processos isoterm e isòbar  
als plans Pv i PT



## Temperatura de rosada





# Isòcores al diagrama PT (per v grams)

