- Första övningstillfället: Idag Alex
  Endast ett av övningstillfällena!
  Konceptfrågor (hemsidan) diskuteras (”kommer på tenta”)

- Repetition på förra veckans föreläsningar vid måndagsföreläsningen

- ”Vad du skall kunna efter xxx veckan”
  (mycket kortfattat) på hemsidan

- Slides från varje föreläsning på hemsidan

http://www.matfys.lth.se/education/FMFF05/

Repetition från 1:a veckan:

Termodynamikens 1:a huvudsats: $\Delta U = Q + W$ Energin bevaras i process

U inre energi - tillståndsstorhet

Q värme - processtorhet

W arbete - processtorhet $$W = -\int P\,dV$$

Ideal gas: $PV = N\mathrm{k}T$

Ingen vxv mellan molekylerna.

Endast kinetisk energi från de N molekylerna (translation, rotation, vibration)

Varje frihetsgrad bidrar till inre energin med: $1/2\ \mathrm{k}T$

Masscentrums rörelse (x-, y-, z-led) : $3/2\ \mathrm{k}T = ½\ m\overline{v}^2$

dvs temperatur relaterar till hastighet

N molekyler: $U=3/2\ N\mathrm{k}T$

om 2-atomiga: $U=5/2\ N\mathrm{k}T$ (rotation i två riktningar)

Allmänt: $U=\mathrm{f}/2\ N\mathrm{k}T$ f frihetsgrader per molekyl

Repetition från 1:a veckan (forts.):

Om man värmer en kropp med massan *m* med värmen *Q* ändras temperaturen med

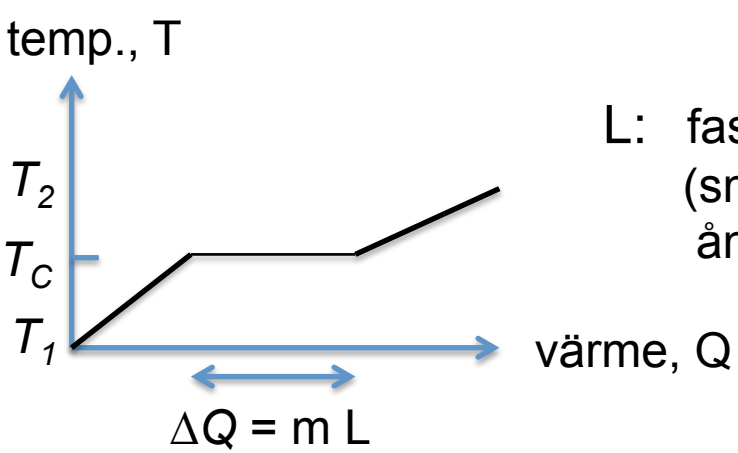
$$\Delta T = \frac{Q}{mc_V}$$ vid konstant volym

$$\Delta T = \frac{Q}{mc_P}$$ vid konstant tryck

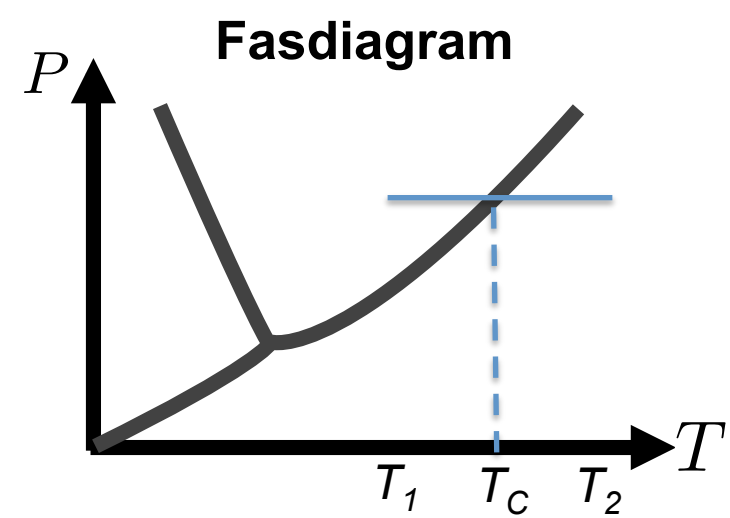
$c_{P,V}$ värmekapacitiviteten $c_{P,V} = C_{P,V}/m$ $C_{P,V}$ värmekapaciteten vid konstant tryck/volym

Om ideal gas: $C_V = f/2\, Nk$ $C_P = (1 + f/2)\, Nk$

Överföra en kropp från en fas till en annan fas (*fasövergång*). Temp. = konst.= T_C



L: fasomvandlingsentalpi (smältvärme, ångbildningsvärme)



Repetition från 1:a veckan (forts.):

Kompression av gas:

U=f/2 NkT

- ***Isoterm kompression*** T=konst. ➔ ΔU=0 Långsam process

$$-Q = W = -\int_{V_i}^{V_f} P\,dV = NkT \ln \frac{V_i}{V_f}$$

- **Adiabatisk kompression** Q=0 *Snabb process*

$$V_f T_f^{f/2} = V_i T_i^{f/2} \text{ dvs } VT^{f/2} = \text{konstant}$$

ger (se övn.): PV^{γ} = konstant

där $\gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{f+2}{f}$ (adiabatiska exponenten)

Exempel: dieselmotors kompression

3. Entropi och 2:a huvudsatsen

Termodynamiska lagarna: Vilka processer kan ske?

1:a: Energin är bevarad
2:a: Entropin (”oordningen”) kan inte minska

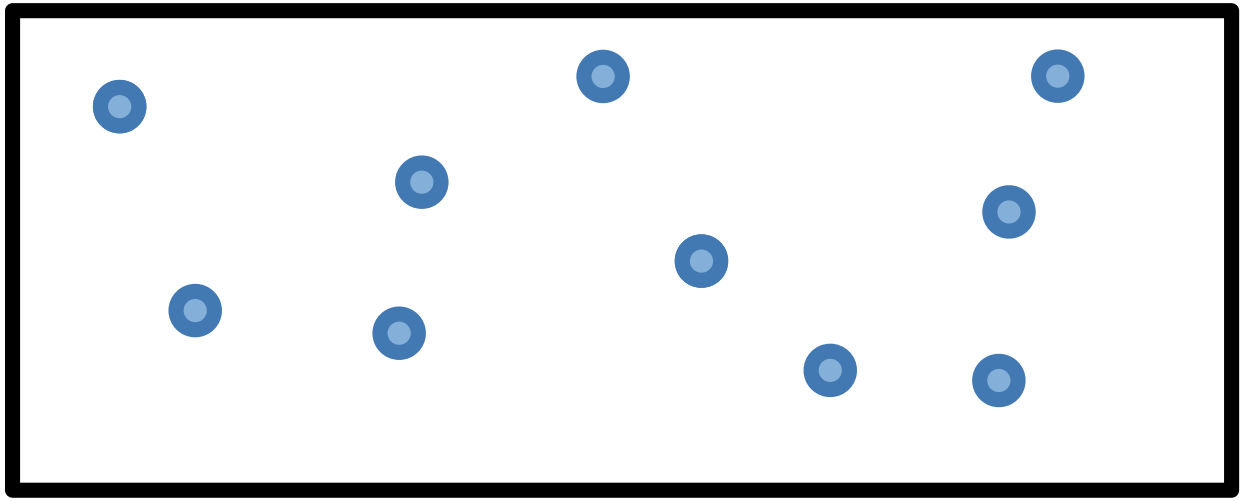
Entropi: $S = k \ln \Omega$ enhet: J/K

Ω = antalet möjliga tillstånd hos systemet med givna villkor

Alla tillstånd är lika sannolika

Hur beror *S* på antalet partiklar, *N* och på volymen, *V*?

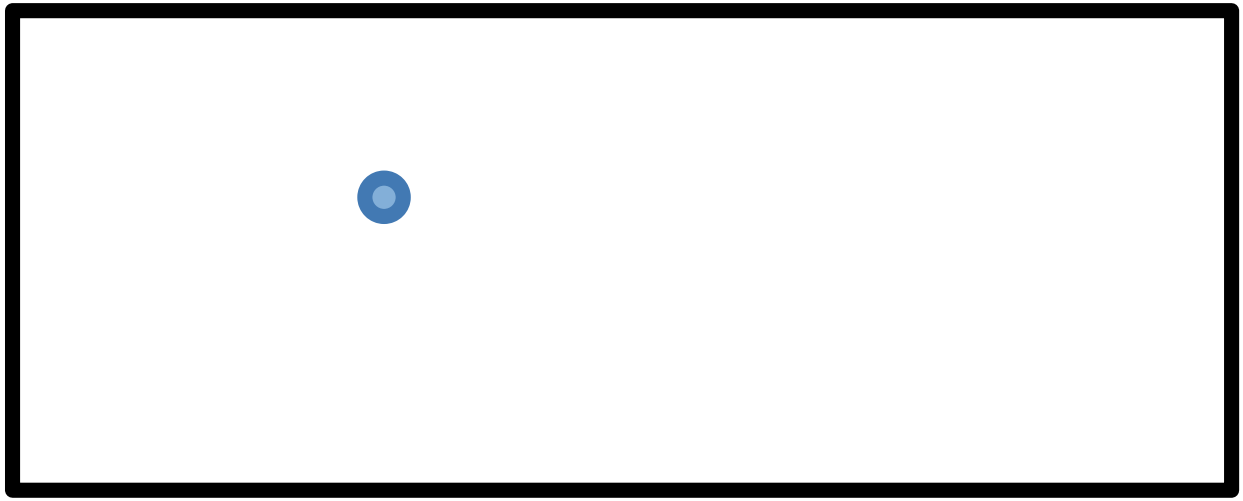
Gas i låda med konstant volym, V



$N \quad V \quad P$

Vad är entropin för en ideal gas?

Gas i låda med konstant volym, V

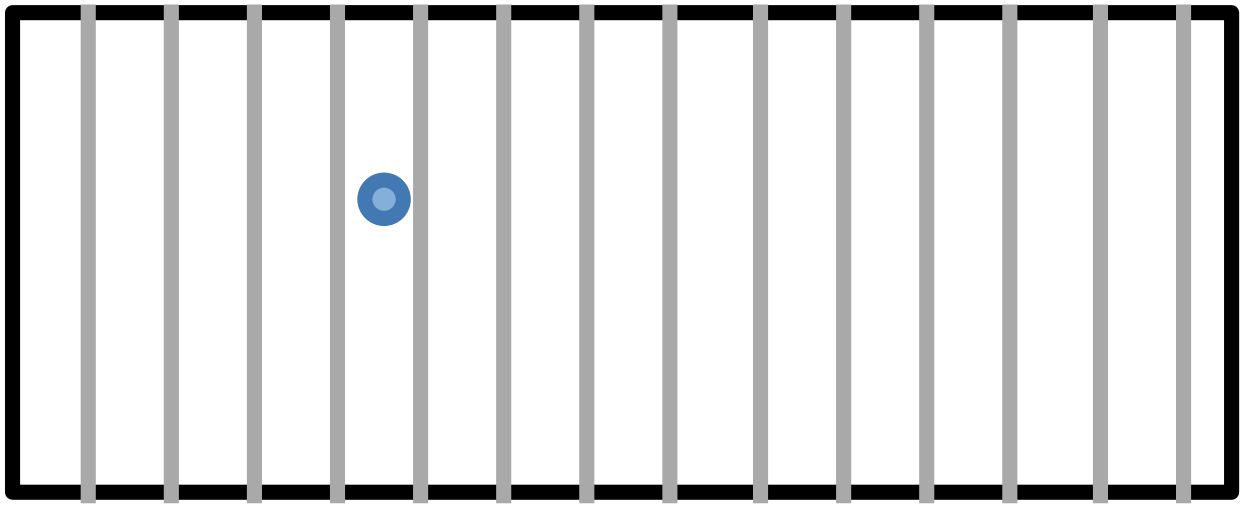


Vad är entropin för *en* partikel i lådan?

Gas i låda med konstant volym, V

Mätnoggrannhet:

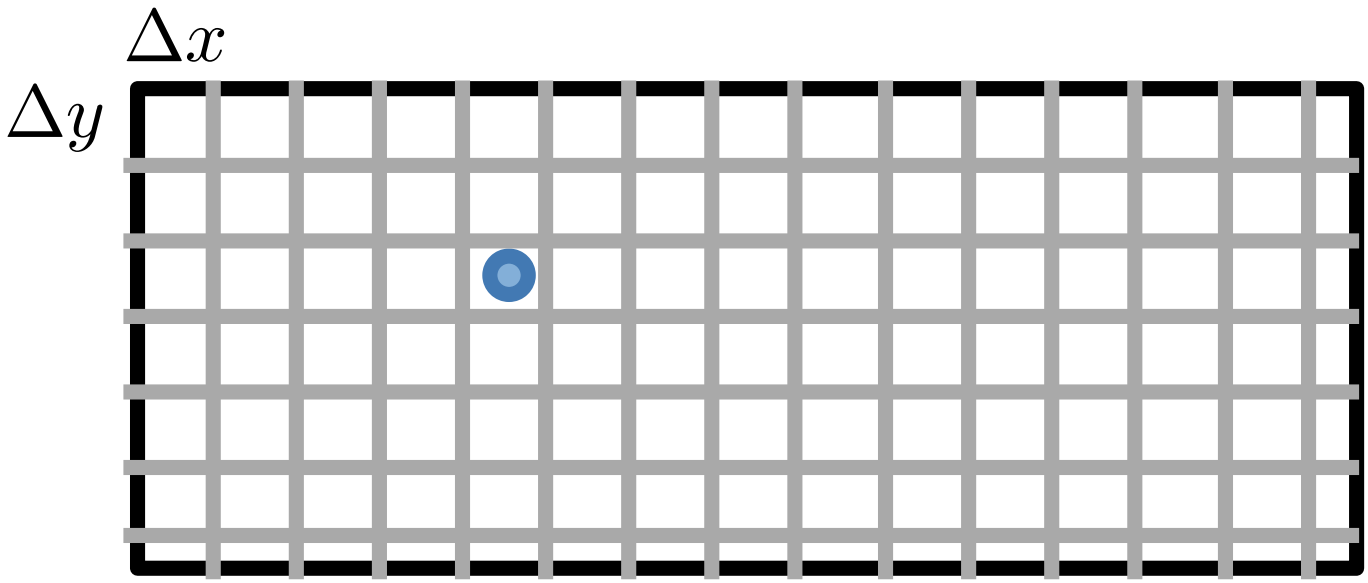
Δx



Hur många lägen finns för en partikel?

Gas i låda med konstant volym, V

Mätnoggrannhet:

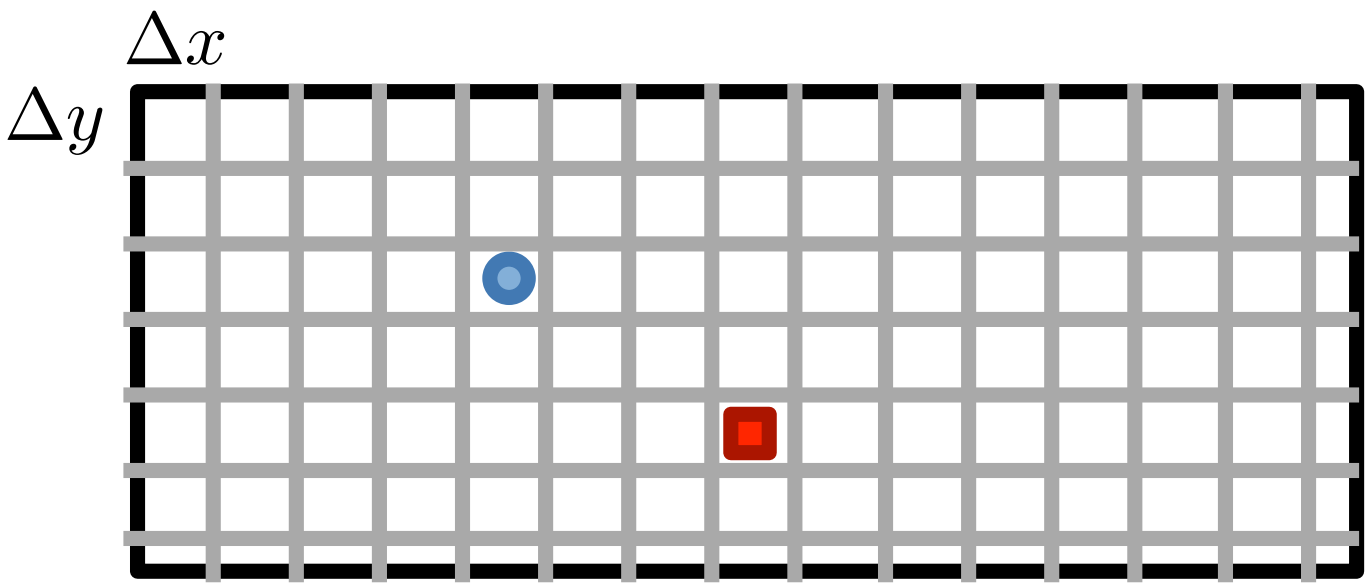


Antal rutor = antal tillstånd = Ω

Ändras volymen ändras antal tillstånd, dvs $\Omega = c \cdot V$

(c någon konstant)

Gas i låda med konstant volym, V



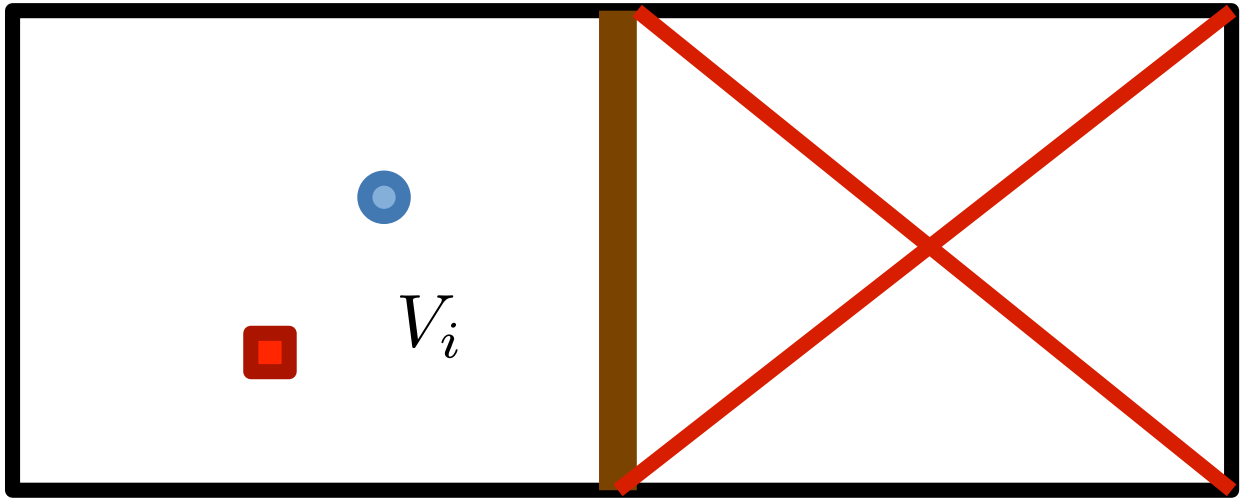
Hur många lägen för två olika partiklar i lådan?

$$\Omega(V;N=2)=\Omega(V;N=1)\cdot\Omega(V;N=1) = c^2\, V^2$$

N partiklar i lådan: $\Omega = c'\, V^N \quad \Rightarrow \quad S = k\ln\Omega = k\ln c' + Nk\ln V$

Fri expansion

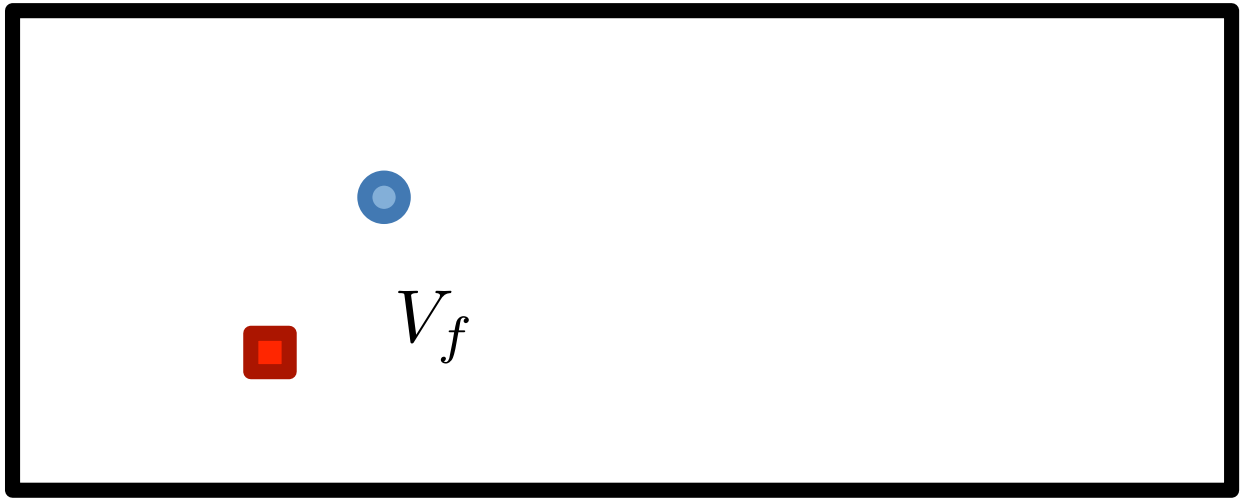
Vad händer med antal lägen då väggen tas bort?



$$\Omega_{före} = c \cdot V_{före}^{N}$$

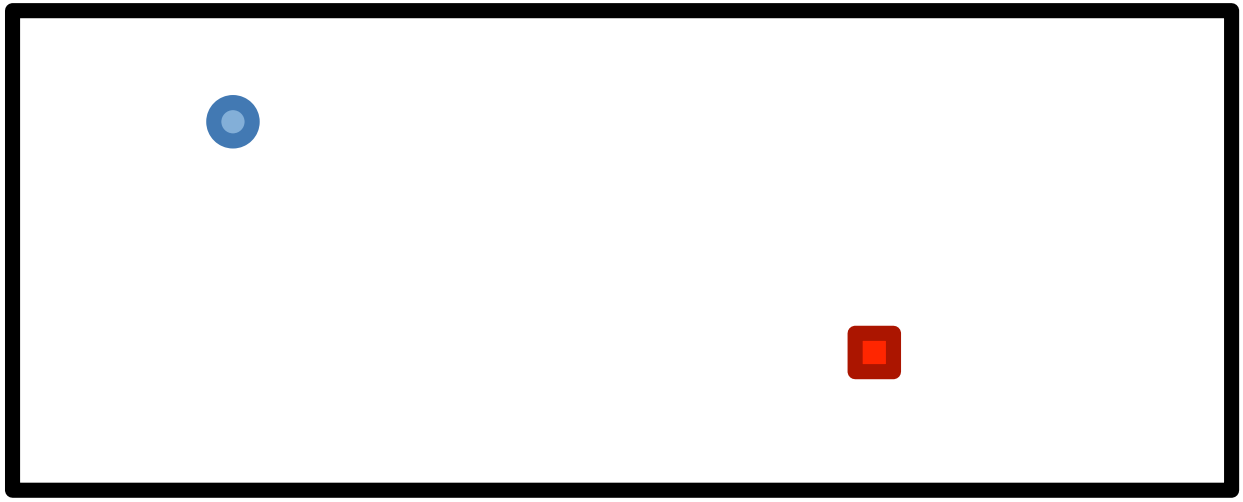
Fri expansion

Då väggen tas bort kommer partiklarna röra sig i större volym.



Fri expansion

Till exempel så här...



$$\Omega_{efter} = c \cdot V_{efter}^{N}$$

$$S_{före} = k \ln c + Nk \ln V_{före}$$

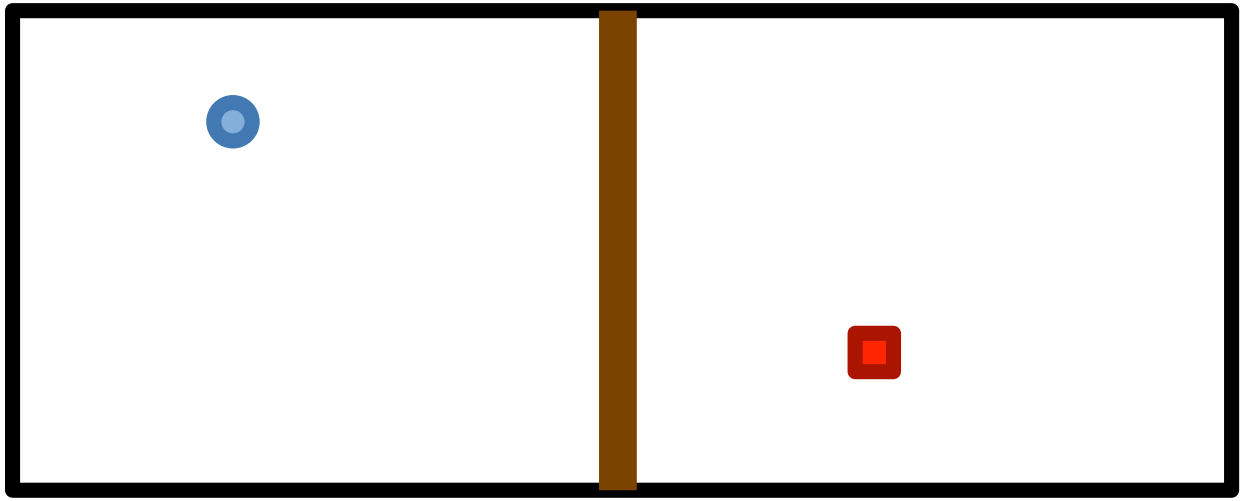
$$S_{efter} = k \ln c + Nk \ln V_{efter}$$

$$\Delta S = S_{efter} - S_{före} = Nk \ln\left(\frac{V_{efter}}{V_{före}}\right)$$

$$= Nk \ln 2$$

$V_{efter} > V_{före} \rightarrow \Delta S > 0$

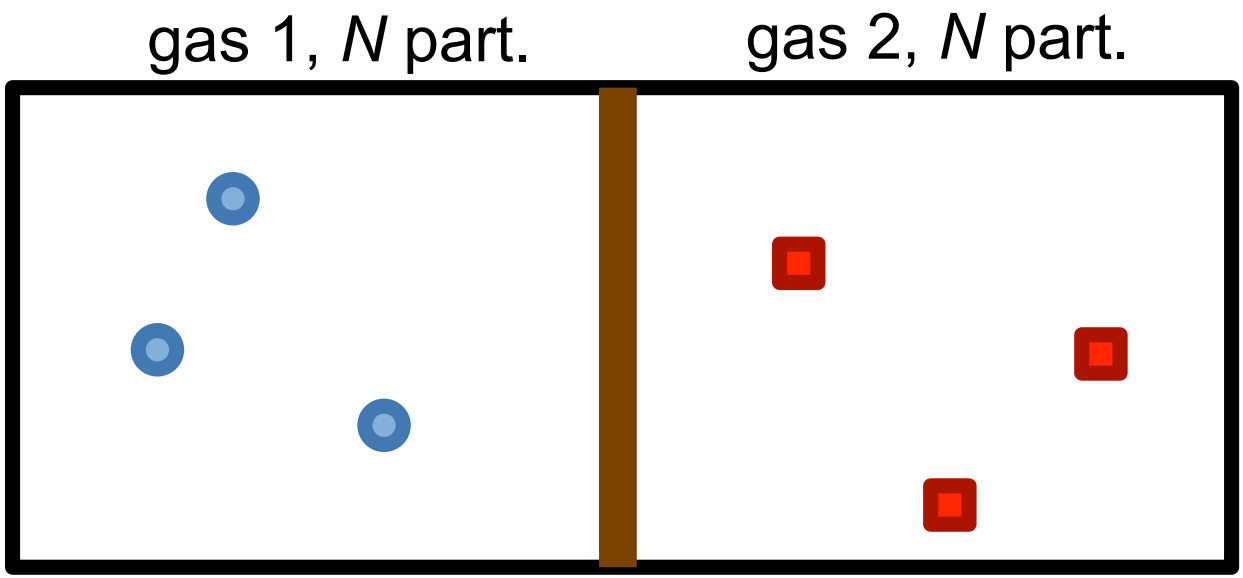
Om vi sätter tillbaka skivan återfår vi ej ursprungsläget



Irreversibel process

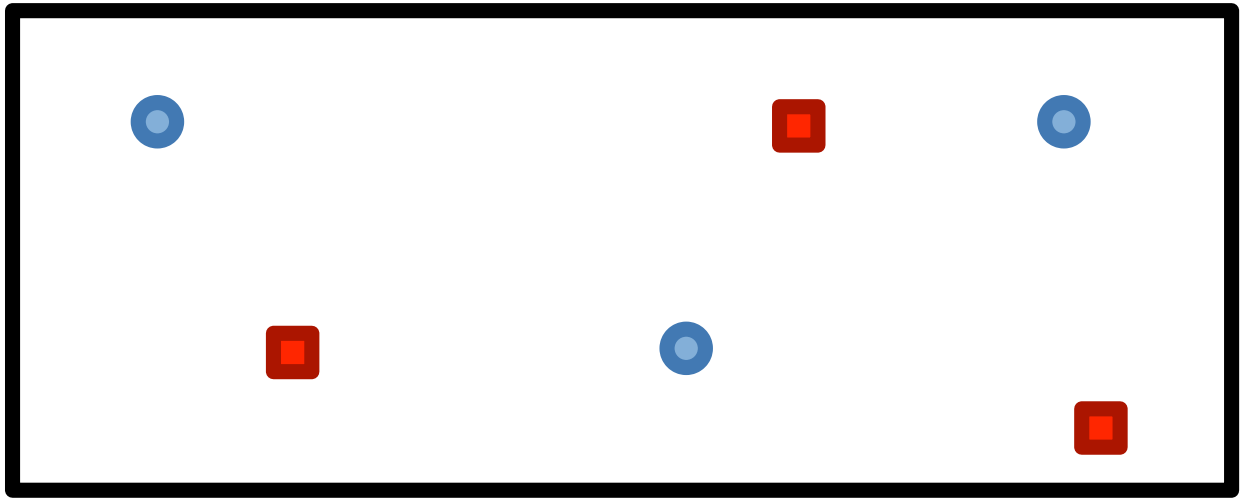
Vid irreversibel process ökar entropin

Blandning av gaser



Vad händer med entropin då väggen tas bort och gaserna blandas?

Blandning av gaser



Entropiändringen: gas 1: $\Delta S_1 = Nk \ln 2$
gas 2: $\Delta S_2 = Nk \ln 2$

Totala entropiändringen additativ (ty ideala gaser):

$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 = 2Nk \ln 2 \quad > \quad 0$

Vad händer om gas 1 och gas 2 är samma sorts gas?

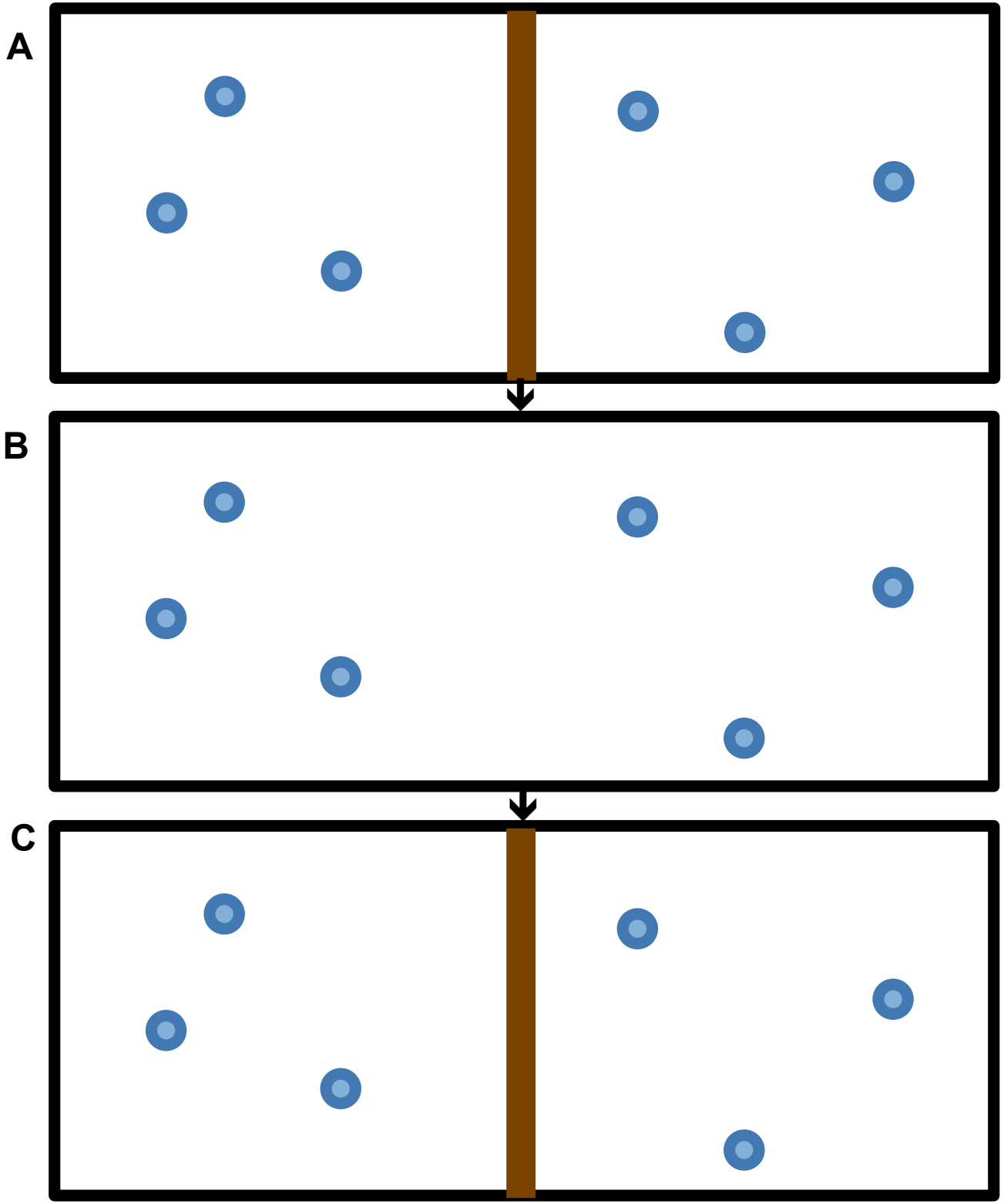
I uttrycket för entropiändringen: $\Delta S = 2Nk \ln 2$
finns inget som anger att 1 och 2 är olika gaser?

Fråga: Vad blir entropiändringen om det är samma gas:

a) $\Delta S = 2Nk \ln 2$

b) $\Delta S = Nk \ln 2$

c) $\Delta S = 0$

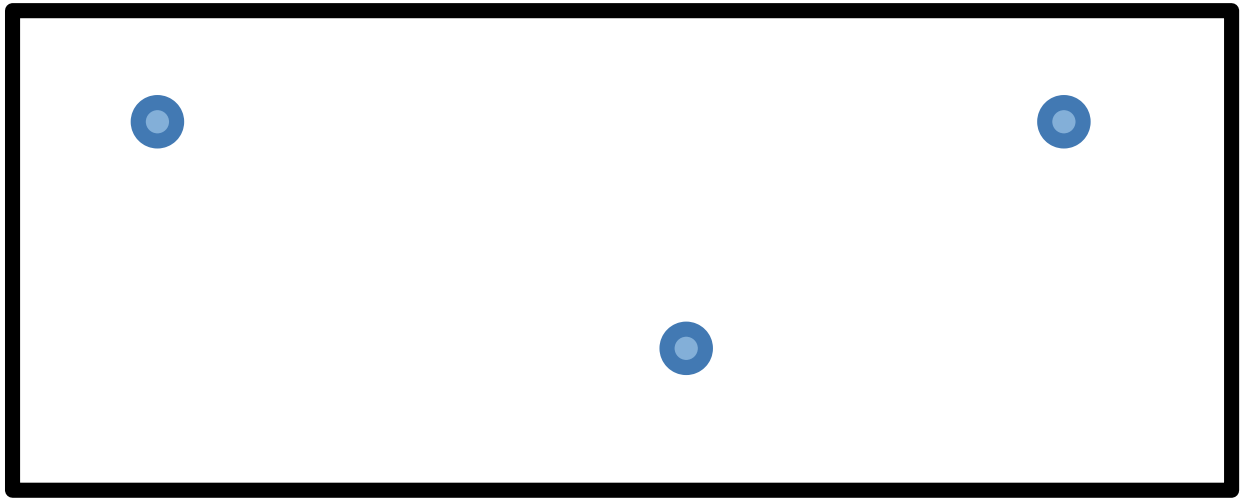


Entropin i A) och C) är samma dvs $\Delta S = 0$

svar c) är rätt

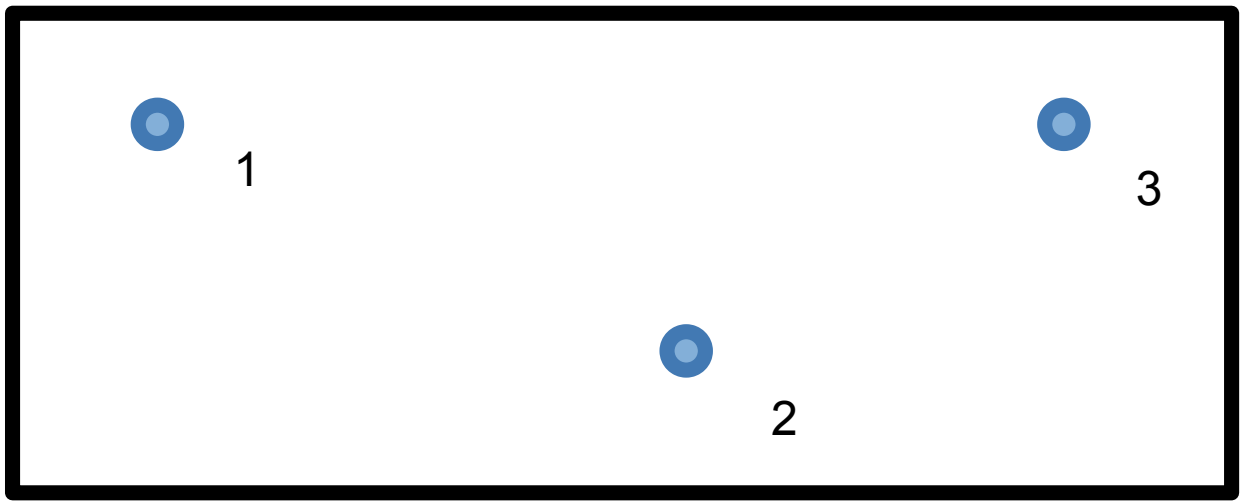
Identiska partiklar

Vi har inte tagit hänsyn till att partiklarna i en gas är identiska (kvantmekanik!)



Vi får fler tillstånd om de är identifierbara än om de är identiska. Hur många fler?

Identifierbara partiklar



Möjligheter

123
312
231

132
213
321

Det finns 3 sätt att välja plats för partikelnamn #1.
Sedan finns det två sätt att välja 2 sätt att välja partikelnamn #2.
Det finns bara en möjlighet att sedan välja partikelnamn #3.

Vi har 3*2*1 ggr för många mikrotillstånd med identifierbara partiklar.

Enligt kvantmekaniken kan vi inte skilja på dessa 3! olika tillstånden.

Allmänt med *N* partiklar har vi *N*! permutationer.
Vi har räknat med *N*! för många tillstånd.

$$\Omega = cV^N$$

skall ersättas med

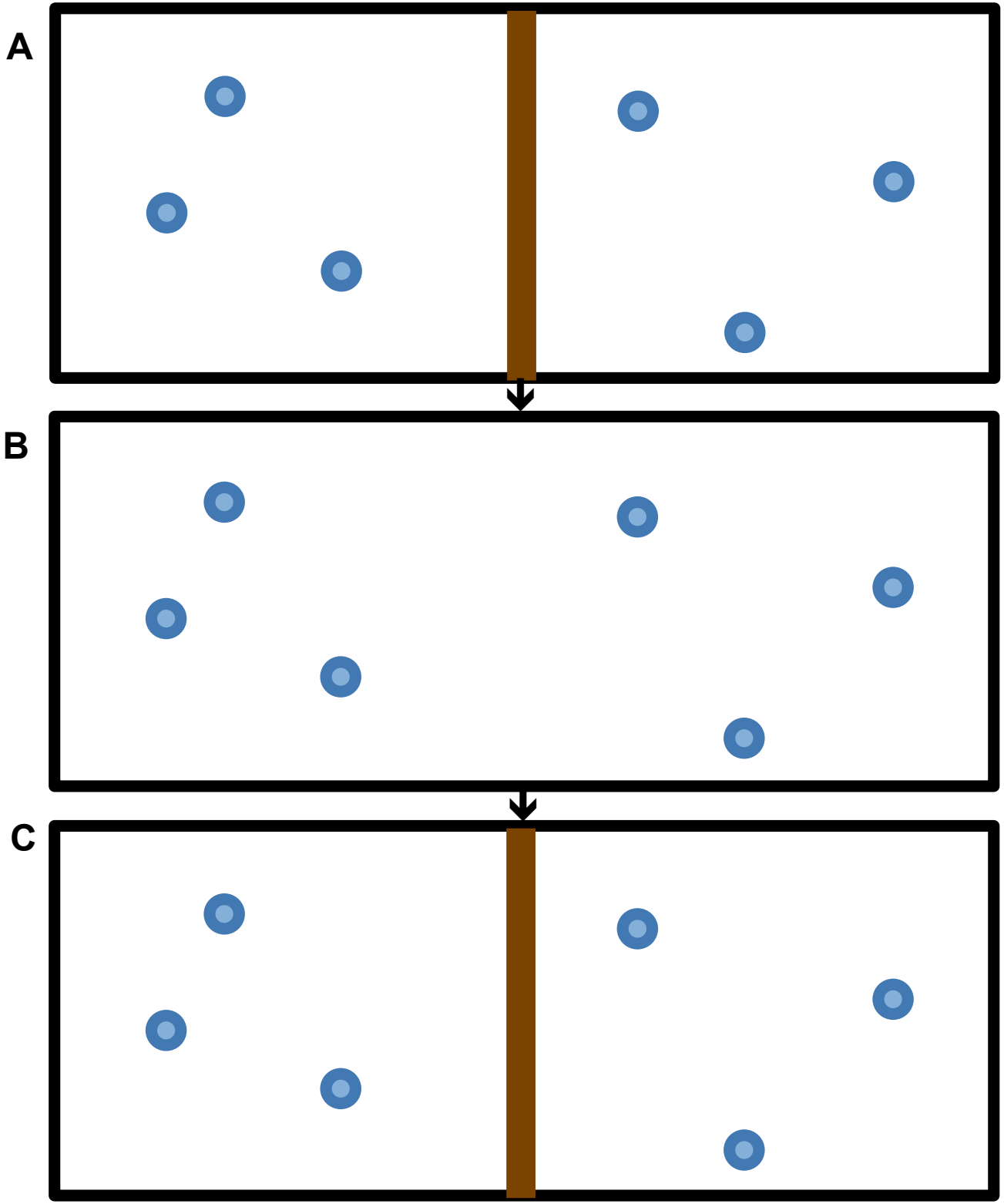
$$\Omega = c\frac{V^N}{N!}$$

$$\Rightarrow S = k\ln\Omega = k(\ln c + N\ln V - \ln N!)$$

Stirlings formel: $\ln N! \approx N\ln N - N$ om *N* stort

ofta tillräckligt $\ln N! \approx N\ln N$

$$\Rightarrow S = k\ln\Omega \approx k(\ln c + N\ln V - N\ln N) \approx kN\ln\frac{V}{N}$$



Vid sammanslagning av två identiska gaser får vi:

$$S_1 = S_2 = kN \ln \frac{V}{N}$$

$$S_A = 2kN \ln \frac{V}{N}$$

$$S_B = k2N \ln \frac{2V}{2N}$$

dvs vi får det korrekta svaret:

$\Delta S = S_B - S_A = 0$

$$S_C = S_A$$

Inför nästa föreläsning:
Repetera kap. 4 i Kvantvärldens fenomen om
Tillståndstäthet