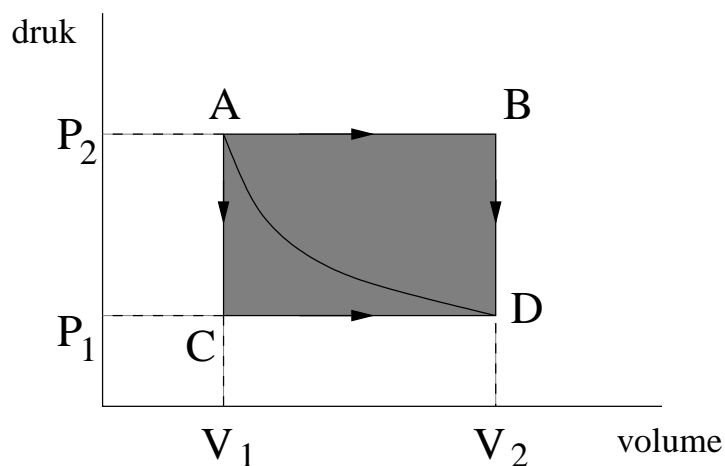


## Thermische Fysica 1 (TF1) 3 juli 2001

- Schrijf op ieder vel uw naam en voorletters, op het eerste vel bovendien uw studentnummer.
- Verdeel uw tijd goed over de diverse onderdelen van de drie opgaven.

### Opgave 1. Expansie van een ideaal gas (35 punten)

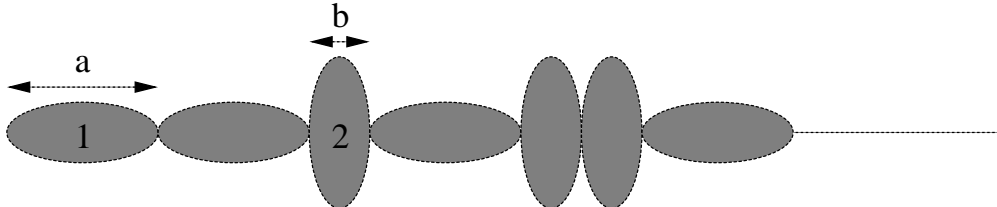
Voor een mono-atomair ideaal gas beschouwen we drie verschillende manieren om het gas quasi-statisch van volume  $V_1$  naar volume  $V_2$  te expanderen: Van A via C naar D, van A via B naar D en tenslotte langs de adiabaat door de punten A en D.



- Bereken het verschil in energie van het gas in toestand A en D.
- Bereken voor elk van de drie processen de op het gas verrichtte arbeid en de aan het systeem toegevoerde warmte.
- Bereken het entropieverschil tussen toestand A en D. Laat zien dat de entropie  $S$  een toestandsgrootheid is door  $S_A - S_B$  expliciet langs twee verschillende wegen te berekenen.

## Opgave 2. Keten van moleculen (35 punten)

Beschouw een keten van  $N$  moleculen. Ieder molecuul kan in twee toestanden voorkomen. In toestand 1 is de energie gelijk aan  $\varepsilon_1$  en de lengte van het molecuul  $a$ , in toestand 2 is de energie  $\varepsilon_2$  en de lengte  $b$ . Een schematische weergave van een mogelijke configuratie van de keten is hieronder aangegeven.



- Bereken voor een gegeven energie  $U = n_1\varepsilon_1 + n_2\varepsilon_2$ , met  $n_1 + n_2 = N$ , de multipliciteit en de entropie  $S$ .
- Bereken door gebruik te maken van de relatie tussen entropie en temperatuur de gemiddelde lengte van de keten als functie van de temperatuur  $T$ .
- Hoe groot is de lengte van de keten voor  $T \rightarrow 0$  en  $T \rightarrow \infty$ , geef een korte toelichting van dit resultaat.

## Opgave 3. Warmte-uitwisseling (30 punten)

Een geïsoleerd systeem bestaat uit twee deelsystemen die met elkaar in thermisch contact staan, maar geen arbeid op elkaar kunnen uitoefenen. Het volume van elk systeem is vast. De warmtecapaciteit van deelsysteem 1 is  $c_1$ , die van deelsysteem 2  $c_2$ . Beide warmtecapaciteiten hangen nauwelijks van de temperatuur af, we nemen ze daarom constant. In de beginsituatie zijn de deelsystemen elk afzonderlijk in thermisch evenwicht, respectievelijk bij  $T_1$  en  $T_2$ , maar niet in evenwicht met elkaar. Nu laten we warmte-uitwisseling plaatsvinden zodat beide systemen in evenwicht met elkaar komen.

- Wat is de gemeenschappelijke eindtemperatuur  $T_f$ ?
- Wat is de totale entropieverandering bij dit proces? Laat zien dat  $\Delta S > 0$  is als  $T_2 \neq T_1$  (maak gebruik van  $\log x \geq 1 - \frac{1}{x}$ ).
- Analyseer de antwoorden op vraag a en b voor het speciale geval dat  $c_2 \gg c_1$ , m.a.w. deelsysteem 2 fungeert als warmtebad.

## Formuleblad TF1

Ideaal gas:  $PV = NkT$ , Energie  $U = \frac{f}{2}NkT$ ,  $f$  aantal vrijheidsgraden.

$$k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}, N_A = 6.022 \times 10^{23}$$

Eerste hoofdwet  $\Delta U = Q + W$

Adiabatische processen  $PV^\gamma = \text{constant}$ ,  $\gamma = 5/3$ .

$$\text{Soortelijke warmte } C_V = \left(\frac{\partial Q}{\partial T}\right)_V = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V; C_P = \left(\frac{\partial Q}{\partial T}\right)_P = \left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_P$$

Thermodynamische identiteit  $dU = T dS - P dV$

Entropie:  $S = k \ln \Omega(U, N, V)$

Stirling benadering:  $\ln N! = N \ln N - N$

Thermisch evenwicht: definitie temperatuur:  $\frac{1}{T} = \left(\frac{\partial S}{\partial U}\right)_{V,N}$

Mechanisch evenwicht: definitie druk:  $P = \left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_{U,N}$

Transportvergelijkingen:

Vrije weglengte ( $l$ ) en botsingstijd ( $\tau$ ):  $l = v\tau$

Warmte (Fourier):  $\frac{Q}{\Delta t} = -k_t A \frac{\partial T}{\partial x}$ ,  $k_t = \frac{C_v}{2V} l \langle v \rangle$

Impuls (Viscositeit):  $\frac{F}{A} = \eta \frac{\partial v_x}{\partial z}$

Deeltjes (Fick):  $J = -D \frac{\partial n}{\partial x}$