

Schrijf op elk vel dat je inlevert NAAM, VOORLETTERS en STUDENTNUMMER.

De toets bestaat uit 3 opgaven. Lees de opgaven zorgvuldig!

Begin de uitwerking van elke opgave op een nieuwe pagina.

Met elk onderdeel is 5 punten te verdienen.

Bedenk dat gedeeltelijk correcte antwoorden ook punten op kunnen leveren.

- 1) Geef kort en bondig antwoord op de volgende vragen of opdrachten (er wordt in deze opgave niet om uitgebreide berekeningen of afleidingen gevraagd):

- (a) Wat wordt verstaan onder de *microkanonieke verdeling*? Omschrijf de fysische systemen waarin deze verdeling verondersteld wordt van toepassing te zijn.
- (b) De *partitiefunctie* Z kan geschreven worden als $e^{-\beta X}$. Welke *thermodynamische functie* is X ? Wat zijn de *natuurlijke variabelen* die horen bij X ?
- (c) Wat is het verband tussen de Helmholtz vrije energie en de totale (interne) energie U ?

- 2) Beschouw N onderscheidbare deeltjes die onafhankelijk van elkaar elk in twee toestanden kunnen zijn: één met energie 0 en één met energie ε . De deeltjes hebben verder geen (bv. kinetische) energie. Noem N_0 en N_1 het aantal atomen met energie 0 en energie ε , respectievelijk.

- (a) Beredeneer dat het aantal toestanden W waarin het systeem van N deeltjes zich kan bevinden, indien de totale energie E van het systeem gegeven is, c.q. vast ligt, gegeven wordt door:

$$W = \frac{N!}{N_1! N_0!}$$

- (b) We schrijven de totale energie als $E = xN\varepsilon$. Bereken de entropie $S(x, N)$ bij vaste energie E en vast aantal deeltjes N . Maak eerst gebruik van Stirling's benadering in zijn eenvoudigste vorm en bedenk dan hoe N_0 en N_1 met x samenhangen.
- (c) Bereken de temperatuur T voor de situatie gegeven in (b).
- (d) Hoe groot is de entropie voor zeer hoge temperatuur (d.w.z. $k_B T \gg \varepsilon$)?

- 3) De Gibbs vrije energie G is de thermodynamische functie met de natuurlijke variabelen: temperatuur T , druk P en aantal deeltjes N . De totale differentiaal van de interne energie U is: $dU = TdS - PdV + \mu dN$.
- (a) Beredeneer dat de (dubbele) Legendretransformatie waarmee je G vindt uit de interne energie U gegeven wordt door: $G = U + PV - TS$.
 - (b) Bepaal dG . Hoe volgen V en μ uit kennis van $G(T, P, N)$?
 - (c) Toon aan dat G in feite niets anders is dan μN . Als functie van welke onafhankelijke variabelen moet μ hier opgevat worden?