

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?