

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za *matematiko in fiziko*



Gregor Skačej

Kolokvijske naloge iz Statistične termodinamike

Ljubljana 2023

1. kolokvij

24. 11. 2022

1. Ravni vzporedni opni potopimo v raztopino virusa tobačnega mozaika. Zunanja sila, ki uravnoveša privlačno silo med opnama, znaša pri temperaturi T in razmiku open h

$$\mathcal{F}(T, h) = \begin{cases} \nu T(d - h), & h < d, \\ 0, & h \geq d. \end{cases}$$

Za koliko se pri 20°C in zunanji sili 2 nN razlikujeta toplotni kapaciteti sistema $C_{\mathcal{F}}$ in C_h ? Računajte z $\nu = 10^{-4}$ N/mK in $d = 0.3 \mu\text{m}$! — Kolikšna je pri omenjenih okoliščinah razlika odvodov

$$\left(\frac{\partial h}{\partial \mathcal{F}}\right)_S - \left(\frac{\partial h}{\partial \mathcal{F}}\right)_T,$$

če je $C_h = 2$ mJ/K?

2. Idealni hladilnik prejema toploto od koščka superprevodnika s prostornino 1 cm^3 , ki je v začetku pri temperaturi 8 K, in jo oddaja toplotnemu rezervoarju s stalno temperaturo 12 K. Namesto dela hladilnik prejema dodatno toploto iz toplotnega rezervoarja s stalno temperaturo 20 K. Koliko toplote odda hladilnik do trenutka, ko se superprevodnik ohladi na 4 K, če se poskus odvija v odsotnosti magnetnega polja? Toplotna kapaciteta vzorca v superprevodni fazi je $C_S(T) = aT^3$. Kritična magnetna poljska jakost, nad katero pri dani temperaturi ne opazimo superprevodnega stanja, podaja zveza $H_c(T) = H_0(1 - T^2/T_c^2)$. Računajte z $a = 4 \times 10^{-5}$ J/K⁴, $H_0 = 1.6 \times 10^5$ A/m in $T_c = 9.3$ K! — Kako se spremeni zgornji rezultat, če poskus ponovimo v magnetnem polju jakosti 10^5 A/m?

2. kolokvij

19. 1. 2023

1. V idealno gibek ravninski polimer se veže 10^3 podolgovatih monomerov z vzdolžnim električnim dipolnim momentom velikosti 10^{-29} Asm. Kolikšen je povprečni dipolni moment polimera $\langle p_e \rangle$, ko ga pri 1000 K izpostavimo električnemu polju jakosti 2×10^7 V/m v ravnini polimera? (Privzemite, da so dipoli medsebojno neodvisni!) Izračunajte spremembo entropije polimera pri vklopu polja! — Poskus ponovimo pri 1 K. Za koliko se $\langle p_e \rangle$ razlikuje od vrednosti, ki jo dobimo pri absolutni ničli?
2. Nedegeneriran idealni plin dvoatomnih molekul s kilomolsko maso 2 kg/kmol in značilno rotatorsko temperaturo 86 K se adsorbira na stenah posode, pri čemer znaša vezavna energija 0.02 eV. Adsorbirane molekule se po stenah prosto gibljejo, njihovo vrtenje pa je omejeno na ravnino sten. Izračunajte površinsko gostoto adsorbiranih molekul pri 12 K, če je tlak plina 10^3 Pa! Kolikšen rezultat bi dobili pri 68 K in istem tlaku?

Izpit

16. 3. 2023

1. Enoatomni idealni plin s kilomolsko maso 4 kg/kmol najprej izobarno raztegnemo, nato ga izohorno ohladimo in na koncu adiabatno reverzibilno stisnemo, da dosežemo začetno stanje. Skicirajte cikel na diagramu $p - V$! Kolikšen je njegov izkoristek, če je razmerje največje in najmanjše prostornine enako 2? — Izračunajte spremembo specifične entropije plina na izobari!

2. Pri temperaturi T je naboj na ploščatem kondenzatorju, na katerem je napetost ϕ , enak

$$e(T, \phi) = \frac{\epsilon_0 A \phi}{d} \exp(\alpha - \beta T),$$

kjer je $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$ As/Vm, $\alpha = 14.48$ in $\beta = 12.85 \times 10^{-3}$ K⁻¹. Površina plošč kondenzatorja je $A = 1$ dm², razdalja med njima $d = 2$ cm. Kolikšna je pri 120°C razlika toplotnih kapacitet kondenzatorja $C_\phi - C_e$, če je nanj priključena napetost 10 kV? — Izračunajte spremembo notranje energije kondenzatorja, ko pri 120°C dvignemo napetost z 0 kV na 10 kV!

3. V idealno gibek ravninski polimer se veže 10^6 podolgovatih monomerov z vzdolžnim električnim dipolnim momentom velikosti 10^{-29} Asm. Izračunajte konformacijski prispevek k toplotni kapaciteti polimera, izpostavljenega električnemu polju jakosti 2×10^7 V/m v ravnini polimera, pri 1000 K! Privzemite, da so dipoli medsebojno neodvisni! — Kolikšen rezultat bi dobili pri 1 K?

4. V steno velike posode, ki se nahaja v vakuumu in v kateri je razredčena srebrova para pri 0.1 mbar, izvrtamo okroglo luknjico s površino 0.01 mm². Na razdalji 1 m od luknjice postavimo okroglo ploščo s polmerom 0.5 m tako, da imata luknjica in plošča isto simetrijsko os. Kolikšna sila deluje na ploščo, če se ob dotiku vsak atom prilepi nanjo? Kolikšen energijski tok prestreza plošča? Povprečna velikost hitrosti atomov pare znaša 240 m/s.

Izpit

28. 6. 2023

1. Enoatomni idealni plin s kilomolsko maso 4 kg/kmol najprej izobarno raztegnemo, nato ga izohorno ohladimo in na koncu adiabatno reverzibilno stisnemo, da dosežemo začetno stanje. Skicirajte cikel na diagramu $p - V$! Kolikšen je njegov izkoristek, če je razmerje največje in najmanjše prostornine enako 2? — Izračunajte spremembo specifične entropije plina na izohori!
2. V nekem dielektriku pride do faznega prehoda med fazo I s temperaturno neodvisno električno susceptibilnostjo χ_0 in fazo II, v kateri je susceptibilnost pri temperaturi T enaka C/T . Električna poljska jakost, nad katero je pri dani temperaturi stabilna faza II, pod njo pa faza I, znaša

$$E_c(T) = E_0 \sqrt{1 - \frac{T^2}{T_0^2}},$$

kjer je $E_0 = 5 \times 10^6$ V/m in $T_0 = 117^\circ\text{C}$. Kolikšna je pri 27°C utajena toplota prehoda iz faze I v fazo II? Za koliko se razlikujeta specifični toploti c_E faz I in II, ko sta ti fazi v ravnovesju pri 27°C ? Računajte s $\chi_0 = 2$ in $C = 3300$ K! Gostota spojine v obeh fazah je 1400 kg/m³.

3. Pri modeliranju zvijanja proteinov privzamemo, da proteinsko molekulo opiše N neodvisnih parametrov, od katerih lahko vsak zavzame eno izmed ν različnih vrednosti. Po ena izmed vrednosti posameznega parametra ustreza osnovnemu stanju proteina in jo imenujemo *pravilna*; ostale so *nepravilne*. Energija proteina je enaka

$$E(n) = \begin{cases} -\epsilon, & n = 0 \\ nw, & 1 \leq n \leq N \end{cases},$$

kjer n označuje število parametrov z nepravilno vrednostjo; $\epsilon = 0.5$ eV in $w = 0.05$ eV. Kolikšna je pri 300 K verjetnost, da naletimo na protein v osnovnem stanju? Za koliko se entropija proteina pri 300 K razlikuje od njegove entropije v osnovnem stanju? Računajte z (a) $\nu = 2$, $N = 130$, (b) $\nu = 4$, $N = 60$!

4. V magnetnem polju z gostoto 0.7 T je sol, ki vsebuje paramagnetne ione s spinom 1 in giromagnetnim razmerjem 2. Izračunajte povprečni magnetni dipolni moment posameznega iona pri 30 K! Kolikšna mora biti temperatura soli, da bodo v vzorcu z 10^{20} ioni fluktuacije magnetizacije (σ_M) dosegle 10^{-9} njenega povprečja? Magnetni momenti ionov so neodvisni.

Izpit

28. 8. 2023

1. Obnašanje plina opišemo z enačbo stanja

$$\left(p + \frac{a}{V_M^2 T}\right) (V_M - b) = RT,$$

kjer p , V_M in T označujejo tlak, kilomolsko prostornino in temperaturo. Določite vrednosti vseh treh količin v kritični točki! Računajte z $a = 87.2 \text{ Jm}^3\text{K/mol}^2$, $b = 3.25 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{mol}$ in $R = 8.3 \text{ J/molK}$!

2. Gostoto vode opisuje zveza

$$\rho(T, p) = \rho_0 - \lambda(T - T_0)^2 + \mu(p - p_0),$$

kjer je $\rho_0 = 999.972 \text{ kg/m}^3$, $T_0 = 4^\circ\text{C}$, $p_0 = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$, $\lambda = 6.62 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3\text{K}^2$ in $\mu = 4.6 \times 10^{-7} \text{ kg/m}^3\text{Pa}$. Kolikšna je izotermna stisljivost vode pri 5°C in $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$? Za koliko se pri omenjenih pogojih razlikujeta izotermna in adiabatna stisljivost? Specifična toplota vode pri konstantnem tlaku znaša 4204 J/kgK .

3. V razsežni posodi z vodoravnim dnom imamo redko vodno raztopino trdih kroglic s polmerom $0.3 \mu\text{m}$. Kolikšen tlak deluje pri 300 K na tanko in lahko vodoravno ploščo, ki je potopljena v raztopino in je od dna posode oddaljena (a) $0.5 \mu\text{m}$, (b) $1 \mu\text{m}$? Raztopina vsebuje 10^9 kroglic na m^2 dna posode. Gostota snovi, iz katere so kroglice, je 7900 kg/m^3 , vode pa 1000 kg/m^3 . Težni pospešek znaša 10 m/s^2 .
4. Tri spine, ki ležijo v ogliščih enakostraničnega trikotnika, veže Isingova interakcija s hamiltonko

$$H = -J \sum_{\langle i,j \rangle} s_i s_j,$$

v kateri teče vsota po parih sosednih spinov; s_i lahko pri tem zavzame vrednosti $\pm 1/2$. Kolikšna je pri 300 K povprečna energija sistema in kolikšne so njene fluktuacije (σ_E)? Računajte z $J = 0.02 \text{ eV}$!

STATISTIČNA TERMODINAMIKA 2021/22

1. kolokvij

24. 11. 2021

1. Navor, potreben za torzijsko deformacijo kovinske palice, je odvisen od kota zasuka φ in temperature T ter je podan z

$$M(\varphi, T) = D_0(1 - \lambda T)(\varphi - \mu\varphi^2),$$

kjer je $D_0 = 800 \text{ Nm/rad}$, $\lambda = 2 \times 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ in $\mu = 2 \text{ rad}^{-1}$. Za koliko se pri $\varphi = 5^\circ$ in $T = 1000^\circ\text{C}$ razlikujeta toplotni kapaciteti palice C_M in C_φ ? — Za koliko se spremeni notranja energija sprva neobremenjene palice, ko jo pri stalni temperaturi 1000°C reverzibilno torzijsko deformiramo za kot 5° ?

2. V jeklenki z zanemarljivo toplotno kapaciteto sten je vodna para z gostoto 1 kg/m^3 in temperaturo 120°C . Jeklenka, ki se nahaja v evakuirani in toplotno izolirani posodi, nenadoma počne, zaradi česar pade gostota pare na 0.1% začetne vrednosti. Za koliko se pri tem spremeni temperatura pare? Kolikšna je sprememba specifične entropije pare in za koliko se dobljena vrednost razlikuje od rezultata za idealni plin? Obnašanje plina opisuje enačba stanja

$$\left(p + \frac{a}{V_m^{5/3}}\right)(V_m - b) = RT,$$

v kateri sta p in T tlak in temperatura, V_m pa označuje kilomolsko prostornino. Računajte z $a = 9 \times 10^5 \text{ Pa m}^5/\text{kmol}^{5/3}$ in $b = 0.016 \text{ m}^3/\text{kmol}$! Kilomolska masa vode je 18 kg/kmol , specifična toplota pare pri konstantni prostornini 1440 J/kgK . — Poskus ponovimo v homogenem električnem polju jakosti $E = 10^9 \text{ V/m}$. Kolikšna je sprememba temperature v tem primeru? Dipolni moment pare na enoto mase je enak $p_e/m = \gamma E/T$, kjer je $\gamma = 3 \times 10^{-11} \text{ Asm}^2\text{K/Vkg}$.

2. kolokvij

17. 1. 2022

1. Pet kilometrov visok pokončen valj je napolnjen s kisikom pri 20°C. Izračunajte povprečji $\langle z \rangle$ in $\sigma_z = (\langle z^2 \rangle - \langle z \rangle^2)^{1/2}$, kjer z označuje oddaljenost posamezne molekule od spodnje osnovne ploskve valja! Težni pospešek znaša 10 m/s², kilomolska masa kisika 32 kg/kmol. — Določite razmerje povprečnih prostih poti molekul ob zgornji in spodnji osnovni ploskvi valja!
2. Disperzijska relacija spinskih valov v kobaltu je $\omega = \alpha k^2$, kjer je $\alpha = 7.6 \times 10^{-6}$ m²/s. Kolikšna je pri 1 K številska gostota magnonov? Polarizacija je ena. — Kolikšen je pri omenjeni temperaturi magnonski prispevek h gostoti entropije?

n	1	$\frac{3}{2}$	2	$\frac{5}{2}$	3	$\frac{7}{2}$	4	$\frac{9}{2}$	5
$\Gamma(n)$	1	$\frac{1}{2}\sqrt{\pi}$	1	$\frac{3}{4}\sqrt{\pi}$	2	$\frac{15}{8}\sqrt{\pi}$	6	$\frac{105}{16}\sqrt{\pi}$	24
$\zeta(n)$	∞	2.61238	$\frac{1}{6}\pi^2$	1.34149	1.20206	1.12673	$\frac{1}{90}\pi^4$	1.05471	1.03693

Izpit

18. 3. 2022

1. Enoatomni idealni plin s kilomolsko maso 4 kg/kmol podvržemo reverzibilni krožni spremembi, v kateri ga najprej izohorno ohladimo, nato adiabatno stisnemo do začetne temperature in končno še izotermno razpnemo, da dosežemo začetno stanje. Določite izkoristek procesa, če znašata najvišja in najnižja dosežena temperatura 60°C in 30°C! Kolikšna je sprememba specifične entropije na izohori?
2. Navor, potreben za torzijsko deformacijo kovinske palice, je odvisen od kota zasuka φ in temperature T ter je podan z

$$M(\varphi, T) = D_0(1 - \lambda T)(\varphi - \mu\varphi^2),$$

kjer je $D_0 = 800 \text{ Nm/rad}$, $\lambda = 2 \times 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ in $\mu = 2 \text{ rad}^{-1}$. Kolikšna je pri $\varphi = 5^\circ$ in $T = 1000^\circ\text{C}$ razlika adiabatnega in izotermnega torzijskega modula palice

$$\left(\frac{\partial M}{\partial \varphi}\right)_S - \left(\frac{\partial M}{\partial \varphi}\right)_T \quad ?$$

Toplotna kapaciteta palice C_φ znaša 1100 J/K.

3. Ravninsko molekulo sestavlja 100 členov, ki v osnovni konformaciji tvorijo cikcakasto strukturo. Zaporedna člena lahko oklepata tudi iztegnjeni kot, vendar je tedaj energija vezi za 0.025 eV višja kot pri osnovni konformaciji. Kolikšen je pri 300 K konformacijski prispevek k toplotni kapaciteti take molekule? — Za koliko se spremeni konformacijska entropija molekule, ko dvignemo temperaturo s 300 K na 400 K?
4. Model dvorazsežne trdnine predstavlja obsežna kvadratna mreža $N \times N$ atomov, v kateri so najbližji sosede povezani med seboj. Lastne frekvence transverzalnih valovanj, ki se širijo po taki mreži,

$$\omega(q_x, q_y) = \omega_0 \sqrt{2(2 - \cos q_x a - \cos q_y a)}$$

so odvisne od komponent valovnega vektorja $q_i = 2\pi n_i / Na$ ($i = x, y$), kjer je n_i celo število med $-N/2$ in $N/2$ ter $a = 1 \text{ nm}$ razdalja med sosednima atomoma. V nizkotemperaturni limiti pri 4 K izračunajte povprečno število fononov na atom! Kolikšne so pri 4 K fluktuacije energije (σ_E) v kosu trdnine iz 10^{20} atomov? Računajte z $\omega_0 = 10^{12} \text{ s}^{-1}$!

STATISTIČNA TERMODINAMIKA 2021/22

Izpit

1. 7. 2022

1. Kilogram vode razdelimo na dva dela. Začetna temperatura prvega je 2°C , drugega pa 98°C . Dela vode zmešamo v toplotno izoliranem kalorimetru. Kolikšna naj bo masa hladnega dela vode, da bo pri tem sprememba entropije največja?
2. Pri temperaturi T je dipolni moment paramagnetnega vzorca v magnetnem polju jakosti H enak $p_m = \alpha H / \mu_0 T$, kjer je α konstanta, toplotna kapaciteta vzorca pri stalnem H pa znaša $C_H = \alpha H^2 / T^2$. Izpeljite enačbo izentropne spremembe za tak paramagnet! — Z vzorcem opravimo reverzibilno krožno spremembo, ki je sestavljena iz dveh izentrop in dveh odsekov pri $H = \textit{konst}$. Skicirajte jo na diagramu $H - T$ in izračunajte izkoristek toplotnega stroja, ki jo opravlja, če znaša razmerje največje in najmanjše pri tem dosežene poljske jakosti 3.2!
3. Izračunajte povprečno energijo elektrona v dvorazsežnem elektronskem plinu pri 1000 K s kemijskim potencialom, ki za 1.5 MeV presega lastno enegijo elektrona! Kolikšen je tlak takega plina?
4. Tri med seboj povezane posode so napolnjene z istim idealnim plinom. Prvo in drugo posodo povezuje okrogla odprtina premera 0.1 mm, prav taka odprtina pa povezuje tudi drugo in tretjo posodo. Druga posoda je toplotno izolirana. V prvi posodi vzdržujemo tlak 1 Pa in temperaturo 300 K, v tretji pa tlak 1.1 Pa in temperaturo 600 K. Določite ravnovesna tlak in temperaturo v drugi posodi! Polmer atomov plina ocenimo na 10^{-10} m.

STATISTIČNA TERMODINAMIKA 2021/22

Izpit

29. 8. 2022

- V ležečem toplotno izoliranem valju je gibljiv bat, ki ga na eno izmed osnovnih ploskev pripenja vzmet s koeficientom 2×10^3 N/m. Oba prekata v valju sta sprva evakuirana. V prekatu brez vzmeti leži ampula s prostornino 0.5 dm^3 , ki vsebuje zrak pri 10^6 Pa in 100°C . Ampula počí. Kolikšen je tlak zraka, ko se vzpostavi ravnovesje? Kolikšna je sprememba specifične entropije zraka? Presek valja znaša 1 dm^2 , začetna dolžina prekata z ampulo pa 0.5 m. Zrak obravnavajte kot idealen dvoatomni plin s kilomolsko maso 29 kg/kmol !
- Pri temperaturi 113.3°C sta fazi α in β trdnega žvepla v ravnovesju pri tlaku 5×10^{-7} bar. Pri teh pogojih znašata gostoti omenjenih faz $\rho_\alpha = 2070 \text{ kg/m}^3$ in $\rho_\beta = 1960 \text{ kg/m}^3$, utajena toplota prehoda $\alpha \rightarrow \beta$ pa 25.6 kJ/kg . H kateri temperaturi se premakne ravnovesje, ko tlak naraste na 1288 bar? (i) Privzemite, da se spremembi entropije in prostornine ΔV pri prehodu $\alpha \rightarrow \beta$ s tlakom (p) in temperaturo (T) ne spreminjata! (ii) Privzemite, da je utajena toplota od p in T neodvisna ter da velja $\Delta V = \Delta V_0(1 - ap)$, kjer je $a = 1.55 \times 10^{-5} \text{ bar}^{-1}$, ΔV_0 pa označuje spremembo prostornine pri 113.3°C !
- V posodi s prostornino 0.1 dm^3 imamo enoatomni plin pri 400 bar in 300 K. Med gradniki plina deluje parska interakcija

$$\phi(r) = \begin{cases} \phi_0 \sin(\pi r/\sigma), & 0 \leq r < \sigma \\ 0, & r \geq \sigma \end{cases},$$

kjer je $\sigma = 0.2 \text{ nm}$ in $\phi_0 = 0.5 \text{ meV}$. Izračunajte 2. virialni koeficient takega plina! Kolikšen je njegov Joule-Kelvinov koeficient?

- V votlini s prostornino 1 cm^3 se nahaja idealni plin bozonov, ki jim v valovni sliki pripišemo disperzijsko relacijo $\omega = \alpha k^2$, kjer je $\alpha = 7.6 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. Izračunajte toplotno kapaciteto plina v nizkotemperaturni limiti pri 1 K ! Bozoni so brez spina; njihovo število se ne ohranja. — Kolikšna je pri omenjenih pogojih adiabatna stisljivost takega plina?

n	1	$\frac{3}{2}$	2	$\frac{5}{2}$	3	$\frac{7}{2}$	4	$\frac{9}{2}$	5
$\Gamma(n)$	1	$\frac{1}{2}\sqrt{\pi}$	1	$\frac{3}{4}\sqrt{\pi}$	2	$\frac{15}{8}\sqrt{\pi}$	6	$\frac{105}{16}\sqrt{\pi}$	24
$\zeta(n)$	∞	2.61238	$\frac{1}{6}\pi^2$	1.34149	1.20206	1.12673	$\frac{1}{90}\pi^4$	1.05471	1.03693

1. kolokvij

20. 11. 2020

1. Za koliko se pri 10 K spremeni specifična toplota pri konstantni poljski jakosti (c_H) paramagneta, za katerega velja Curiejev zakon, ko ga izpostavimo magnetnemu polju jakosti 2×10^7 A/m? Gostota paramagneta je 2000 kg/m^3 , izotermna susceptibilnost pri 10 K pa 10^{-2} . — S paramagnetom opravimo naslednji cikel: Najprej pri 10 K izotermno vklopimo polje jakosti 2×10^7 A/m, nato ga pri konstantni poljski jakosti segrejemo na 20 K, nakar polje izotermno izključimo in nato vzorec še ohladimo, da se vrnemo v začetno stanje. Določite izkoristek cikla! Privzemite, da je specifična toplota c_H v odsotnosti polja neodvisna od temperature in da znaša 1500 J/kgK .
2. Določite temperaturni koeficient prostorninskega raztezka vode pri kritični gostoti in temperaturi 1°C nad kritično! Uporabite poenostavljeno van der Waalsovo enačbo

$$\mathcal{X} = -\frac{3}{2}\mathcal{Y}^3 + 4\mathcal{Z} - 6\mathcal{Z}\mathcal{Y} !$$

V njej pomeni $\mathcal{X} = p/p_c - 1$, $\mathcal{Y} = V_M/V_M^c - 1$ in $\mathcal{Z} = T/T_c - 1$; kritični parametri za vodo so $p_c = 221.3 \text{ bar}$, $V_M^c = 0.0558 \text{ m}^3/\text{kmol}$ in $T_c = 374^\circ\text{C}$. Kilomolska masa vode znaša 18 kg/kmol . — Vodno paro pri stalni temperaturi previdno stisnemo, da dosežemo gostoto, ki je 2.91% pod kritično, ne da bi prišlo do faznega prehoda, in jo s tem podhladimo. Ko nato pri stalnih tlaku in temperaturi vzpostavimo stabilno ravnovesje, dobimo tekočo vodo z gostoto 4.82% nad kritično. Pri kateri temperaturi smo izvedli poskus? Koliko toplote na enoto mase je voda pri vzpostavitvi ravnovesja izmenjala z okolico?

2. kolokvij

19. 1. 2021

1. Izračunajte drugi virialni koeficient za neidealni plin, katerega gradnike veže parska interakcija

$$\phi(r) = \begin{cases} \phi_0 [1 - (r/\sigma)], & r \leq \sigma \\ 0, & r > \sigma \end{cases},$$

kjer je $\sigma = 5 \text{ nm}$ in $\phi_0 = 5 \times 10^{-4} \text{ eV}$! Temperatura plina znaša 27°C . — Za koliko se pri gostoti delcev $10^{24}/\text{m}^3$ tlak takega plina razlikuje od tlaka idealnega plina? Za koliko se pri omenjenih pogojih od rezultata za idealni plin razlikuje notranja energija plina, preračunana na delec?

2. Posoda, katere stene so premazane z adsorbirajočo snovjo, je napolnjena s plinastim argonom pri 27°C . Izračunajte kemijski potencial adsorbiranih atomov, če znaša relativna amplituda fluktuacij števila adsorbiranih atomov $\sigma_N/\langle N \rangle$ na $N_0 = 10^{18}$ neodvisnih adsorpcijskih centrih 2×10^{-7} ! Kolikšen je tlak plina v posodi? Vezavna energija adsorbiranega atoma je 0.1 eV , kilomolska masa argona 40 kg/kmol , atomi pa so brez vrtilne količine. — Za koliko % se spremeni povprečna relativna zasedenost adsorpcijskih centrov $\langle N \rangle/N_0$, če pri izračunani vrednosti kemijskega potenciala in 27°C upoštevamo še interakcije med adsorbiranimi atomi? Privzemite, da je v okviru približka povprečnega polja energija interakcije adsorbiranega atoma s sosedi enaka $\alpha \langle N \rangle/N_0$, kjer je $\alpha = 10 \text{ eV}$, in računajte v limiti šibkih interakcij ter majhne povprečne zasedenosti $\langle N \rangle/N_0$!

Izpit

19. 3. 2021

1. Obnašanje N_2O opišemo z Berthelotovo enačbo stanja

$$\left(p + \frac{a}{V_M^2 T}\right) (V_M - b) = RT,$$

kjer je $a = 87.2 \text{ Jm}^3\text{K/mol}^2$ in $b = 3.25 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{mol}$. Določite kritični tlak p_c ! Kolikšna je izotermna stisljivost N_2O pri kritični gostoti in tlaku $2p_c$?

2. Izotermno susceptibilnost kristalnega triglicin sulfata nad temperaturo faznega prehoda v feroelektrično fazo podaja zveza $\chi_T = a/(T - T_c)$, kjer je $a = 3900 \text{ K}$ in $T_c = 48^\circ\text{C}$. Za koliko se v električnem polju jakosti 10^5 V/m in pri temperaturi 50°C razlikujeta adiabatna in izotermna susceptibilnost kristala z gostoto 1690 kg/m^3 ? Specifična toplota c_P je enaka 1300 J/kgK .

3. Interakcijo med spinoma s_1 in s_2 opišemo s Pottsovo hamiltonko

$$H = \begin{cases} -J, & s_1 = s_2 \\ 0, & s_1 \neq s_2 \end{cases},$$

kjer je J konstanta, posamezen spin pa lahko zavzame eno izmed treh različnih vrednosti. Skicirajte fazni prostor sistema! Izračunajte njegovo toplotno kapaciteto za $J/k_B T = 2$! — Kako se spremeni zadnji rezultat, če ima vsak spin namesto treh na voljo dvanajst različnih stanj?

4. Določite temperaturo fotonkega plina v votlinici s prostornino 1 cm^3 , če je amplituda fluktuacij njegove energije (σ_E) enaka 2 MeV ! Kolikšna je tedaj amplituda fluktuacij števila fotonov (σ_N)?

$$\int_0^{\infty} \exp(-ax^2) dx = \frac{\sqrt{\pi}}{2\sqrt{a}}$$

$$\int_0^{\infty} x \exp(-ax^2) dx = \frac{1}{2a}$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x dx}{\exp(x) - 1} = \frac{\pi^2}{6}$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^2 dx}{\exp(x) - 1} \approx 2.404$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^3 dx}{\exp(x) - 1} = \frac{\pi^4}{15}$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^4 dx}{\exp(x) - 1} \approx 24.886$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^5 dx}{\exp(x) - 1} \approx \frac{8\pi^6}{63}$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^6 dx}{\exp(x) - 1} \approx 726.011$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x dx}{\exp(x) + 1} = \frac{\pi^2}{12}$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^2 dx}{\exp(x) + 1} \approx 1.803$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^3 dx}{\exp(x) + 1} = \frac{7\pi^4}{120}$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^4 dx}{\exp(x) + 1} \approx 23.331$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^5 dx}{\exp(x) + 1} = \frac{31\pi^6}{252}$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^6 dx}{\exp(x) + 1} \approx 726.011$$

$$\int_0^{\infty} x^2 \exp(-ax^2) dx = \frac{\sqrt{\pi}}{4\sqrt{a^3}}$$

$$\int_0^{\infty} x^3 \exp(-ax^2) dx = \frac{1}{2a^2}$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^2 \exp(x)}{(\exp(x) - 1)^2} dx = \frac{\pi^2}{3}$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^3 \exp(x)}{(\exp(x) - 1)^2} dx \approx 7.212$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^4 \exp(x)}{(\exp(x) - 1)^2} dx = \frac{4\pi^4}{15}$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^5 \exp(x)}{(\exp(x) - 1)^2} dx \approx 124.431$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^6 \exp(x)}{(\exp(x) - 1)^2} dx = \frac{16\pi^6}{21}$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^7 \exp(x)}{(\exp(x) - 1)^2} dx \approx 5082.08$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x \exp(x)}{(\exp(x) + 1)^2} dx = \ln(2)$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^2 \exp(x)}{(\exp(x) + 1)^2} dx = \frac{\pi^2}{6}$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^3 \exp(x)}{(\exp(x) + 1)^2} dx \approx 5.409$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^4 \exp(x)}{(\exp(x) + 1)^2} dx = \frac{7\pi^4}{30}$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^5 \exp(x)}{(\exp(x) + 1)^2} dx \approx 116.654$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^6 \exp(x)}{(\exp(x) + 1)^2} dx = \frac{31\pi^6}{42}$$

STATISTIČNA TERMODINAMIKA 2020/21

Izpit

2. 7. 2021

1. Dvoatomni idealni plin s kilomolsko maso 29 kg/kmol podvržemo reverzibilni krožni spremembi, v kateri ga najprej izohorno ohladimo, nato adiabatno stisnemo do začetne temperature in končno še izotermno razpnemo, da dosežemo začetno stanje. Določite izkoristek procesa, če znašata najvišja in najnižja dosežena temperatura 40°C in 20°C! Kolikšna je sprememba specifične entropije na izohori?
2. V neki snovi opišemo temperaturno odvisnost spremembe specifične entropije pri prehodu iz superprevodnega v normalno stanje z zvezo

$$\Delta s_{SN}(T) = s_0 \sinh(\alpha T) [2 - \cosh(\alpha T)],$$

kjer je $s_0 = 0.05$ J/kgK. V odsotnosti magnetnega polja pride do prehoda pri temperaturi $T_c = 7.2$ K; prehod je tedaj zvezen. Določite parameter α ! — Nad katero jakostjo magnetnega polja pri temperaturi $T_c/2$ superprevodna faza ni stabilna? Kolikšna je pri tej temperaturi razlika specifičnih toplot c_H obeh faz? Gostota snovi je 11300 kg/m³.

3. Izračunajte specifično toploto enorazsežnega degeneriranega elektronskega plina v kvantni žici pri 10 K! Kemijski potencial plina pri absolutni ničli znaša 5 eV. Uporabite nizkotemperaturni razvoj

$$\int_0^\infty h(E) f(E) dE = \int_0^\mu h(E) dE + \frac{\pi^2}{6} (k_B T)^2 \left. \frac{dh}{dE} \right|_\mu + \dots$$

kjer pomeni E energijo, $f(E)$ Fermijevo zasedbeno število, $h(E)$ zvezno in pri $E = \mu$ odvedljivo funkcijo, μ pa kemijski potencial!

4. Litrska toplotno izolirana posoda z vodno paro pri temperaturi 27°C in tlaku 0.001 mbar ima ventil s premerom 0.1 mm, ki je sprva zaprt. Zunaj posode je vakuum. Kolikšna je temperatura pare v posodi eno uro po odprtju ventila? Kolikšna je, ko iz posode uide 90% vsebine? Kilomolska masa vode znaša 18 kg/kmol.

Izpit

26. 8. 2021

1. Fotonski plin podvržemo naslednji reverzibilni krožni spremembi: Najprej mu izotermno podvojimo prostornino, nato ga izohorno ohladimo in na koncu adiabatno stisnemo, da se vrnemo v začetno stanje. Izračunajte izkoristek cikla! *Fizikalni poduk:* Gostota notranje energije fotonskega plina je $u = 4\sigma T^4/c$, kjer pomeni σ Stefanovo konstanto in c hitrost svetlobe. Tlak fotonskega plina je enak $u/3$.

2. Pri temperaturi T je dolžina polimernega vlakna, obremenjenega z natezno silo \mathcal{F} , enaka

$$\ell = \ell_0 \left[\frac{a\mathcal{F}}{T} - \frac{1}{3} \left(\frac{a\mathcal{F}}{T} \right)^3 \right],$$

kjer je $\ell_0 = 1 \mu\text{m}$ in $a = 9 \times 10^{13} \text{ K/N}$. Kolikšna je razlika toplotnih kapacitet $C_{\mathcal{F}} - C_{\ell}$, če je vlakno pri 27°C obremenjeno s silo 1 pN ? Za koliko se pri teh pogojih razlikujeta adiabatni in izotermni prožnostni modul vlakna, če mu pripišemo prečni presek 100 nm^2 in $C_{\ell} = 0.1 \text{ eV/K}$?

3. Interakcijo med spini v enorazsežni N -členski verigi opišemo s klasično Heisenbergovo hamiltonko

$$H = -J \sum_{i=1}^{N-1} \mathbf{s}_i \cdot \mathbf{s}_{i+1},$$

kjer je $J = 0.01 \text{ eV}$; \mathbf{s}_i so enotski vektorji, ki predstavljajo spine in so vsi vrtljivi v isti ravnini. Izračunajte toplotno kapaciteto 10^{10} -členske verige (a) pri 1000 K in (b) pri 1 K !

4. Atomi idealnega plina s kilomolsko maso 84 kg/kmol se adsorbirajo na stenah dolge pokončne cevi, pri čemer sta na posameznem adsorpcijskem mestu možna dva načina vezave — prvi z vezavno energijo 5 meV in drugi z vezavno energijo 10 meV . Temperaturi plina in cevi sta enaki in znašata 20°C . Relativna amplituda fluktuacij števila adsorbiranih atomov $\sigma_N/\langle N \rangle$ na zaplati z $N_0 = 10^{20}$ neodvisnimi adsorpcijskimi mesti je enaka 10^{-6} . Izračunajte ravnovesni tlak plina tik ob zaplati! Kolikšno vrednost $\sigma_N/\langle N \rangle$ namerimo na 1000 m višje ležeči zaplati z enakim N_0 ?

STATISTIČNA TERMODINAMIKA 2019/20

1. kolokvij

27. 11. 2019

1. Magnetni pretok skozi tuljavo s feromagnetnim jedrom je podan z

$$\phi = L_0 \left(1 + \frac{a}{T - T_c} \right) I,$$

kjer označuje I električni tok skozi tuljavo in T njeno temperaturo; $a = 4400$ K, $T_c = 17^\circ\text{C}$ in $L_0 = 0.01256$ Vs/A. Za koliko se pri temperaturi 27°C in toku 1 A razlikujeta toplotni kapaciteti tuljave C_I in C_ϕ ? Koliko toplote izmenja tuljava z okolico, ko po njej pri 27°C izotermno reverzibilno požememo električni tok 1 A? Ohmske izgube zanemarite. *Fizikalni poduk:* Diferencial magnetnega dela je enak $dW_m = Id\phi$.

2. Vodna para pri 2×10^5 Pa in 20°C teče skozi toplotno izolirano šobo v posodo, kjer je tlak 10^5 Pa. Izračunajte spremembo temperature pare pri prehodu skozi šobo! Kolikšna je pri tem sprememba specifične entropije in za koliko se dobljena vrednost razlikuje od rezultata za idealni plin? Obnašanje pare opišemo z enačbo stanja

$$pV_m = RT + p \left(b - \frac{a}{RT} \right),$$

v kateri sta p in T tlak in temperatura, V_m pa označuje kilomolsko prostornino. Računajte z $a = 5.5 \times 10^5$ Jm³/kmol² in $b = 0.03$ m³/kmol! Specifična toplota pare pri konstantnem tlaku je 2 kJ/kgK, kilomolska masa pa 18 kg/kmol. — Poskus ponovimo v homogenem električnem polju jakosti 10^9 V/m. Kolikšna je sprememba temperature v tem primeru? Dipolni moment pare na enoto mase je enak $p_e/m = \gamma E/T$, kjer je $\gamma = 3 \times 10^{-11}$ Asm²K/Vkg.

2. kolokvij

22. 1. 2020

1. Redek enoatomni plin nabitih delcev v valjastem kondenzatorju obvladuje potencial $\phi(r) = \phi_0 \ln(r/R)$, kjer je r razdalja od osi kondenzatorja in R polmer njegove zunanje elektrode; debelina notranje elektrode je zanemarljiva. Koliko toplote (na delec) je treba dovesti, da plin segrejemo s 300 K na 400 K? Računajte z $\phi_0 = 0.02$ eV! Pri kateri temperaturi sta kinetični in potencialni prispevek k specifični toploti plina enaka?
2. Kolikšna bi bila magnetizacija ultrarelativističnega elektronskega plina pri 10^5 K, če bi ga lahko izpostavili magnetnemu polju z gostoto 2×10^{10} T in bi tedaj njegov kemijski potencial znašal 10 MeV? Kolikšen bi bil tlak takšnega plina? Za koliko bi se razlikoval od vrednosti, dobljene v odsotnosti polja? *Fizikalni poduk:* Kinetično energijo ultrarelativističnih elektronov določa zveza $E = cp$, kjer je c hitrost svetlobe, p pa gibalna količina.

STATISTIČNA TERMODINAMIKA 2019/20

Izpit

29. 5. 2020

1. V pokončnem zaprtem valju s presekom 1 dm^2 in višino 1 m imamo plin pri 10^3 Pa in 20°C . Ob zgornjem koncu valja zadržujemo tanek dobro tesneč bat z maso 5 kg . V nekem trenutku bat izpustimo, da pade, pri čemer prejme plin iz okolice 10 J toplote. Kolikšna je temperatura plina v valju takoj zatem, ko se bat umiri? Za koliko se pri poskusu spremeni entropija plina? Kilomolska masa plina je 29 kg/kmol , specifična toplota pri stalni prostornini 720 J/kgK .
2. Izračunajte temperaturni koeficient prostorninskega raztezka za balonček s tanko gumijasto steno, ki vsebuje $V = 1 \text{ dm}^3$ zraka pri 20°C in zunanjem tlaku $p = 10^4 \text{ Pa}$! Gumijasti opni pripišemo koeficient površinske napetosti $\gamma = 370 \text{ N/m}$. Za koliko se pri navedenih pogojih razlikujeta toplotni kapaciteti sistema $C_p - C_V$? *Fizikalni poduk:* Tlak v balončku s polmerom r je od zunanjega večji za $2\gamma/r$. Privzemite, da se prostornina gume ne spreminja! Kilomolska masa zraka je 29 kg/kmol .
3. Preprost elastomer si predstavljamo kot idealno gibek enorazsežen polimer: kót med sosednima členoma je enak bodisi 0 bodisi π , energiji obeh načinov vezave pa sta enaki. Elastomer z 10^6 členi pri stalni temperaturi 300 K reverzibilno obremenimo z natezno silo 1 pN . Kolišna je povprečna dolžina elastomera, če je posamezen člen dolg 1 nm ? Koliko toplote izmenja elastomer z okolico med obremenjevanjem?
4. Izračunajte tlak nedegeneriranega relativističnega dvorazsežnega elektronskega plina s temperaturo $5 \times 10^9 \text{ K}$ in kemijskim potencialom -10 MeV ! Plin pri nespremenjenih temperaturi in tlaku izpostavimo magnetnemu polju z gostoto 10^5 T . Za koliko se pri tem spremeni kemijski potencial plina?

STATISTIČNA TERMODINAMIKA 2019/20

Izpit

3. 7. 2020

1. Dvoatomni idealni plin podvržemo naslednji reverzibilni krožni spremembi: Plin najprej izobarno segrejemo, nato ga adiabatno razpnemo, zatem pa še izotermno stisnemo, da dosežemo začetno stanje. Skicirajte cikel na diagramu $p-V$ in določite njegov izkoristek! Razmerje največje in najmanjše prostornine v ciklu je enako 2. — Kolikšna je sprememba specifične entropije plina na izobari, če znaša njegova specifična toplota pri konstantni prostornini 720 J/kgK ?

2. Magnetni pretok skozi tuljavo s feromagnetnim jedrom je podan z

$$\phi = L_0 \left(1 + \frac{a}{T - T_c} \right) I,$$

kjer označuje I električni tok skozi tuljavo in T njeno temperaturo; $a = 4400 \text{ K}$, $T_c = 17^\circ\text{C}$ in $L_0 = 0.01256 \text{ Vs/A}$. Kolikšna je pri 27°C razlika odvodov

$$\left(\frac{\partial \phi}{\partial I} \right)_S - \left(\frac{\partial \phi}{\partial I} \right)_T,$$

če teče skozi tuljavo tok 1 A , njena toplotna kapaciteta pri stalnem toku pa znaša 400 J/kgK ?

3. Interakcijo med spini v enorazsežni N -členski verigi opišemo z Lebwohl-Lasherjevo hamiltonko

$$H = -\epsilon \sum_{i=1}^{N-1} (\mathbf{u}_i \cdot \mathbf{u}_{i+1})^2,$$

kjer je $\epsilon = 0.02 \text{ eV}$; \mathbf{u}_i so enotski vektorji, ki predstavljajo spine in so vsi vrtljivi v isti ravnini. Izračunajte toplotno kapaciteto 100-členske verige pri 2000 K ! Kolikšna je sprememba entropije, ko verigo segrejemo z 2000 K na 3000 K ?

4. Za mrežna nihanja v neki trdnini velja disperzijska relacija $\omega \propto \sqrt{k}$. Kolikšna je pri 1 K energija mrežnih nihanj, preračunana na fonon?

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\zeta(n)$	∞	$\frac{\pi^2}{6}$	1.20206	$\frac{\pi^4}{90}$	1.03693	$\frac{\pi^6}{945}$	1.00835	$\frac{\pi^8}{9450}$	1.00201	$\frac{\pi^{10}}{93555}$

STATISTIČNA TERMODINAMIKA 2019/20

Izpit

27. 8. 2020

1. Dvoatomni idealni plin podvržemo naslednji reverzibilni krožni spremembi: Plin najprej izobarno segrejemo, nato ga adiabatno razpnemo, zatem pa še izotermno stisnemo, da dosežemo začetno stanje. Skicirajte cikel na diagramu $p-V$ in določite njegov izkoristek! Razmerje največje in najmanjše prostornine v ciklu je enako 2. — Kolikšna je sprememba specifične entropije plina na izobari, če znaša njegova specifična toplota pri konstantni prostornini 720 J/kgK ?
2. V faznem diagramu nekega modelskega tekočega kristala naletimo na trdno, nematsko in izotropno fazo. Podatki o njihovih gostotah (označenih po vrsti z ρ_T , ρ_N in ρ_I), ko so v medsebojnem ravnovesju pri danem tlaku p in temperaturi T , so zbrani v tabeli:

p/p_0	T/T_0	ρ_T/ρ_0	ρ_N/ρ_0	ρ_I/ρ_0
1.8	0.75	0.328	—	0.288
2.7	0.85	0.336	0.305	0.298
3.7	0.95	0.345	0.320	—

Skicirajte fazni diagram in določite utajeni toploti prehodov iz trdne v nematsko ter iz trdne v izotropno fazo v trojni točki! Konstante p_0 , T_0 in ρ_0 so znane. — Za koliko se v trojni točki razlikujeta specifični toploti nematske in izotropne faze? Privzemite, da utajene toplote v obravnavanem območju niso odvisne od temperature.

3. V razredčeno suspenzijo mehkih kroglic z gostoto $10^{16}/\text{m}^3$ sta potopljeni ravni vzporedni okrogli plošči s polmerom 5 cm, razmaknjeni za 40 nm. Suspenzija s ploščama se nahaja v valjasti posodi s polmerom 10 cm in višino 20 cm; simetrijske osi plošč in posode sovpadajo. Energija interakcije med kroglico in ploščo je enaka

$$\phi(d) = \begin{cases} \phi_0, & d \leq \sigma \\ 0, & d > \sigma \end{cases},$$

kjer je $\sigma = 50 \text{ nm}$ in $\phi_0 = 5 \times 10^{-3} \text{ eV}$, d pa označuje razdaljo med središčem kroglice in ploščo. Kolikšna sila deluje med ploščama pri 20°C ? Težnost zanemarite. — Kolikšna je sila, če sistem vrtimo okoli simetrijske osi s kotno hitrostjo 0.5 s^{-1} ? Masa posamezne kroglice je $3 \times 10^{-18} \text{ kg}$.

4. V posodi s prostornino 1 m^3 imamo dvoatomni plin pri 1 mbar in 25 K. Izračunajte spremembo rotatorske entropije, ko segrejemo plin s 25 K na 30 K! Značilna rotatorska temperatura $\hbar^2/2Ik_B$ znaša 86 K. (Tu pomeni I vztrajnostni moment za vrtenje molekule okoli prečne simetrijske osi.) — Kolikšen bi bil rezultat pri segrevanju iste količine plina s 1500 K na 1505 K?

1. kolokvij

30. 11. 2018

1. Dolžina traku iz tekočerkristalnega elastomera ℓ , ki ga pri temperaturi T napenja sila \mathcal{F} , je podana z

$$\frac{\ell}{\ell_0} = 1 + \frac{\mathcal{F}}{\mathcal{F}_0} + \left(1 - \frac{\mathcal{F}}{\mathcal{F}_0}\right) \tanh\left(1 - \frac{T}{T_0}\right),$$

kjer je $\ell_0 = 0.4$ m, $T_0 = 80^\circ\text{C}$ in $\mathcal{F}_0 = 0.1$ N. Za koliko se pri 80°C razlikujeta toplotni kapaciteti traku $C_{\mathcal{F}}$ in C_ℓ , ko je ta obremenjen s silo 0.3 N? — Trak, ki je bil sprva neobremenjen, izotermno obremenimo s silo $10\mathcal{F}_0$. Pri kateri temperaturi moramo izvesti poskus, da bo sprememba entropije traku največja? Kolikšna je ta sprememba?

2. Določite izotermno stisljivost N_2O pri kritični gostoti in temperaturi 1°C nad kritično! Uporabite poenostavljeno Berthelotovo enačbo

$$\mathcal{X} = -\frac{3}{2}\mathcal{Y}^3 + 7\mathcal{Z} - 12\mathcal{Z}\mathcal{Y} !$$

V njej pomeni $\mathcal{X} = p/p_c - 1$, $\mathcal{Y} = V_M/V_M^c - 1$ in $\mathcal{Z} = T/T_c - 1$; kritični parametri za N_2O so $p_c = 7.24$ MPa, $V_M^c = 0.0975$ m³/kmol in $T_c = 36.4^\circ\text{C}$. Kilomolska masa N_2O znaša 44 kg/kmol. — Izračunajte, za koliko se pri temperaturi 1°C pod kritično razlikujeta ravnovesni gostoti kapljevinskega N_2O in njegove pare! Kolikšna je pri tej temperaturi razlika specifičnih entropij omenjenih faz?

2. kolokvij

22. 1. 2019

1. Štiri spine, ki ležijo v ogliščih kvadrata, veže Isingova interakcija s hamiltonko

$$H = -J \sum_{\langle i,j \rangle} s_i s_j,$$

v kateri teče vsota po parih najbližjih sosedov; s_i lahko pri tem zavzame vrednosti $\pm 1/2$. Kolikšna je pri 300 K povprečna energija sistema $\langle E \rangle$ in kolikšne so njene fluktuacije (σ_E)? Računajte z $J = 0.02$ eV! Pri kateri temperaturi znaša σ_E polovico $|\langle E \rangle|$? *Fizikalni poduk:* Velja $\sigma_E = T\sqrt{k_B C}$, kjer pomeni C toplotno kapaciteto sistema.

2. Na razsežni vodni gladini plavajo trde ploščice v obliki polkroga s polmerom $R = 100$ nm, ki jih obravnavamo kot redek dvorazsežni plin. Na gladini plavata tudi dolgi vzporedni tanki palici na medsebojni razdalji h . Kako je površina ploščicam nedostopne gladine odvisna od kota med njihovo simetrijsko osjo in normalo palic za $h < R$ in $h > 2R$? — Kolikšno silo med metriskima odsekoma palic inducirajo ploščice pri 300 K, če sta palici 80 nm (140 nm) vsaksebi? Gostota ploščic je $10^8/\text{m}^2$.

Izpit

22. 2. 2019

1. Dvoatomni idealni plin s kilomolsko maso 29 kg/kmol podvržemo reverzibilni krožni spremembi, v kateri ga najprej izohorno segrejemo, nato adiabatno razpnemo do začetne temperature in končno še izotermno stisnemo, da dosežemo začetno stanje. Določite izkoristek procesa, če znašata najvišja in najnižja dosežena temperatura 100°C in 20°C! Kolikšna je sprememba specifične entropije na izohori?
2. Dolžina traku iz tekočokristalnega elastomera ℓ , ki ga pri temperaturi T napenja sila \mathcal{F} , je podana z

$$\frac{\ell}{\ell_0} = 1 + \frac{\mathcal{F}}{\mathcal{F}_0} + \left(1 - \frac{\mathcal{F}}{\mathcal{F}_0}\right) \tanh\left(1 - \frac{T}{T_0}\right),$$

kjer je $\ell_0 = 0.4$ m, $T_0 = 80^\circ\text{C}$ in $\mathcal{F}_0 = 0.1$ N. Kolikšen je pri 80°C temperaturni koeficient dolžinskega raztezka traku, obremenjenega s silo 0.3 N? — Trak, ki je bil sprva neobremenjen pri 80°C , izotermno reverzibilno obremenimo s silo 1 N. Koliko toplote izmenja z okolico? Pri kateri temperaturi bi morali izvesti omenjeni poskus, da bi bilo izmenjane toplote največ? *Navodilo: Privzemite, da se iskana temperatura ne razlikuje znatno od T_0 !*

3. Dolg valjast asteroid s polmerom $R = 300$ km ima redko izotermno ozračje s temperaturo 100 K. Potencialna energija posamezne molekule ozračja na razdalji ρ od osi asteroida je $E_p = \alpha \ln(\rho/R)$, kjer je $\alpha = 4 \times 10^{-21}$ J. Določite temperaturno območje, v katerem fazni integral ozračja konvergira! Kolikšni sta povprečna potencialna energija ozračja in pripadajoča specifična toplota, preračunani na molekulo?
4. Izračunajte izotermno stisljivost dvorazsežnega plina prevodniških elektronov pri 15 K! Kemijski potencial plina pri absolutni ničli znaša 5.5 eV. Uporabite nizkotemperaturni razvoj

$$\int_0^\infty h(E)f(E)dE = \int_0^\mu h(E)dE + \frac{\pi^2}{6}(k_B T)^2 \frac{dh}{dE} \Big|_\mu + \dots$$

kjer pomeni E energijo, $f(E)$ Fermijevo zasedbeno število, $h(E)$ zvezno in pri $E = \mu$ odvedljivo funkcijo, μ pa kemijski potencial! — Za koliko se pri 15 K razlikujeta adiabatna in izotermna stisljivost plina?

Izpit

11. 6. 2019

1. Fotonski plin podvržemo reverzibilni krožni spremembi, ki jo sestavljata dve adiabati in dve izohori. Izračunajte izkoristek takega toplotnega stroja, če je razmerje največje in najmanjše prostornine v ciklu enako 3! Gostota notranje energije fotonskega plina je $u = 4\sigma T^4/c$, kjer pomeni σ Stefanovo konstanto in c hitrost svetlobe. Tlak fotonskega plina je enak $u/3$.
2. V faznem diagramu nekega modelskega tekočega kristala naletimo na trdno, nematsko in izotropno fazo. Podatki o njihovih gostotah (označenih po vrsti z ρ_T , ρ_N in ρ_I), ko so v medsebojnem ravnovesju pri danem tlaku p in temperaturi T , so zbrani v tabeli:

p/p_0	T/T_0	ρ_T/ρ_0	ρ_N/ρ_0	ρ_I/ρ_0
1.8	0.75	0.328	—	0.288
2.7	0.85	0.336	0.305	0.298
3.7	0.95	0.345	0.320	—

Skicirajte fazni diagram in določite utajeni toploti prehodov iz trdne v nematsko ter iz trdne v izotropno fazo v trojni točki! Konstante p_0 , T_0 in ρ_0 so znane. — Za koliko se v trojni točki razlikujeta specifični toploti nematske in izotropne faze? Privzemite, da utajene toplote v obravnavanem območju niso odvisne od temperature.

3. Štiri spine, ki ležijo v ogliščih kvadrata, veže Isingova interakcija s hamiltonko

$$H = -J \sum_{\langle i,j \rangle} s_i s_j - K \sum_{i=1}^4 s_i,$$

v kateri opisuje prva vsota interakcijo med spini in teče po parih najbližjih sosedov, druga vsota pa pomeni sklopitev spinov z zunanjim poljem; s_i lahko pri tem zavzame vrednosti $\pm 1/2$. Kolikšna je sprememba povprečne energije sistema, ko pri 300 K izotermno reverzibilno vključimo magnetno polje? Koliko toplote izmenja pri tem sistem z okolico? Računajte z $J = 20$ meV in $K = 5.2$ meV!

4. Podolgovato makromolekulo, ki nosi električni dipolni moment 10^{-28} Asm vzdolž svoje dolge osi, si predstavljamo kot togo paličico dolžine 300 nm. V razredčeno raztopino takih molekul potopimo vzporedni ravni plošči, ki sta razmaknjena za 200 nm. Za koliko se spremeni sila med ploščama (na enoto površine), ko pri stalni temperaturi 300 K vključimo električno polje jakosti 10^5 V/m, usmerjeno pravokotno nanju? V m^3 raztopine je 10^{18} molekul. *Namig: Preverite, ali lahko računate v limiti šibke sklopitve s poljem!*

Izpit

20. 8. 2019

1. Dvoatomni idealni plin s kilomolsko maso 29 kg/kmol podvržemo reverzibilni krožni spremembi, v kateri ga najprej izohorno segrejemo, nato adiabatno razpnemo do začetne temperature in končno še izotermno stisnemo, da dosežemo začetno stanje. Določite izkoristek procesa, če znašata najvišja in najnižja dosežena temperatura 100°C in 20°C! Kolikšna je sprememba specifične entropije na izohori?

2. Magnetizacijo neke paramagnetne snovi opisuje zveza

$$M(T, H) = M_0 \tanh\left(\frac{aH}{T}\right),$$

kjer pomeni T temperaturo in H magnetno poljsko jakost, M_0 in $a = 8.4 \times 10^{-7}$ Km/A pa sta konstanti. Določite vrednost M_0 , če je izotermna susceptibilnost vzorca pri $T = -250^\circ\text{C}$ in $H = 10^7$ A/m enaka 3×10^{-4} ! Za koliko se pri omenjenih pogojih razlikujeta toplotni kapaciteti C_M in C_H vzorca s prostornino 1 cm^3 ? Koliko dela opravimo/prejmemo, ko vzorec pri stalni poljski jakosti 10^7 A/m segrejemo z -250°C na -200°C ?

3. Gradnike neidealnega plina veže pearska interakcija

$$\phi(r) = \begin{cases} \phi_0 [1 - (r/\sigma)], & r \leq \sigma \\ 0, & r > \sigma \end{cases},$$

kjer je $\sigma = 5$ nm in $\phi_0 = 3 \times 10^{-4}$ eV. Pri temperaturi 27°C je v m^3 plina 10^{24} gradnikov. Za koliko % se temperaturni koeficient prostorninskega raztezka razlikuje od rezultata za idealni plin? Izračunajte Joule-Kelvinov koeficient takega plina!

4. Model dvorazsežne trdnine predstavlja obsežna kvadratna mreža $N \times N$ atomov, v kateri so najbližji sosedje povezani med seboj. Lastne frekvence transverzalnih valovanj, ki se širijo po taki mreži, so

$$\omega(k_x, k_y) = \omega_0 \sqrt{2(2 - \cos k_x a - \cos k_y a)},$$

in so odvisne od komponent valovnega vektorja $k_\alpha = 2\pi n_\alpha / Na$ ($\alpha = x, y$), kjer je n_α celo število med $-N/2$ in $N/2$ ter $a = 1$ nm razdalja med sosednima atomoma. Za koliko se specifična toplota trdnine (na delec) pri 300 K razlikuje od vrednosti, dobljene v klasični limiti? Računajte z $\omega_0 = 10^{12} \text{ s}^{-1}$!

1. kolokvij

24. 11. 2017

1. Zvezo med gostoto litija ρ , tlakom p in temperaturo T podaja zveza

$$\left(\frac{\rho}{\rho_0}\right)^2 = 1 + \frac{p}{p_0} - \frac{T}{T_0},$$

v kateri je $\rho_0 = 530 \text{ kg/m}^3$, $p_0 = 65 \text{ kPa}$ in $T_0 = 10^4 \text{ K}$. Kolikšna je pri 20°C in gostoti, ki za 5% presega ρ_0 , razlika specifičnih toplot $c_p - c_V$? Za koliko se pri omenjenih pogojih razlikujeta adiabatna in izotermna stisljivost? Specifična toplota litija pri konstantnem tlaku je 3560 J/kgK .

2. V neki iterbijevi spojini pride do faznega prehoda med fazo \mathcal{F} s temperaturno neodvisno magnetno susceptibilnostjo χ_0 in fazo \mathcal{L} , v kateri je susceptibilnost pri temperaturi T enaka C/T . Magnetna poljska jakost, nad katero je pri dani temperaturi stabilna faza \mathcal{L} , pod njo pa faza \mathcal{F} , znaša

$$H_c(T) = H_0 \sqrt{1 - \frac{T^2}{T_0^2}},$$

kjer je $H_0 = 3 \times 10^7 \text{ A/m}$ in $T_0 = 42 \text{ K}$. Za koliko se razlikujeta specifični toploti c_H faz \mathcal{L} in \mathcal{F} , ko sta ti fazi v ravnovesju pri 30 K ? Računajte s $\chi_0 = 0.005$ in $C = 1 \text{ K}$! Gostota spojine v obeh fazah je 8400 kg/m^3 . — V termostatu imamo pri 30 K in v stalnem magnetnem polju jakosti $4 \times 10^7 \text{ A/m}$ 100 g spojine. Koliko toplote izmenja z okolico vzorec, ki je sprva v metastabilni fazi \mathcal{F} , ob vzpostavitvi ravnovesja?

2. kolokvij

24. 1. 2018

1. Izračunajte drugi virialni koeficient za neidealni plin, katerega gradnike veže parska interakcija

$$\phi(r) = \begin{cases} \phi_0 \cos(\pi r/\sigma), & r \leq \sigma \\ 0, & r > \sigma \end{cases},$$

kjer je $\sigma = 5$ nm in $\phi_0 = 5 \times 10^{-4}$ eV! Temperatura plina znaša 27°C , številska gostota njegovih gradnikov je $10^{24}/\text{m}^3$. Za koliko se temperaturni koeficient prostorninskega raztezka pri navedenih pogojih razlikuje od rezultata za idealni plin? Upravičite vse potrebne približke!

2. Za koliko % se tlak dvorazsežnega plina prevodniških elektronov pri 15 K razlikuje od rezultata pri absolutni ničli? Kemijski potencial plina pri absolutni ničli znaša 5.5 eV. Uporabite nizkotemperaturni razvoj

$$\int_0^\infty h(E)f(E)dE = \int_0^\mu h(E)dE + \frac{\pi^2}{6}(k_B T)^2 \left. \frac{dh}{dE} \right|_\mu + \dots$$

kjer pomeni E energijo, $f(E)$ Fermijevo zasedbeno število, $h(E)$ zvezno in pri $E = \mu$ odvedljivo funkcijo, μ pa kemijski potencial! — Kolikšna je pri 15 K entropija kvadratnega metra takega plina?

Izpit

6. 2. 2018

1. Enoatomni idealni plin podvržemo krožni spremembi, sestavljeni iz dveh izohor in iz dveh izoterm. Določite izkoristek toplotnega stroja, ki jo opravlja, če znašata najvišja in najnižja temperatura v ciklu 100°C in 20°C , razmerje največje in najmanjše prostornine plina pa je enako 3! — Kako se rezultat spremeni, če plin nadomestimo z dvoatomnim?

2. Zvezo med gostoto litija ρ , tlakom p in temperaturo T podaja zveza

$$\left(\frac{\rho}{\rho_0}\right)^2 = 1 + \frac{p}{p_0} - \frac{T}{T_0},$$

v kateri je $\rho_0 = 530 \text{ kg/m}^3$, $p_0 = 65 \text{ kPa}$ in $T_0 = 10^4 \text{ K}$. Kilogramski vzorec litija z začetno gostoto ρ_0 pri stalni temperaturi 20°C reverzibilno stisnemo, da se njegova gostota poveča za 5%. Kolikšna je sprememba notranje energije vzorca? Za koliko se je pri poskusu spremenila specifična toplota vzorca pri konstantni prostornini?

3. Idealni plin molekul, ki nosijo električni kvadrupolni moment q , izpostavimo nehomogenemu električnemu polju E s konstantnim gradientom. Orientacijska energija posamezne molekule je tedaj enaka $-\frac{1}{2}q|\nabla E|\cos^2\theta$, kjer pomeni θ kot med simetrijsko osjo molekule in gradientom polja. Koliko toplote izmenja z okolico 10^{26} molekul plina, ko pri 400 K izotermno reverzibilno izključimo električno polje? Za koliko se pri tem spremeni ureditveni parameter $\mathcal{S} = \frac{3}{2}\langle\cos^2\theta\rangle - \frac{1}{2}$? Računajte z $|\nabla E| = 10^7 \text{ V/m}^2$ in $q = 2 \times 10^{-39} \text{ Asm}^2$! *Namig: Preverite, ali lahko računate v visokotemperaturni limiti! Potrebne razvoje zapišite do najnižjega relevantnega reda!*
4. Disperzijska relacija mrežnih nihanj v neki trdnini je $\omega = \alpha\sqrt{k}$; $\alpha = 2 \times 10^7 \sqrt{\text{m/s}}$. Izračunajte prispevek mrežnih nihanj k specifični toploti vzorca velikosti 1 dm^3 pri 1 K! Kolikšne so tedaj fluktuacije števila fononov (σ_N)?

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\zeta(n)$	∞	$\frac{\pi^2}{6}$	1.20206	$\frac{\pi^4}{90}$	1.03693	$\frac{\pi^6}{945}$	1.00835	$\frac{\pi^8}{9450}$	1.00201	$\frac{\pi^{10}}{93555}$

$$\int_0^{\infty} \exp(-ax^2) dx = \frac{\sqrt{\pi}}{2\sqrt{a}}$$

$$\int_0^{\infty} x \exp(-ax^2) dx = \frac{1}{2a}$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x dx}{\exp(x) - 1} = \frac{\pi^2}{6}$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^2 dx}{\exp(x) - 1} \approx 2.404$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^3 dx}{\exp(x) - 1} = \frac{\pi^4}{15}$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^4 dx}{\exp(x) - 1} \approx 24.886$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^5 dx}{\exp(x) - 1} \approx \frac{8\pi^6}{63}$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^6 dx}{\exp(x) - 1} \approx 726.011$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x dx}{\exp(x) + 1} = \frac{\pi^2}{12}$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^2 dx}{\exp(x) + 1} \approx 1.803$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^3 dx}{\exp(x) + 1} = \frac{7\pi^4}{120}$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^4 dx}{\exp(x) + 1} \approx 23.331$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^5 dx}{\exp(x) + 1} = \frac{31\pi^6}{252}$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^6 dx}{\exp(x) + 1} \approx 726.011$$

$$\int_0^{\infty} x^2 \exp(-ax^2) dx = \frac{\sqrt{\pi}}{4\sqrt{a^3}}$$

$$\int_0^{\infty} x^3 \exp(-ax^2) dx = \frac{1}{2a^2}$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^2 \exp(x)}{(\exp(x) - 1)^2} dx = \frac{\pi^2}{3}$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^3 \exp(x)}{(\exp(x) - 1)^2} dx \approx 7.212$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^4 \exp(x)}{(\exp(x) - 1)^2} dx = \frac{4\pi^4}{15}$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^5 \exp(x)}{(\exp(x) - 1)^2} dx \approx 124.431$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^6 \exp(x)}{(\exp(x) - 1)^2} dx = \frac{16\pi^6}{21}$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^7 \exp(x)}{(\exp(x) - 1)^2} dx \approx 5082.08$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x \exp(x)}{(\exp(x) + 1)^2} dx = \ln(2)$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^2 \exp(x)}{(\exp(x) + 1)^2} dx = \frac{\pi^2}{6}$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^3 \exp(x)}{(\exp(x) + 1)^2} dx \approx 5.409$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^4 \exp(x)}{(\exp(x) + 1)^2} dx = \frac{7\pi^4}{30}$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^5 \exp(x)}{(\exp(x) + 1)^2} dx \approx 116.654$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^6 \exp(x)}{(\exp(x) + 1)^2} dx = \frac{31\pi^6}{42}$$

Izpit

29. 8. 2018

1. Enoatomni idealni plin podvržemo krožni spremembi, sestavljeni iz dveh izohor in iz dveh izoterm. Določite izkoristek toplotnega stroja, ki jo opravlja, če znašata najvišja in najnižja temperatura v ciklu 100°C in 20°C , razmerje največje in najmanjše prostornine plina pa je enako 3! — Kako se rezultat spremeni, če plin nadomestimo z dvoatomnim?
2. V neki snovi opišemo temperaturno odvisnost spremembe specifične entropije pri prehodu iz superprevodnega v normalno stanje z zvezo $\Delta s_{SN}(T) = s_0 \sin(\alpha T)$, kjer je $s_0 = 0.05 \text{ J/kgK}$. V odsotnosti magnetnega polja pride do prehoda pri temperaturi $T_c = 7.2 \text{ K}$; prehod je tedaj zvezen. Določite parameter α ! Nad katero jakostjo magnetnega polja superprevodna faza ni stabilna pri nobeni temperaturi? Pri kateri temperaturi doseže razlika specifičnih toplot c_H obeh faz ob prehodu ekstrem? Gostota snovi je 11300 kg/m^3 .
3. V dvorazsežnem elektronskem plinu pri absolutni ničli je povprečna kinetična energija, preračunana na delec, enaka 0.59 MeV . Izračunajte kemijski potencial plina!
4. Jašek z globino 10 km in presekom 1 dm^2 je napolnjen z argonom pri stalni temperaturi 250 K . Zunaj jaška, ki je na vrhu odprt, je vakuum. Kolikšen številski tok atomov argona uhaja iz jaška v trenutku, ko je na njegovem dnu tlak 0.01 Pa ? Čez koliko časa uideta iz jaška dve tretjini plina? Privzemite, da se težnostni pospešek z višino ne spreminja in da znaša 20 m/s^2 ! Kilomolska masa argona je 40 kg/kmol , polmer njegovih atomov pa ocenimo na 0.22 nm .

1. kolokvij

18. 11. 2016

1. Pri temperaturi T je naboj na ploščatem kondenzatorju, na katerem je napetost ϕ , enak

$$e(T, \phi) = \frac{\epsilon_0 A \phi}{d} \exp(\alpha - \beta T),$$

kjer je $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$ As/Vm, $\alpha = 14.48$ in $\beta = 12.85 \times 10^{-3}$ K⁻¹. Površina plošč kondenzatorja je $A = 1$ dm², razdalja med njima $d = 2$ cm. Kolikšna je pri 120°C razlika toplotnih kapacitet $C_\phi - C_e$, če je na kondenzator priključena napetost 10 kV? — Koliko toplote izmenja kondenzator z okolico, ko pri 120°C reverzibilno dvignemo napetost z 0 kV na 10 kV?

2. V jeklenki s toplotno kapaciteto sten 5 J/K in prostornino 1 dm³ je 20 g CO₂ pri 20°C. Jeklenka, ki se nahaja v evakuirani in toplotno izolirani posodi s prostornino 1 m³, nenadoma počí. Za koliko se pri tem spremeni temperatura plina? Obnašanje plina opišemo z enačbo stanja

$$pV_m = RT + p \left(b - \frac{a}{RT} \right),$$

v kateri sta p in T tlak in temperatura, V_m pa označuje kilomolsko prostornino. Računajte z $a = 3.6 \times 10^5$ Jm³/kmol² in $b = 0.043$ m³/kmol ter privzemite, da je neidealnost plina šibka! Kilomolska masa CO₂ je 44 kg/kmol, specifična toplota pri konstantni prostornini 640 J/kgK. — Poskus ponovimo v magnetnem polju jakosti 10⁷ A/m. Kolikšna je sprememba temperature v tem primeru, če so stene jeklenke izdelane iz 0.1 dm³ paramagnetne snovi s susceptibilnostjo $\chi = K/T$, kjer je $K = 100$ K?

2. kolokvij

25. 1. 2017

1. En konec gibkega polimera, sestavljenega iz 10^3 monomerov z dolžino 1 nm, je pritrjen, na drugega pa je obešena utež, na katero deluje sila teže 5 pN. Posamezen monomer se lahko v polimer veže tako, da na poti vzdolž polimera kaže navzdol, navzgor ali vodoravno — pri slednji orientaciji sta možna 2 načina vezave. Temperatura polimera je 300 K. Izračunajte povprečno dolžino polimera! Kolikšen je temperaturni koeficient dolžinskega raztezka?
2. Disperzijska relacija longitudinalnih mrežnih nihanj v neki enorazsežni trdnini je $\omega(k) = \omega_0 + \alpha k^2$, kjer je $\omega_0 = 10^{13} \text{ s}^{-1}$ in $\alpha = 30 \text{ m}^2/\text{s}$. Koliko fononov na dolžinsko enoto je v trdnini pri 10 K? Kolikšen je tedaj fononski prispevek k toplotni kapaciteti metrskega odseka trdnine? *Namig: Računajte v nizkotemperaturni limiti!*

Izpit

24. 2. 2017

1. Obnašanje N_2O opišemo z Berthelotovo enačbo stanja

$$\left(p + \frac{a}{V_M^2 T}\right) (V_M - b) = RT,$$

kjer je $a = 87.2 \text{ Jm}^3\text{K/mol}^2$ in $b = 3.25 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{mol}$. Določite kritično temperaturo! Kolikšen je temperaturni koeficient prostorninskega raztezka N_2O pri kritični gostoti in temperaturi 1°C nad kritično?

2. Pri temperaturi T je naboj na ploščatem kondenzatorju, na katerem je napetost ϕ , enak

$$e(T, \phi) = \frac{\epsilon_0 A \phi}{d} \exp(\alpha - \beta T),$$

kjer je $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ As/Vm}$, $\alpha = 14.48$ in $\beta = 12.85 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$. Površina plošč kondenzatorja je $A = 1 \text{ dm}^2$, razdalja med njima $d = 2 \text{ cm}$. Kolikšna je pri 120°C razlika odvodov

$$\left(\frac{\partial e}{\partial \phi}\right)_S - \left(\frac{\partial e}{\partial \phi}\right)_T,$$

če je na kondenzator priključena napetost 10 kV , toplotna kapaciteta kondenzatorja pri konstantni napetosti pa znaša 50.7 J/K ?

3. Izračunajte povprečno energijo delca v dvorazsežnem nedegeneriranem idealnem plinu pri $5 \times 10^9 \text{ K}$! Energija delca z gibalno količino p je $E = \sqrt{m^2 c^4 + p^2 c^2}$, kjer pomeni $m = 0.511 \text{ MeV}/c^2$ njegovo mirovno maso in c hitrost svetlobe. — Kolikšna je sprememba specifične entropije plina, ko plin pri stalni prostornini segrejemo s $5 \times 10^{12} \text{ K}$ na $6 \times 10^{12} \text{ K}$?
4. Dvorazsežni idealni plin uhaja iz posode skozi drobno odprtino. Gostota številskega toka uhajajočih molekul je $10^{18}/\text{ms}$. Kolikšna je številska gostota plina v posodi, če je plin enoatomen in ga sestavljajo delci s kilomolsko maso 4 kg/kmol , njegova temperatura pa je 300 K ? Kolikšna je gostota energijskega toka, ki ga odnašajo molekule?

Izpit

29. 8. 2017

1. Z dvoatomnim idealnim plinom opravimo naslednjo krožno spremembo: Najprej plin razpnemo tako, da je tlak ves čas premo sorazmeren s prostornino, nato izohorno znižamo tlak na izhodiščno vrednost, nakar plin še izobarno stisnemo, da dosežemo začetno stanje. Skicirajte cikel v ravnini $p - V$! V katerem delu cikla plin toploto prejema? Določite izkoristek cikla, če je razmerje največje in najmanjše prostornine v njem enako 4!

2. Gostoto vode opisuje zveza

$$\rho(T, p) = \rho_0 - \lambda(T - T_0)^2 + \mu(p - p_0),$$

kjer je $\rho_0 = 999.972 \text{ kg/m}^3$, $T_0 = 4^\circ\text{C}$, $p_0 = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$, $\lambda = 6.62 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3\text{K}^2$ in $\mu = 4.6 \times 10^{-7} \text{ kg/m}^3\text{Pa}$. Koliko toplote izmenja z okolico kilogram vode, ko pri 5°C izotermno reverzibilno povečamo tlak z 10^5 Pa na $1.1 \times 10^5 \text{ Pa}$? — Za koliko se spremeni specifična toplota vode pri konstantni prostornini, ko pri 5°C in začetnih 10^5 Pa izotermno povečamo gostoto za 0.1%?

3. Redek dvorazsežen plin električnih dipolov pri 300 K izpostavimo zunanjemu električnemu polju z jakostjo 10^6 V/m . Za koliko se specifična toplota plina (na delec) razlikuje od rezultata, ki ga dobimo v odsotnosti polja? Dipolni moment posameznega delca je 10^{-30} Asm .
4. Disperzijska relacija za fonone v nekem enorazsežnem sredstvu je $\omega(k) = \omega_0 + \alpha k^2$, kjer je $\omega_0 = 10^{13} \text{ s}^{-1}$ in $\alpha = 30 \text{ m}^2/\text{s}$. Pri temperaturi 10 K izračunajte vrednost adiabatnega odvoda $\ell^{-1}(\partial\ell/\partial T)_S$, kjer pomeni ℓ dolžino sredstva, T temperaturo in S fononski prispevek k entropiji!

1. kolokvij

20. 11. 2015

1. Ravni vzporedni opni potopimo v raztopino virusa tobačnega mozaika. Zunanja sila, ki uravnoveša privlačno silo med opnoma, znaša pri temperaturi T in razmiku open h

$$\mathcal{F}(T, h) = \begin{cases} \nu T(d - h), & h < d, \\ 0, & h \geq d. \end{cases}$$

V izhodiščnem stanju pri 20°C je ta sila enaka 2 nN. Sistem od tod na dva načina segrejemo do 80°C: prvič pri stalni sili \mathcal{F} , drugič pa pri nespremenjenem razmiku h . Za koliko se razlikujeta toploti, ki ju moramo pri tem dovesti? Računajte z $\nu = 9.2 \times 10^{-5}$ N/mK in $d = 0.3 \mu\text{m}$ ter vzemite, da toplotna kapaciteta C_h ni odvisna od h ! — Zgornjima spremembama pri stalnih \mathcal{F} in h dodamo še izotermno pri 80°C, da dobimo krožno spremembo. Skicirajte jo na diagramu $\mathcal{F} - h$ in ugotovite, koliko toplote prejme/odda sistem v enem ciklu, če ta poteka v nasprotni smeri urinega kazalca!

2. V neki snovi opišemo kritično jakost magnetnega polja za prehod iz superprevodnega v normalno stanje z zvezo $H_c(T) = H_0 [2 - \cosh(\alpha T)]$. Poiščite temperaturno odvisnost utajene toplote prehoda in razlike specifičnih toplot c_H obeh faz! Pri 5 K se specifični toploti superprevodne in normalne faze ne razlikujeta, utajena toplota pa znaša 0.25 J/kg. Določite parametra H_0 in α ! Gostota snovi je 11300 kg/m³. — V termostatu imamo pri 5 K in polju stalne jakosti 2×10^4 A/m metastabilno normalno fazo. Kolikšna je sprememba specifične entropije ob vzpostavitvi ravnovesja?

2. kolokvij

26. 1. 2016

1. Kroglast koloidni delec s polmerom 80 nm se nahaja v raztopini kroglic s polmerom 20 nm. Kako je kroglicam dostopna prostornina odvisna od razdalje med središčem delca in ravno steno razsežne posode? Kolikšna sila deluje pri 27°C na delec, čigar središče je 90 nm od stene? V vsakem litru raztopine je 10^{18} kroglic.
2. V 1 nm debeli razsežni plasti imamo pri absolutni ničli elektronski plin s Fermijevo energijo 0.2 eV. Določite prostorninsko gostoto plina! Kolikšna je povprečna energija plina, preračunana na elektron? — Debelino plasti podvojimo, hkrati pa poskrbimo, da ostane Fermijeve energija nespremenjena. Kolikšna je prostorninska gostota elektronov v tem primeru?

Izpit

11. 3. 2016

1. Posoda s prostornino 500 l vsebuje zrak pri 1 bar in 20°C. Poleg tega je v njej še litrska jeklenka z zrakom pri 100 bar in -20°C. Jeklenka počí. Kolikšna je končna temperatura zraka, če je v posodo iz okolice med poskusom vdrlo 8 kJ toplote? Za koliko se je pri dogodku spremenila entropija zraka? Specifična toplota zraka pri konstantni prostornini je 720 J/kgK.
2. Tanek sloj globularnih proteinov na vodni površini se vede kot dvorazsežen plin. Pri temperaturi T znaša površinski tlak sloja s površino A

$$\gamma = Nk_B T \frac{A}{(A - \alpha)^2},$$

kjer označuje N število proteinskih molekul; $k_B = 1.38 \times 10^{-23}$ J/K in $\alpha = 3$ cm². Izračunajte izotermno stisljivost za sloj s površino 5 cm², ki pri temperaturi 20°C vsebuje 3×10^{14} molekul! Za koliko se pri omenjenih pogojih razlikujeta izotermna in adiabatna stisljivost sloja? Toplotna kapaciteta sloja pri konstantni površini znaša Nk_B .

3. Tri spine, ki ležijo v ogliščih enakostraničnega trikotnika, veže Isingova interakcija s hamiltonko

$$H = -J \sum_{\langle i,j \rangle} s_i s_j,$$

v kateri teče vsota po parih sosednih spinov; s_i lahko pri tem zavzame vrednosti $\pm 1/2$. Kolikšna je pri 300 K povprečna energija sistema in kolikšne so njene fluktuacije (σ_E)? Računajte z $J = 0.02$ eV!

4. V steno velike posode, ki se nahaja v vakuumu in v kateri so srebrove pare pri 0.1 mbar, izvrtamo okroglo luknjico s površino 0.01 mm². Na razdalji 1 m od luknjice postavimo okroglo ploščo s polmerom 0.5 m tako, da imata luknjica in plošča isto simetrijsko os. Kolikšna sila deluje na ploščo, če se ob dotiku vsak atom prilepi nanjo? Kolikšen energijski tok prestreza plošča? Povprečna velikost hitrosti atomov pare znaša 240 m/s.

Izpit

24. 8. 2016

1. Enačba stanja gumijaste vrvice se glasi

$$\frac{\mathcal{F}}{A} = aT \left(\frac{\ell}{\ell_0} - \frac{\ell_0^2}{\ell^2} \right),$$

kjer pomeni \mathcal{F} natezno silo, T temperaturo in ℓ dolžino vrvice. Nadalje sta A in ℓ_0 presek ter dolžina neobremenjene vrvice; $a = 50 \text{ N/m}^2\text{K}$. Sprva neobremenjeno vrvico pri 27°C izotermno raztegnemo na desetkratno dolžino, nato pa jo adiabatno reverzibilno razbremenimo. Za koliko se pri tem spremeni temperatura, če znaša gostota gume 1100 kg/m^3 , specifična toplota c_ℓ pa 2000 J/kgK ? — Po opravljenem poskusu počakamo toliko časa, da se temperatura vrvice pri stalni dolžini izenači z začetno. Za koliko se pri tem spremeni entropija cm^3 vrvice?

2. Po 10 cm debeli razsežni bakreni plošči s specifičnim uporom $1.68 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$ in toplotno prevodnostjo 400 W/mK teče električni tok. Plošča je z ene strani toplotno izolirana, njeno drugo stran pa prekriva 2 mm debela plast ledu, ki jo z zunanje strani obdaja zrak pri -10°C in 1 bar. Najmanj kolikšna mora biti gostota električnega toka, da se led prične taliti? Kolikšna je tedaj najvišja temperatura v plošči? Toplotna prevodnost ledu je 2.2 W/mK .

3. Gradnike neidealnega plina veže parska interakcija

$$\phi(r) = \begin{cases} \infty, & r \leq \sigma \\ -\phi_0, & \sigma < r \leq 2\sigma \\ 0, & r > 2\sigma \end{cases},$$

kjer je $\sigma = 0.1 \text{ nm}$ in $\phi_0 = 5 \text{ meV}$. Za ne pregost plin zapišite enačbo stanja v van der Waalsovi obliki in izrazite v njej nastopajoča parametra s ϕ_0 in σ ; predpostavite, da velja $\phi_0 \ll k_B T$! Izračunajte kritične parametre plina (tlak, temperaturo in kilomolsko prostornino)!

4. S statističnomehانيčno obravnavo degeneriranega elektronskega plina izračunajte, kolikšen električni tok izhaja pri 2500 K iz volframove elektrode s površino 1 cm^2 ! Kemijski potencial volframa je 9 eV , izstopno delo pa 4.5 eV .

1. kolokvij

21. 11. 2014

1. Natezna sila v gumijasti vrvi dolžine ℓ je pri temperaturi T enaka

$$\mathcal{F} = aAT \left\{ \frac{\ell}{\ell_0} - \left[1 + \sigma(T - T_0) \right] \frac{\ell_0^2}{\ell^2} \right\},$$

kjer pomeni $\ell_0 = 0.2$ m dolžino neobremenjene vrvice pri temperaturi $T_0 = 47^\circ\text{C}$, $a = 110$ Pa/K in $\sigma = 0.001/\text{K}$; A označuje presek vrvice pri ℓ_0 in T_0 . Za koliko se spremeni notranja energija prostorninske enote vrvice, ko sprva neobremenjeni vrvi pri T_0 izotermno podvojimo dolžino? — Če vrvice iz istega začetnega stanja raztegujemo adiabatno reverzibilno, temperatura z rastočo dolžino najprej pada, nato pa pri določenem raztezu začne naraščati. Kolikšen je ta raztezek? Privzemite, da je temperatura vrvice približno enaka T_0 in da je specifična toplota c_ℓ konstantna!

2. Za koliko se razlikujeta specifični toploti c_p tekoče vode in pare pri 366°C ? Uporabite poenostavljeno van der Waalovo enačbo

$$\mathcal{X} = -\frac{3}{2}\mathcal{Y}^3 + 4\mathcal{Z} - 6\mathcal{Z}\mathcal{Y} !$$

V njej pomeni $\mathcal{X} = p/p_c - 1$, $\mathcal{Y} = V_M/V_M^c - 1$ in $\mathcal{Z} = T/T_c - 1$; kritični parametri za vodo so $p_c = 221.3$ bar, $V_M^c = 0.0558$ m³/kmol in $T_c = 374^\circ\text{C}$. Kilomolska masa vode znaša 18 kg/kmol. — V toplotno izolirani posodi, v kateri vzdržujemo stalen tlak, imamo pri 361°C pregreto tekočo vodo z gostoto 430 kg/m³. Kolikšna je temperatura sistema, ko se vzpostavi ravnovesje? Kolikšen masni delež vode pri tem izpari, če znaša c_p tekoče vode 14600 J/kgK?

2. kolokvij

26. 1. 2015

1. Izračunajte drugi virialni koeficient za neidealni plin, katerega gradnike veže parska interakcija $\phi(r) = \phi_0 \exp(-r/\rho)$, kjer je $\rho = 5$ nm in $\phi_0 = 3 \times 10^{-3}$ eV! Temperatura plina znaša 20°C . — Zapišite notranjo energijo plina kot funkcijo temperature in prostornine! — Kubični meter plina, ki vsebuje 10^{23} gradnikov, izohorno segrejemo z 20°C na 30°C . Za koliko se toplota, ki jo moramo pri tem dovesti, razlikuje od rezultata za idealni plin? — *Navodilo: Pri računu virialnega koeficienta razvijte eksponentno funkcijo do vključno kvadratnega člena!*
2. Plin podolgovatih molekul se adsorbira na stenah posode. Pri tem sta za vsako molekulo možna dva različna načina vezave, oba z enako vezavno energijo. Kolikšna je ta energija, če je pri 10^4 Pa in 22 K zaseden 1% adsorpcijskih mest? Kilomolska masa plina je 2 kg/kmol, značilna rotatorska temperatura 86 K, molekule pa so brez spina. — Kolikšen delež adsorpcijskih mest je zaseden pri 2200 K, če tlak plina in vezavna energija ostaneta nespremenjena? Vzbujanje molekulskih nihajnih stanj zanemarite.

Izpit

13. 3. 2015

1. Obnašanje N_2O opišemo s Clausiusovo enačbo stanja

$$\left[p + \frac{a}{T(V_M + c)^2} \right] (V_M - b) = RT,$$

kjer je $R = 8.3 \text{ kJ/kmolK}$. Kritični tlak N_2O znaša 72.45 bar , temperatura 36.4°C , kilomolska prostornina pa $0.0975 \text{ m}^3/\text{kmol}$. Določite konstante a , b in c !

2. Izotermno susceptibilnost kristalnega triglicin sulfata nad temperaturo faznega prehoda v feroelektrično fazo podaja zveza $\chi_T = a/(T - T_c)$, kjer je $a = 3900 \text{ K}$ in $T_c = 48^\circ\text{C}$. Za koliko se v električnem polju jakosti 10^5 V/m in pri temperaturi 50°C razlikujeta specifični toploti c_E in c_P ? Gostota kristala je 1690 kg/m^3 . — Za koliko se spremeni c_E , če poljska jakost pri 50°C naraste z 10^5 V/m na $2 \times 10^5 \text{ V/m}$?
3. Plin podolgovatih molekul se adsorbira na stenah posode, pri čemer znaša vezavna energija posamezne molekule 0.4 eV . Na voljo je 10^{20} adsorpcijskih mest, na steno vezane molekule pa se obnašajo kot dvorazsežni rotatorji z značilno temperaturo 86 K . Kolikšne so relativne fluktuacije števila adsorbiranih molekul ($\sigma_N/\langle N \rangle$) pri 22 K , ko znaša kemijski potencial sistema -0.014 eV ? Kolikšen rezultat dobimo pri 2200 K , ko pade kemijski potencial na -4.21 eV ?
4. Termostatirani posodi povezuje odprtina s presekom 0.01 mm^2 . V prvi posodi je vodna para pri 120°C in 1 Pa . Kolikšna sta v stacionarnem stanju tlak in temperatura pare v drugi posodi, če je povprečna prosta pot vodnih molekul v njej za 5% krajša kot v prvi? Polmer vodne molekule ocenimo na 0.1 nm . — Koliko toplote izmenja prva posoda s svojim termostatom v eni uri? Kilomolska masa vode je 18 kg/kmol .

Izpit

10. 9. 2015

1. Fotonski plin podvržemo Carnotovi krožni spremembi, v kateri znašata najvišji in najnižji tlak 2×10^{-5} Pa in 1.2×10^{-5} Pa. Skicirajte cikel na diagramu $p - V$ in izračunajte izkoristek toplotnega stroja, ki tak cikel opravlja! Na zgornji izotermi vsakemu m^3 plina (merjeno pri pogojih z začetka izoterme) dovedemo 0.01 mJ toplote. Kolikšno je razmerje največje in najmanjše prostornine v ciklu? — *Fizikalni poduk: Gostota notranje energije fotonskega plina je $u = 4\sigma T^4/c$, kjer pomeni σ Stefanovo konstanto in c hitrost svetlobe. Tlak fotonskega plina je enak $u/3$.*
2. Denimo, da obstaja dielektrik, čigar izotermna susceptibilnost je podana z

$$\chi(T, E) = \begin{cases} 0, & E < E_c(T) \quad (\text{faza 1}), \\ C/T, & E > E_c(T) \quad (\text{faza 2}). \end{cases}$$

V električnem polju jakosti 3×10^6 V/m pride do faznega prehoda pri 27°C . Določite poljsko jakost, pri kateri opazimo prehod pri 7°C ! Pri prehodu iz faze 1 v fazo 2 se porabi utajena toplota $q(T)$, ki je takole odvisna od temperature: $q(T) = q_0 + k(T - T_0)$; $q_0 = 8$ J/kg, $T_0 = 27^\circ\text{C}$ in $k = -0.2$ J/kgK. Gostota dielektrika znaša 1400 kg/m³, koeficient C pa 3300 K. — Fazi 1 in 2 sta v ravnovesju pri 27°C . Za koliko se razlikujeta njuni specifični toploti c_E ?

3. Veliki kroglici s polmerom 80 nm se pri 300 K nahajata v raztopini majhnih kroglic s polmerom 20 nm. Kolikšna sila deluje med velikima kroglicama, če sta njuni središči drugo od drugega oddaljeni 180 nm, v vsakem litru raztopine pa je 10^{18} malih kroglic? Koliko toplote izmenja sistem z okolico, če pri nespremenjeni temperaturi razdaljo med velikima kroglicama podvojimo?
4. Enoelektronska stanja v kvantni piki opišemo z dvorazsežnim harmoničnim oscilatorjem s spektrom $E(n_x, n_y) = (n_x + n_y + 1)\hbar\omega$, kjer je $n_x, n_y = 0, 1, 2, \dots$. Kolikšna je povprečna energija oscilatorja pri 20 K, če je $\hbar\omega = 3$ meV? Pri kateri temperaturi predstavljajo fluktuacije energije (σ_E) desetino njene povprečne vrednosti?

STATISTIČNA TERMODINAMIKA 2013/14

1. kolokvij

22. 11. 2013

1. Tanek sloj globularnih proteinov na vodni površini se vede kot dvorazsežen plin. Pri temperaturi T znaša površinski tlak sloja s površino A

$$\gamma = Nk_B T \frac{A}{(A - \alpha)^2},$$

kjer označuje N število proteinskih molekul; $k_B = 1.38 \times 10^{-23}$ J/K in $\alpha = 3$ cm². Izračunajte temperaturni koeficient površinskega raztezka za sloj s površino 5 cm², ki pri temperaturi 20°C vsebuje 3×10^{14} molekul! Za koliko se pri omenjenih pogojih razlikujeta toplotni kapaciteti sloja C_γ in C_A ?

2. V vodoravnem valju, ki ga zapira dobro tesneč bat, imamo 10 l vodne pare pri 3 bar in 200°C. Valj in bat, ki sta iz toplotnega izolatorja, obdaja ozračje pri 1 bar in 20°C. Sprva pritrjen bat nenadoma sprostimo in počakamo, da se umiri. Kolikšna je končna temperatura pare, če je njena specifična toplota pri konstantnem tlaku enaka 1850 J/kgK, kilomolska masa pa 18 kg/kmol? Za koliko se je spremenila entropija pare? — Poskus ponovimo v električnem polju jakosti 5×10^9 V/m. Kolikšna je končna temperatura pare v tem primeru? Električni dipolni moment pare v valju pri temperaturi T in poljski jakosti E znaša $p_e = aE/T$, kjer je $a = 4 \times 10^{-13}$ Asm²K/V.

2. kolokvij

22. 1. 2014

1. V razredčeno raztopino mehkih kroglic s polmerom 50 nm sta potopljeni vzporedni ravni plošči s površino 1 dm^2 , razmaknjeni za 70 nm. Energija interakcije med posamezno kroglico in ploščama je enaka 0, če se kroglica ne prekriva z nobeno izmed njiju, sicer pa znaša $5 \times 10^{-3} \text{ eV}$. Številna gostota kroglic je $10^{16}/\text{m}^3$; interakcije med kroglicami so zanemarljive. Kolikšna sila deluje med ploščama pri 20°C ? Koliko dela opravimo, ko razdaljo med ploščama podvojimo?
2. Disperzijska relacija mrežnih nihanj v neki dvorazsežni trdnini je $\omega = \alpha\sqrt{k}$; $\alpha = 2 \times 10^7 \sqrt{\text{m}}/\text{s}$. Polarizaciji sta dve. Izračunajte prispevek mrežnih nihanj k entropiji vzorca velikosti 1 dm^2 pri 2 K! Kolikšne so tedaj fluktuacije števila fononov (σ_N)?

$$\int_0^{\infty} \exp(-ax^2) dx = \frac{\sqrt{\pi}}{2\sqrt{a}}$$

$$\int_0^{\infty} x \exp(-ax^2) dx = \frac{1}{2a}$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x dx}{\exp(x) - 1} = \frac{\pi^2}{6}$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^2 dx}{\exp(x) - 1} \approx 2.404$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^3 dx}{\exp(x) - 1} = \frac{\pi^4}{15}$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^4 dx}{\exp(x) - 1} \approx 24.886$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^5 dx}{\exp(x) - 1} \approx \frac{8\pi^6}{63}$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^6 dx}{\exp(x) - 1} \approx 726.011$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x dx}{\exp(x) + 1} = \frac{\pi^2}{12}$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^2 dx}{\exp(x) + 1} \approx 1.803$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^3 dx}{\exp(x) + 1} = \frac{7\pi^4}{120}$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^4 dx}{\exp(x) + 1} \approx 23.331$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^5 dx}{\exp(x) + 1} = \frac{31\pi^6}{252}$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^6 dx}{\exp(x) + 1} \approx 726.011$$

$$\int_0^{\infty} x^2 \exp(-ax^2) dx = \frac{\sqrt{\pi}}{4\sqrt{a^3}}$$

$$\int_0^{\infty} x^3 \exp(-ax^2) dx = \frac{1}{2a^2}$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^2 \exp(x)}{(\exp(x) - 1)^2} dx = \frac{\pi^2}{3}$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^3 \exp(x)}{(\exp(x) - 1)^2} dx \approx 7.212$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^4 \exp(x)}{(\exp(x) - 1)^2} dx = \frac{4\pi^4}{15}$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^5 \exp(x)}{(\exp(x) - 1)^2} dx \approx 124.431$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^6 \exp(x)}{(\exp(x) - 1)^2} dx = \frac{16\pi^6}{21}$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^7 \exp(x)}{(\exp(x) - 1)^2} dx \approx 5082.08$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x \exp(x)}{(\exp(x) + 1)^2} dx = \ln(2)$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^2 \exp(x)}{(\exp(x) + 1)^2} dx = \frac{\pi^2}{6}$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^3 \exp(x)}{(\exp(x) + 1)^2} dx \approx 5.409$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^4 \exp(x)}{(\exp(x) + 1)^2} dx = \frac{7\pi^4}{30}$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^5 \exp(x)}{(\exp(x) + 1)^2} dx \approx 116.654$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^6 \exp(x)}{(\exp(x) + 1)^2} dx = \frac{31\pi^6}{42}$$

Izpit

21. 3. 2014

1. Tanek sloj globularnih proteinov na vodni površini se vede kot dvorazsežen plin. Pri temperaturi T znaša površinski tlak sloja s površino A

$$\gamma = Nk_B T \frac{A}{(A - \alpha)^2},$$

kjer označuje N število proteinskih molekul; $k_B = 1.38 \times 10^{-23}$ J/K in $\alpha = 3$ cm². Sloj, ki vsebuje 3×10^{14} molekul, se pri temperaturi 20°C reverzibilno razširi s 5 cm² na 10 cm². Koliko toplote izmenja pri tem z okolico? Izračunajte tudi spremembo notranje energije!

2. V neki snovi opišemo kritično jakost magnetnega polja za prehod iz superprevodnega v normalno stanje z zvezo $H_c(T) = H_0 \cos(\alpha T)$, kjer je $H_0 = 6.5 \times 10^4$ A/m in $\alpha = 0.22$ K⁻¹. Izračunajte utajeno toploto prehoda pri 5 K! Za koliko se pri tej temperaturi razlikujeta specifični toploti superprevodne in normalne faze? Gostota snovi je 11300 kg/m³.
3. En konec gibke in lahke stočlenske verige pritrdimo na strop, na drugega pa obesimo utež z maso 10^{-13} kg. Členi verige so dolgi 3 nm in široki 1 nm. Za posamezen člen je možen en način vezave z dolgo osjo navpično in dva načina z dolgo osjo vodoravno. Kolikšna je pri 300 K povprečna potencialna energija uteži? (Energijo merimo glede na strop.) Kolikšne so fluktuacije energije (σ_E)?
4. Določite adiabatno stisljivost polariziranega dvorazsežnega fotonskega plina pri 300 K!

Izpit

15. 9. 2014

1. Dvoatomni idealni plin podvržemo naslednji reverzibilni krožni spremembi: Plin najprej izobarno segrejemo, nato ga adiabatno razpnemo, zatem pa še izotermno stisnemo, da dosežemo začetno stanje. Skicirajte cikel na diagramu $p-V$ in določite njegov izkoristek! Razmerje največje in najmanjše prostornine v ciklu je enako 2.

2. Gostoto vode opisuje zveza

$$\rho(T, p) = \rho_0 - \lambda(T - T_0)^2 + \mu(p - p_0),$$

kjer je $\rho_0 = 999.972 \text{ kg/m}^3$, $T_0 = 4^\circ\text{C}$, $p_0 = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$, $\lambda = 6.62 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3\text{K}^2$ in $\mu = 4.6 \times 10^{-7} \text{ kg/m}^3\text{Pa}$. Kolikšna je izotermna stisljivost vode pri 5°C in $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$? Za koliko se pri omenjenih pogojih razlikujeta izotermna in adiabatna stisljivost? Specifična toplota vode pri konstantnem tlaku znaša 4204 J/kgK .

3. Valj s polmerom 1 m in višino 10 m napolnimo z idealnim enoatomnim plinom pri 300 K in 1 bar. Z vrtenjem valja okoli simetrijske osi plin izpostavimo centrifugalnemu potencialu $V(r) = -\alpha r^2$, kjer pomeni r razdaljo od osi in $\alpha = 0.07 \text{ eV/m}^2$. Kolikšne so pri 300 K fluktuacije celotne enegije plina v vrtečem se valju (σ_E)? Določite razmerje povprečnih prostih poti gradnikov plina, izmerjenih pri omenjenih okoliščinah ob steni in na osi valja!
4. Izračunajte spremembo specifične entropije elektronskega plina v kovini pri segretju z 1 K na 2 K! Kemijski potencial plina pri absolutni ničli znaša 5.5 eV. Uporabite nizkotemperaturni razvoj

$$\int_0^\infty h(E)f(E)dE = \int_0^\mu h(E)dE + \frac{\pi^2}{6}(k_B T)^2 \frac{dh}{dE} \Big|_\mu + \dots$$

kjer pomeni E energijo, $f(E)$ Fermijevo zasedbeno število, $h(E)$ zvezno in pri $E = \mu$ odvedljivo funkcijo, μ pa kemijski potencial!

1. kolokvij

5. 12. 2012

1. Pri temperaturi T je polarizacija nekega dielektrika v električnem polju jakosti E enaka $P = \alpha E/TV$, kjer pomeni V prostornino vzorca in $\alpha = 10^{-16}$ Asm²K/V. Izpeljite enačbo adiabate za tak dielektrik, če je njegova toplotna kapaciteta pri konstantni E določena z zvezo $C_E = \alpha(E/T)^2$! — Z dielektrikom opravimo reverzibilno krožno spremembo, ki je sestavljena iz dveh adiabat in iz dveh odsekov pri $E = konst.$ Skicirajte omenjeno spremembo na diagramu $E - T$! Kolikšen je izkoristek toplotnega stroja, ki jo opravlja, če pri tem jakost polja nikoli ne pade pod 945 V/m in nikoli ne preseže 1000 V/m, najnižja in najvišja temperatura pa sta 0°C in 30°C?
2. Obnašanje N₂O opisuje enačba stanja

$$\left(p + \frac{a}{V_M^2 T}\right) (V_M - b) = RT,$$

kjer je $a = 87.2$ Jm³K/mol² in $b = 3.25 \times 10^{-5}$ m³/mol, V_M pa označuje kilomolsko prostornino. Izračunajte Joule-Kelvinov koeficient N₂O z gostoto 220 kg/m³ in temperaturo 57°C, če je specifična toplota N₂O pri konstantnem tlaku 880 J/kgK, kilomolska masa pa 44 kg/kmol! — Nad katero temperaturo se plin navedene gostote pri Joule-Kelvinovem poskusu segreje? Nad kolikšnim tlakom opazimo segrevanje pri poljubni gostoti plina?

2. kolokvij

24. 1. 2013

1. Molekulo deoksiribonukleinske kisline si predstavljamo kot dolgo zadrگو. Energija posameznega člana — baznega para — v sklenjenem stanju je za 0.08 eV nižja od energije v razprtem stanju. Vsak člen je lahko razprt le, če so že razprti vsi člani med njim in odprtim koncem molekule. — Navedite vsa možna stanja štiričlenske molekule ter zapišite pripadajoče energije! Izračunajte povprečno energijo zelo dolge molekule pri 300 K! (Za ničlo energije vzemite stanje, v katerem so vsi bazni pari sklenjeni.) — Kolikšna je pri 300 K toplotna kapaciteta takšne molekule? Določite tudi njeno visokotemperaturno limito!
2. Kolikšen je pri absolutni ničli kemijski potencial enorazsežnega elektronskega plina v ultrarelativistični limiti, ko velja $E = cp$ (c je hitrost svetlobe, p gibalna količina)? Tlak plina pri absolutni ničli je 2×10^5 N. — Kolikšen rezultat dobimo pri 10^{13} K?

Izpit

8. 3. 2013

1. Enoatomni idealni plin podvržemo krožni spremembi, sestavljeni iz dveh izohor in iz dveh izoterm. Določite izkoristek toplotnega stroja, ki jo opravlja, če znašata najvišja in najnižja temperatura v ciklu 100°C in 20°C , razmerje največje in najmanjše prostornine plina pa je enako 3! — Kako se rezultat spremeni, če plin nadomestimo z dvoatomnim?
2. Pri temperaturi T je magnetizacija nekega paramagneta v magnetnem polju jakosti H enaka $M = \alpha H / \mu_0 T V$, kjer pomeni V prostornino vzorca; $\alpha = 7 \times 10^{-13} \text{ Jm}^2\text{K/A}^2$. Izračunajte razliko toplotnih kapacitet $C_H - C_M$ za vzorec, ki je pri -253°C postavljen polju jakosti 10^4 A/m ! — Paramagnet, ki je sprva pri omenjenih pogojih, s spremembo poljske jakosti adiabatno reverzibilno segrejemo na -73°C . Kolikšna je poljska jakost ob koncu procesa, če je $C_H = \alpha H^2 / T^2$?
3. Vzbujeno stanje nekega delca je nedegenerirano in leži 1 eV nad osnovnim, ki je dvakrat degenerirano. Določite temperaturo, pri kateri je v sistemu 10^{20} neodvisnih delcev razmerje količine σ_E (ta meri amplitudo fluktuacij energije) in povprečne energije enako 10^{-6} ! Koliko toplote mora izmenjati sistem z okolico, da se omenjeno razmerje podvoji? *Fizikalni poduk:* Velja $\sigma_E = T \sqrt{k_B C}$, kjer pomeni C toplotno kapaciteto sistema.
4. Energija molekule polarnega tekočega kristala v električnem polju jakosti \mathcal{E}

$$E = -p_e \mathcal{E} \cos \theta - \gamma \mathcal{E}^2 \cos^2 \theta$$

je odvisna od kota θ med molekulsko dolgo osjo in smerjo električnega polja. Molekulski električni dipolni moment p_e znaša $5 \times 10^{-29} \text{ Asm}$ in $\gamma = 10^{-34} \text{ Asm}^2/\text{V}$. Za koliko se pri 300 K in 10^5 Pa polarizacija tekočerkristalne pare v polju jakosti 10^6 V/m razlikuje od rezultata za $\gamma = 0$? Za koliko % odstopa tedaj električna susceptibilnost pare od napovedi Curiejevega zakona, ki velja za $\gamma = 0$?

Izpit

13. 9. 2013

1. Gostoto vode opisuje zveza

$$\rho(T, p) = \rho_0 - \lambda(T - T_0)^2 + \mu(p - p_0),$$

kjer je $\rho_0 = 999.972 \text{ kg/m}^3$, $T_0 = 4^\circ\text{C}$, $p_0 = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$, $\lambda = 6.62 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3\text{K}^2$ in $\mu = 4.6 \times 10^{-7} \text{ kg/m}^3\text{Pa}$. Določite temperaturni koeficient prostorninskega raztezka vode pri 6°C in $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$! Za koliko se pri omenjenih pogojih razlikujeta specifični toploti c_p in c_V ?

2. Med razsežnima vzporednima kovinskima ploščama, ki sta v razmiku 1 m, je bakrena plast s specifičnim uporom $\zeta = 1.68 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$ in toplotno prevodnostjo 400 W/mK . Med ploščama teče električni tok z gostoto $j_e = 2 \times 10^6 \text{ A/m}^2$. Kolikšna je temperatura v sredini plasti, če znaša temperatura ene plošče 20°C , druge pa 80°C ? Kolikšna je najvišja temperatura v plasti? *Fizikalni poduk*: Prostorninska gostota moči ohmskega gretja je enaka $j_e^2\zeta$.

3. V razredčeno suspenzijo mehkih kroglic sta potopljeni ravni vzporedni plošči s površino 1 dm^2 , razmaknjeni za 70 nm . Energija interakcije med kroglico in ploščo je enaka

$$\phi(r) = \begin{cases} \phi_0, & r \leq \sigma \\ 0, & r > \sigma \end{cases},$$

kjer je $\sigma = 50 \text{ nm}$ in $\phi_0 = 5 \times 10^{-3} \text{ eV}$, r pa označuje razdaljo med središčem kroglice in ploščo. Številska gostota kroglic je $10^{16}/\text{m}^3$; interakcije med kroglicami so zanemarljive. Kolikšna sila deluje med ploščama pri 20°C ? Kolikšna je v limitah $\phi_0 \rightarrow 0$ in $\phi_0 \rightarrow \infty$?

4. V magnetnem polju z gostoto 7 T je pri temperaturi 3 K sol, ki vsebuje paramagnetne ione s spinom 1 in giromagnetnim razmerjem e_0/m , kjer pomeni m maso elektrona, e_0 pa osnovni naboj. Koliko toplote izmenja z okolico vzorec, ki vsebuje 10^{20} ionov, ko reverzibilno izotermno izključimo magnetno polje? Magnetni momenti ionov so medsebojno neodvisni.

1. kolokvij

18. 11. 2011

1. Pri temperaturi T je dolžina polimernega vlakna, obremenjenega z natezno silo \mathcal{F} , enaka

$$\ell = \ell_0 \left[\frac{a\mathcal{F}}{T} - \frac{1}{3} \left(\frac{a\mathcal{F}}{T} \right)^3 \right],$$

kjer je $\ell_0 = 1 \mu\text{m}$ in $a = 9 \times 10^{13} \text{ K/N}$. Kolikšna je razlika toplotnih kapacitet $C_{\mathcal{F}} - C_{\ell}$, če je vlakno pri 27°C obremenjeno s silo 1 pN ? — Vlakno, ki je sprva pri omenjenih pogojih, izotermno razbremenimo. Koliko toplote izmenja z okolico?

2. Idealni hladilnik prejema toploto od koščka superprevodnika s prostornino 1 cm^3 , ki je v začetku pri temperaturi 7 K , in jo oddaja toplotnemu rezervoarju s stalno temperaturo 12 K . Koliko dela prejme hladilnik do trenutka, ko se superprevodnik ohladi na 3 K , če se poskus odvija v odsotnosti magnetnega polja? Toplotna kapaciteta normalne faze je enaka $C_N(T) = bT^3 + cT$, superprevodne pa $C_S(T) = aT^3$. Kritična magnetna poljska jakost, nad katero pri dani temperaturi ne opazimo superprevodnega stanja, podaja zveza $H_c(T) = H_0(1 - T^2/T_c^2)$. Računajte z $a = 10^{-5} \text{ J/K}^4$, $b = 8 \times 10^{-6} \text{ J/K}^4$, $c = 6 \times 10^{-6} \text{ J/K}^2$, $H_0 = 6.5 \times 10^4 \text{ A/m}$ in $T_c = 7.22 \text{ K}$! — Kako se spremeni zgornji rezultat, če poskus ponovimo v magnetnem polju jakosti $4 \times 10^4 \text{ A/m}$?

2. kolokvij

25. 1. 2012

1. Izračunajte drugi virialni koeficient za neidealni plin, katerega gradnike veže parska interakcija

$$\phi(r) = \begin{cases} \phi_0 [1 - (r/\sigma)], & r \leq \sigma \\ 0, & r > \sigma \end{cases},$$

kjer je $\sigma = 5$ nm in $\phi_0 = 3 \times 10^{-3}$ eV! Temperatura plina znaša 27°C . — Zapišite notranjo energijo plina kot funkcijo temperature in prostornine! Za koliko se pri gostoti plina $10^{24}/\text{m}^3$ specifična toplota pri konstantni prostornini razlikuje od rezultata za idealni plin? — *Navodilo: Pri računu virialnega koeficienta razvijte eksponentno funkcijo do vključno kvadratnega člena!*

2. Iz velekanonične fazne vsote izračunajte kemijski potencial enoatomnega nedegeneriranega idealnega plina v dveh razsežnostih! Temperatura plina je 300 K, površinska napetost 10^{-3} N/m, kilomolska masa 80 kg/kmol, njegovi gradniki pa so brez vrtilne količine. — V plin postavimo žico z adsorpcijskimi mesti. Kolikšen delež mest je v povprečju zaseden, če znaša vezavna energija pri adsorpciji posameznega gradnika 1 meV? — Kako se spremeni zasedenost, če imamo opravka z gradniki s spinom 1/2, adsorpcijska mesta pa so izpostavljena magnetnemu polju, ki povzroča Zeemanov razcep velikosti 30 meV?

Izpit

2. 3. 2012

1. Idealni plin podvržemo reverzibilni krožni spremembi, pri kateri plin najprej adiabatsno stisnemo s prostornine V_0 na prostornino V_1 , zatem pa ga izobarno razpnemo na prostornino V_2 . Temu sledita adiabatsno razpenjanje do začetne prostornine in izohorno ohlajanje do začetnega stanja. Kolikšen je izkoristek krožne spremembe, če je kompresijsko razmerje V_0/V_1 enako 21, ekspanzijsko V_2/V_1 pa 2? Kolikšna je sprememba entropije kilograma plina na izobari? Specifična toplota pri konstantni prostornini znaša $c_V = 720 \text{ J/kgK}$, razmerje specifičnih toplot c_p/c_V pa $7/5$.
2. Tlak hladne plazme določa zveza

$$p = nk_B T - \frac{an^{3/2}}{3T^{1/2}},$$

kjer je $a = 5.5 \times 10^{-29} \text{ Jm}^{3/2}\text{K}^{1/2}$, $k_B = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$, n pa pomeni številsko gostoto gradnikov. Izračunajte Joule-Kelvinov koeficient za liter plazme pri 2000 K, ki smo jo pripravili iz 5×10^{14} gradnikov! Specifična toplota pri konstantnem tlaku, preračunana na gradnik plazme, znaša približno $5k_B/2$.

3. Ravnsko molekulo sestavlja 100 členov, ki v osnovni konformaciji tvorijo cikcakasto strukturo. Zaporedna člena lahko oklepata tudi iztegnjeni kot, vendar je tedaj energija vezi za 0.025 eV višja kot pri osnovni konformaciji. Kolikšen je pri 300 K konformacijski prispevek k toplotni kapaciteti take molekule? — Za koliko se spremeni konformacijska entropija molekule, ko dvignemo temperaturo s 300 K na 400 K?
4. Določite temperaturo fotonskega plina, v katerem je povprečna energija prostorninske enote enaka $2 \times 10^{-6} \text{ J/m}^3$! Kolikšne so fluktuacije energije (σ_E) kubičnega metra takega plina?

Izpit

5. 9. 2012

1. Obnašanje N_2O opišemo z Berthelotovo enačbo stanja

$$\left(p + \frac{a}{V_M^2 T}\right) (V_M - b) = RT,$$

kjer je $a = 87.2 \text{ Jm}^3\text{K/mol}^2$ in $b = 3.25 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{mol}$. Izračunajte kritično temperaturo, tlak in kilomolsko prostornino N_2O !

2. Denimo, da bi bila voda idealen dielektrik in ne bi prevajala niti v zelo močnem električnem polju, kjer je

$$P(E, T) = P_0 \left(1 - \frac{aT}{E}\right);$$

$P_0 = 0.2 \text{ As/m}^2$ je nasičena polarizacija vode in $a = 2.3 \times 10^6 \text{ V/mK}$. — V začetku se voda pri 20°C nahaja v polju jakosti 10^9 V/m . Za koliko se spremeni njena temperatura, ko električno poljsko jakost adiabatno reverzibilno dvignemo na $5 \times 10^9 \text{ V/m}$? Vzemite, da je specifična toplota vode pri konstantni električni poljski jakosti 4200 J/kgK , gostota pa 1000 kg/m^3 , in da se med poskusom ne spreminjata. — Kolikšna je pri omenjenem procesu sprememba notranje energije litra vode?

3. Gradnike neidealnega plina veže parska interakcija

$$\phi(r) = \begin{cases} \phi_0 [1 - (r/\sigma)], & r \leq \sigma \\ 0, & r > \sigma \end{cases},$$

kjer je $\sigma = 5 \text{ nm}$ in $\phi_0 = 3 \times 10^{-4} \text{ eV}$. Pri temperaturi 27°C je v m^3 plina 10^{24} gradnikov. — Za koliko % odstopa temperaturni koeficient prostorninskega raztezka od rezultata za idealni plin? — Kolikšno je odstopanje razlike specifičnih toplot $c_p - c_V$, preračunane na gradnik, od vrednosti za idealni plin?

4. Model dvorazsežne trdine predstavlja obsežna kvadratna mreža $N \times N$ atomov, v kateri so najbližji sosedje povezani med seboj. Lastne frekvence transversalnih valovanj, ki se širijo po taki mreži

$$\omega(q_x, q_y) = \omega_0 \sqrt{2(2 - \cos q_x a - \cos q_y a)},$$

so odvisne od komponent valovnega vektorja $q_i = 2\pi n_i / Na$ ($i = x, y$), kjer je n_i celo število med $-N/2$ in $N/2$ ter $a = 1 \text{ nm}$ razdalja med sosednima atomoma. Kolikšna je pri 4 K specifična toplota take trdine? Računajte z $\omega_0 = 10^{12} \text{ s}^{-1}$! — Za koliko se spremeni entropija kosa trdine iz 10^{24} atomov, ko ga segrejemo s 4 K na 8 K ?

$\int_0^\infty \exp(-ax^2) dx = \frac{\sqrt{\pi}}{2\sqrt{a}}$	$\int_0^\infty \frac{x dx}{\exp(x) - 1} = \frac{\pi^2}{6}$	$\int_0^\infty \frac{x dx}{\exp(x) + 1} = \frac{\pi^2}{12}$
$\int_0^\infty x \exp(-ax^2) dx = \frac{1}{2a}$	$\int_0^\infty \frac{x^2 dx}{\exp(x) - 1} \approx 2.404$	$\int_0^\infty \frac{x^2 dx}{\exp(x) + 1} \approx 1.803$
$\int_0^\infty x^2 \exp(-ax^2) dx = \frac{\sqrt{\pi}}{4\sqrt{a^3}}$	$\int_0^\infty \frac{x^3 dx}{\exp(x) - 1} = \frac{\pi^4}{15}$	$\int_0^\infty \frac{x^3 dx}{\exp(x) + 1} = \frac{7\pi^4}{120}$
$\int_0^\infty x^3 \exp(-ax^2) dx = \frac{1}{2a^2}$	$\int_0^\infty \frac{x^4 dx}{\exp(x) - 1} \approx 24.886$	$\int_0^\infty \frac{x^4 dx}{\exp(x) + 1} \approx 23.331$

1. kolokvij

3. 12. 2010

1. Susceptibilnost feromagneta nad temperaturo faznega prehoda T_c podaja zveza

$$\chi = \frac{a}{T - T_c},$$

kjer je $a = 4400$ K in $T_c = 17^\circ\text{C}$. Izračunajte razliko specifičnih toplot $c_H - c_M$ v magnetnem polju jakosti 10^4 A/m pri temperaturi 27°C ! Za koliko se spremeni notranja energija vzorca z maso 10 g, ko pri 27°C izotermno vključimo polje jakosti 10^4 A/m? Gostota feromagneta se ne spreminja in znaša 7900 kg/m³.

2. V ležečem toplotno izoliranem valju, ki ga z ene strani zapira gibljiv bat s presekom 1 dm² in maso 40 kg, imamo pri 100°C v ravnovesju 1 g tekoče vode in 1 g vodne pare. Valj obdaja ozračje pri 10^5 Pa. V nekem trenutku bat pritrdimo in valj zasučemo za 90° tako, da ga bat zapira z zgornje strani. Bat sprostimo in počakamo na vzpostavitev ravnovesja. Kolikšna je zdaj temperatura v valju, če ta še vedno vsebuje tekočo vodo in paro? — Koliko dela skupaj prejmeta/opravita voda in para? Za koliko se pri poskusu spremeni masa pare? — Kilomolska masa vode je 18 kg/kmol, izparilna toplota pri 100°C 2.26 MJ/kg, specifični toploti pare in tekoče vode pri konstantnem tlaku pa sta 1850 J/kgK in 4200 J/kgK. Gostota tekoče vode je enaka 1000 kg/m³.

2. kolokvij

31. 1. 2011

1. V posodi s prostornino 1 m^3 imamo dvoatomni plin pri 1 mbar in 25 K. Izračunajte spremembo rotatorske entropije, ko segrejemo plin s 25 K na 30 K! Značilna rotatorska temperatura $\hbar^2/2Ik_B$ znaša 86 K. (Tu pomeni I vztrajnostni moment za vrtenje molekule okoli prečne simetrijske osi.) — Kolikšen bi bil rezultat pri segrevanju iste količine plina s 1500 K na 1505 K?
2. Zelo dolga pravokotna plošča je z daljšo izmed stranic vrtljivo vpeta na ravno steno velike posode. V posodi je razredčena suspenzija kroglic s premerom 100 nm in gostoto $10^{18}/\text{m}^3$. Skicirajte kroglicam dostopno območje, ko je kot ϕ med ploščo in steno enak 45° ! Kolikšen je tedaj navor na dolžinsko enoto plošče, če je krajša stranica dolga 1 m, temperatura pa znaša 27°C ? Težnost zanemarite! — Kako se spremeni rezultat, če med ploščo in steno deluje dodatna interakcija z dolžinsko gostoto energije $\epsilon(\phi) = \epsilon_0 \cos^2 \phi$, kjer je $\epsilon_0/k_B T = 10^4/\text{m}$? Pri katerem ϕ navor v tem primeru zamenja smer? (Limite $\phi \rightarrow 0$ ni potrebno obravnavati.)

Izpit

11. 3. 2011

1. Liter idealnega dvoatomnega plina pri 1 bar in 20°C podvržemo naslednji krožni spremembi: najprej izohorno potrojimo tlak, nato plin izotermno razpnemo do začetnega tlaka, na koncu pa ga izobarno stisnemo na prvotno prostornino. Skicirajte opisano spremembo na diagramu $p - V$ in določite njen izkoristek! Kolikšna je sprememba entropije na izotermnem odseku spremembe?

2. Izotermno susceptibilnost feromagneta nad temperaturo faznega prehoda T_c podaja zveza

$$\chi_T = \frac{a}{T - T_c},$$

kjer je $a = 4400$ K in $T_c = 17^\circ\text{C}$. Izračunajte razliko izotermne in adiabatne susceptibilnosti v magnetnem polju jakosti 10^4 A/m pri temperaturi 27°C ! Gostota feromagneta znaša 7900 kg/m³, specifična toplota pri konstantni magnetizaciji pa 460 J/kgK.

3. Skozi središče planeta z maso $M = 2 \times 10^{28}$ kg in polmerom $R = 10^5$ km izvrtamo ozek raven predor in ga napolnimo z argonom pri temperaturi 100 K. Potencialna energija atoma z maso m na razdalji r od središča planeta znaša $GmMr^2/2R^3$, kjer je $G = 6.67 \times 10^{-11}$ Nm²/kg². Izračunajte povprečja $\langle r \rangle$, $\langle r^2 \rangle$ in $\sigma = (\langle r^2 \rangle - \langle r \rangle^2)^{1/2}$ za posamezen atom! Kilomolska masa argona znaša 40 kg/kmol.
4. Model za belo pritlikavko je idealni elektronski plin pri zelo nizki temperaturi. Kolikšna sta pri absolutni ničli kemijski potencial in izotermna stisljivost take zvezde v ultrarelativistični limiti, ko velja $E = cp$ (c je hitrost svetlobe, p gibalna količina)? Tlak v beli pritlikavki znaša 3.2×10^{28} Pa.

Izpit

31. 8. 2011

1. Fotonski plin podvržemo reverzibilni krožni spremembi, ki jo sestavljata dve izobari in dve izohori. Izračunajte izkoristek takega toplotnega stroja, če je razmerje največje in najmanjše prostornine v ciklu enako 3, razmerje najvišjega in najnižjega tlaka pa 2! Gostota notranje energije fotonskega plina je $u = 4\sigma T^4/c$, kjer pomeni σ Stefanovo konstanto in c hitrost svetlobe. Tlak fotonskega plina je enak $u/3$.

2. Tlak hladne plazme določa zveza

$$p = nk_B T - \frac{an^{3/2}}{3T^{1/2}},$$

kjer je $a = 5.5 \times 10^{-29} \text{ Jm}^{3/2}\text{K}^{1/2}$, $k_B = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$, n pa pomeni številsko gostoto gradnikov. Za liter plazme pri 2000 K, ki smo jo pripravili iz 5×10^{14} gradnikov, izračunajte Hirnov koeficient

$$\left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_U = \frac{1}{C_V} \left[p - T \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V \right],$$

kjer označuje C_V toplotno kapaciteto! Specifična toplota pri konstantni prostornini, preračunana na gradnik plazme, znaša približno $3k_B/2$. — Z litrom plazme, ki je sprva pri 2000 K, opravimo Hirnov poskus, pri čemer se prostornina plazme podvoji. Kolikšna je sprememba temperature?

3. Argon pri 100 bar in 300 K se adsorbira na površino, na kateri je 10^{20} adsorpcijskih mest. Izračunajte povprečno vezavno energijo sistema adsorbiranih atomov, če znaša vezavna energija posameznega atoma 0.1 eV! Vrtilna količina argona je enaka 0, kilomolska masa pa 40 kg/kmol. — Kolikšen je adsorpcijski prispevek k toplotni kapaciteti sistema?
4. Razsežno ledeno ploščo imamo v vakuumu pri stalni temperaturi -90°C . Za koliko se stanjša vsako uro, če je parni tlak $9 \times 10^{-5} \text{ mbar}$, gostota ledu pa 924.9 kg/m^3 ? Koliko toplote moramo dovesti kvadratnemu metru plošče v eni uri, da se temperatura ledu ne spremeni? Kilomolska masa vode je 18 kg/kmol, sublimacijska toplota pa 2.9 MJ/kg.

1. kolokvij

4. 12. 2009

1. Denimo, da bi bila voda idealen dielektrik in ne bi prevajala niti v zelo močnem električnem polju, kjer je

$$P(E, T) = P_0 \left(1 - \frac{aT}{E}\right);$$

$P_0 = 0.2 \text{ As/m}^2$ je nasičena polarizacija vode in $a = 2.3 \times 10^6 \text{ V/mK}$. Kolikšna je razlika specifičnih toplot $c_E - c_P$? Koliko toplote izmenja z okolico liter vode, ko pri 20°C polarizacija naraste z $0.8P_0$ na $0.9P_0$? Gostota je 1000 kg/m^3 , prostornina vzorca se ne spreminja.

2. V toplotno izolirani litrski posodi, ki jo z okoliškim ozračjem povezuje ventil, imamo zrak pri 20°C . Na ustje ventila pritrdimo gumijasto opno. Ventil odpremo in zrak iz posode napihne opno v kroglast balon. Kolikšen je bil začetni tlak v posodi, če je polmer balona po dolgem času enak 5 cm ? Kilomolska masa zraka je 29 kg/kmol , specifična toplota c_V 715 J/kgK , razmerje specifičnih toplot c_p/c_V pa $7/5$. Opni pripišemo koeficient površinske napetosti 800 N/m . Privzemite, da je opna toplotni izolator in da sta njeni toplotna kapaciteta in začetna površina zanemarljivi. Tlak okoliškega ozračja je 1 bar . — Kolikšna je sprememba entropije zraka, ki je bil sprva v posodi?

2. kolokvij

3. 2. 2010

1. Plin dendrimerskih molekul veže parska interakcija

$$\phi(r) = \phi_0 \exp[-(r/\sigma)^2]$$

s $\phi_0 = 5 \times 10^{-4}$ eV in $\sigma = 5$ nm. Pri 300 K je v m^3 plina 10^{24} molekul. Izračunajte drugi virialni koeficient! Za koliko odstotkov odstopa pri teh pogojih tlak plina od rezultata za idealni plin? — S plinom, ki je sprva pri omenjenih pogojih, napravimo Hirnov poskus. Kolikšna je sprememba temperature, če pade pri poskusu gostota plina na stotino začetne vrednosti?

2. Mrežna nihanja v dvorazsežni trdnini opišemo z Debyevim modelom. Določite Debyevo frekvenco, če je hitrost zvoka v trdnini enaka 2800 m/s, številska gostota atomov $2 \times 10^{20}/\text{m}^2$, polarizaciji pa sta dve! Kolikšen je prispevek mrežnih nihanj k specifični toploti dvorazsežne trdnine pri 3 K? — Kolikšno je odstopanje specifične toplote od visokotemperaturne limite pri 1800 K? *Namig:* Pri računu odstopanja si pomagajte s primernim razvojem v potenčno vrsto!

$\int_0^\infty \exp(-ax^2) dx = \frac{\sqrt{\pi}}{2\sqrt{a}}$	$\int_0^\infty \frac{x dx}{\exp(x) - 1} = \frac{\pi^2}{6}$	$\int_0^\infty \frac{x dx}{\exp(x) + 1} = \frac{\pi^2}{12}$
$\int_0^\infty x \exp(-ax^2) dx = \frac{1}{2a}$	$\int_0^\infty \frac{x^2 dx}{\exp(x) - 1} \approx 2.404$	$\int_0^\infty \frac{x^2 dx}{\exp(x) + 1} \approx 1.803$
$\int_0^\infty x^2 \exp(-ax^2) dx = \frac{\sqrt{\pi}}{4\sqrt{a^3}}$	$\int_0^\infty \frac{x^3 dx}{\exp(x) - 1} = \frac{\pi^4}{15}$	$\int_0^\infty \frac{x^3 dx}{\exp(x) + 1} = \frac{7\pi^4}{120}$
$\int_0^\infty x^3 \exp(-ax^2) dx = \frac{1}{2a^2}$	$\int_0^\infty \frac{x^4 dx}{\exp(x) - 1} \approx 24.886$	$\int_0^\infty \frac{x^4 dx}{\exp(x) + 1} \approx 23.331$

Izpit

4. 3. 2010

1. Enoatomni idealni plin najprej izobarno raztegnemo, nato ga izohorno ohladimo in na koncu adiabatno reverzibilno stisnemo, da ponovno dosežemo začetno stanje. Skicirajte cikel na diagramu $p - V$! Kolikšen je njegov izkoristek, če je razmerje največje in najmanjše prostornine 2? Kolikšen pa je, če enoatomni plin nadomestimo z dvoatomnim?
2. Pri temperaturi 113.3°C sta fazi α in β trdnega žvepla v ravnovesju pri tlaku 5×10^{-7} bar. Pri teh pogojih znašata gostoti omenjenih faz $\rho_\alpha = 2070 \text{ kg/m}^3$ in $\rho_\beta = 1960 \text{ kg/m}^3$, utajena toplota prehoda $\alpha \rightarrow \beta$ pa 25.6 kJ/kg . H kateri temperaturi se premakne ravnovesje, ko tlak naraste na 1288 bar ? (i) Privzemite, da se spremembi entropije in prostornine ΔV pri prehodu $\alpha \rightarrow \beta$ s tlakom (p) in temperaturo (T) ne spreminjata! (ii) Privzemite, da je utajena toplota od p in T neodvisna ter da velja $\Delta V = \Delta V_0(1 - ap)$, kjer je $a = 1.55 \times 10^{-5} \text{ bar}^{-1}$, ΔV_0 pa označuje spremembo prostornine pri 113.3°C !
3. Prvo krajišče popolnoma gibkega 10^{20} -členskega polimera pritrdimo, na drugo pa obesimo utež z maso $4 \times 10^{-10} \text{ g}$. Izračunajte povprečno potencialno energijo uteži, če je dolžina posameznega monomera 2 nm , temperatura pa 300 K ! (Ničlo energije postavite v prvo krajišče!) — Koliko toplote izmenja polimer z okolico, ko pri nespremenjeni temperaturi podvojimo maso uteži?
4. Kolikšen je pri absolutni ničli kemijski potencial dvorazsežnega elektronskega plina v ultrarelativistični limiti, ko velja $E = cp$ (c je hitrost svetlobe, p gibalna količina)? Povprečna gostota energije je $3 \times 10^{15} \text{ J/m}^2$. — Kolikšna je površinska napetost plina?

Izpit

6. 9. 2010

1. V vodoravnem valju je gibljiv bat, ki ga na eno izmed valjevih osnovnih ploskev pripenja vzmet s koeficientom 10^3 N/m. Prekat z vzmetjo je evakuiran. Če bi bil evakuiran tudi prekat brez vzmeti, bi bila njegova prostornina 1 dm^3 . Ko prekat brez vzmeti napolnimo z zrakom pri 20°C in 1 bar, zadržujemo bat v taki legi, da je skrček vzmeti enak 10 cm. Bat nato nenadoma izpustimo. Kolikšen je ravnovesni tlak v prekату z zrakom? Kolikšna je sprememba entropije zraka? Sistem se ves čas nahaja v termostatu s temperaturo 20°C , površina osnovne ploskve valja je 1 dm^2 .
2. Enačba stanja gumijaste vrvice se glasi

$$\frac{\mathcal{F}}{A} = aT \left(\frac{\ell}{\ell_0} - \frac{\ell_0^2}{\ell^2} \right),$$

kjer pomeni \mathcal{F} natezno silo, T temperaturo in ℓ dolžino vrvice. Nadalje sta A in ℓ_0 presek ter dolžina neobremenjene vrvice; $a = 50 \text{ N/m}^2\text{K}$. Kolikšna je razlika specifičnih toplot $c_{\mathcal{F}} - c_{\ell}$, ko podvojimo dolžino sprva neobremenjene vrvice, če znaša gostota gume 1100 kg/m^3 ?

3. Vodno paro pri 27°C in 1 bar imamo v zaprti posodi s prostornino 1 m^3 . Paro segrevamo za 30°C na dva načina: prvič segrevamo v električnem polju jakosti 10^6 V/m , drugič pa polja ne vključimo. Za koliko se sprememba entropije pri prvem načinu segrevanja razlikuje od spremembe entropije pri drugem? Električni dipolni moment vodne molekule znaša $6.1 \times 10^{-30} \text{ Asm}$. *Namig: Preverite, ali lahko računate v limiti šibkega električnega polja!*
4. Kolikšna je povprečna energijska gostota dvorazsežnega polariziranega fotonskega plina pri 480 K ? Koliko fotonov je v povprečju v kvadratnem metru takega plina?

STATISTIČNA FIZIKA 2009/10

1. kolokvij

2. 12. 2009

1. Skozi središče planeta z maso $M = 2 \times 10^{28}$ kg in polmerom $R = 10^5$ km izvrtamo raven predor in ga napolnimo z argonom pri temperaturi 100 K. Težni pospešek na razdalji z od središča planeta je enak GMz/R^3 , kjer je $G = 6.67 \times 10^{-11}$ Nm²/kg². Kako je potencialna energija posameznega atoma Ar odvisna od z ? Izračunajte povprečje $\langle z \rangle$! Kilomolska masa argona znaša 40 kg/kmol. — Plin v predoru segrejemo za 20 K. Kolikšna je sprememba specifične entropije (na delec)?
2. Podolgovato makromolekulo si predstavljamo kot togo paličico dolžine 20 nm. V razredčeno suspenzijo takih molekul potopimo vzporedni ravni plošči s površino 1 m², ki sta razmaknjeni za 15 nm. Za koliko se spremeni sila med ploščama, ko vključimo magnetno polje jakosti 10^6 A/m, usmerjeno pravokotno nanju? Interakcijo makromolekule z magnetnim poljem opisuje hamiltonka $\mathcal{H}_m = -\gamma(\mathbf{a} \cdot \mathbf{H})^2$, kjer pomeni \mathbf{a} enotski vektor v smeri molekulske dolge osi in \mathbf{H} vektor magnetne poljske jakosti; $\gamma = 10^{-34}$ Vsm²/A. V cm³ suspenzije je 10^{14} molekul; temperatura znaša 300 K. Računajte v limiti šibke sklopitve s poljem!

2. kolokvij

2. 2. 2010

1. Tri spine, ki ležijo v ogliščih enakostraničnega trikotnika, izpostavimo zunanjemu magnetnemu polju z gostoto B . V hamiltonki sistema

$$H = -J \sum_{\langle i,j \rangle} s_i s_j - \gamma \hbar B \sum_{i=1}^3 s_i$$

teče prva vsota po parih sosednih spinov in opisuje interakcijo med njimi, druga pa predstavlja sklopitev spinov z zunanjim poljem; s_i lahko pri tem zavzame vrednosti $+1/2$ in $-1/2$. Skicirajte možna stanja sistema in izračunajte fazno vsoto! Kolikšna je magnetna susceptibilnost trojice spinov pri 300 K? Računajte z $J = 0.02$ eV in $\gamma = e_0/m$, kjer pomeni e_0 osnovni naboj, m pa maso elektrona. Prostornina, ki jo zavzema trojica, je 0.1 nm^3 .

2. Povprečna gostota polariziranega dvorazsežnega fotonskega plina je $10^{10}/\text{m}^2$. Določite temperaturo plina! Kolikšne so fluktuacije energije (σ_E) kvadratnega metra plina?

Izpit

19. 2. 2010

1. Vež med sosednima členoma v enorazsežnem N -členskem polimeru je lahko bodisi iztegnjena bodisi prelomljena. Energija prelomljene vezi je za 0.05 eV višja od energije iztegnjene. Izračunajte povprečno dolžino polimera pri 300 K za (a) $N = 3$ in (b) $N = 10$! Dolžina enega člena je 1 nm. *Navodilo:* Dolžino merimo od začetnega do končnega krajišča polimera. Dolžina posamezne konformacije je pozitivna, če je vektor, ki kaže od začetnega do končnega krajišča, usmerjen v isto smer kot začetni monomer; sicer je negativna.
2. Izračunajte povprečno energijo delca v dvorazsežnem nedegeneriranem idealnem plinu pri 5×10^9 K! Energija delca z gibalno količino p je $E = \sqrt{m^2c^4 + p^2c^2}$, kjer pomeni $m = 0.511 \text{ MeV}/c^2$ njegovo mirovno maso in c hitrost svetlobe.
3. Energijski spekter ravninskega rotatorja določa zveza $E_j = k_B T_r j^2$ ($j = 0, 1, 2, \dots$), kjer je $T_r = 150$ K. Osnovno stanje je nedegenerirano, ostala pa imajo dvojno degeneracijo. Za koliko se spremeni entropija rotatorja, ko ga segrejemo s 25 K na 30 K? Kolikšna je sprememba pri segretju s 1500 K na 1505 K?
4. Model enorazsežne trdnine je dolga linearna veriga N atomov, v kateri so najbližji sosedje povezani z vzmetmi. Lastne frekvence longitudinalnih valovanj, ki se širijo po taki verigi, so

$$\omega_q = \omega_0 \sqrt{2(1 - \cos qa)}$$

s $q = 2\pi n/Na$, kjer je n celo število med $-N/2$ in $N/2$ ter $a = 1$ nm razdalja med sosednima atomoma. Kolikšno je pri 300 K za tako verigo relativno odstopanje specifične toplote od visokotemperaturne limite? Računajte z $\omega_0 = 10^{12} \text{ s}^{-1}$.

STATISTIČNA FIZIKA 2009/10

Izpit

6. 9. 2010

1. Razsežni vzporedni plošči potopimo v raztopino sferocilindrov z gostoto $10^{18}/\text{m}^3$. Kolikšna sila deluje pri 27°C med kvadratni decimeter velikima odsekoma plošč, če je razdalja med ploščama 180 nm, dolžina in širina sferocilindrov pa 400 nm in 100 nm?

2. Tri spine, ki ležijo v ogliščih enakostraničnega trikotnika, veže Isingova interakcija s hamiltonko

$$H = -J \sum_{\langle i,j \rangle} s_i s_j,$$

v kateri teče vsota po parih sosednih spinov; s_i lahko pri tem zavzame vrednosti $+1/2$ in $-1/2$. Kolikšna je sprememba entropije sistema, ko ga segrejemo s 300 K na 400 K? Računajte z $J = 0.02$ eV!

3. V magnetnem polju z gostoto 0.7 T je sol, ki vsebuje paramagnetne ione s spinom 1 in giromagnetnim razmerjem e_0/m , kjer pomeni m maso elektrona, e_0 pa osnovni naboj. Kolikšna mora biti temperatura soli, da bodo fluktuacije magnetizacije desetkrat večje od njenega povprečja? Magnetni momenti ionov so neodvisni.
4. Imamo tri med seboj povezane posode, ki so napolnjene z istim idealnim plinom. Prvo in drugo posodo povezuje okrogla odprtina premera 0.1 mm, prav taka odprtina pa povezuje tudi drugo in tretjo posodo. Druga posoda je toplotno izolirana. V prvi posodi vzdržujemo tlak 1 Pa in temperaturo 300 K, v tretji pa tlak 1.1 Pa in temperaturo 600 K. Določite ravnovesna tlak in temperaturo v drugi posodi! Polmer atomov plina ocenimo na 10^{-10} m.

TERMODINAMIKA 2008/09

1. kolokvij

28. 11. 2008

1. Idealna toplotna črpalka prejema toploto od koščka superprevodnika, ki je v začetku pri temperaturi 10 K, in jo oddaja toplotnemu rezervoarju s stalno temperaturo 12 K. Koliko toplote je prejel rezervoar do trenutka, ko se je superprevodnik ohladil na 3 K? Koliko dela je bilo pri tem porabljenega? Superprevodnik je bil med ohlajanjem sprva v normalni fazi s temperaturno odvisno toplotno kapaciteto $C_N(T) = bT^3 + cT$, pri kritični temperaturi 7 K pa je brez utajene toplote prešel v superprevodno fazo, v kateri je toplotna kapaciteta enaka $C_S(T) = aT^3$. Računajte z $a = 10^{-5} \text{ J/K}^4$, $b = 8 \times 10^{-6} \text{ J/K}^4$ in $c = 6 \times 10^{-6} \text{ J/K}^2$!
2. V vodoravnem valju je gibljiv bat, ki ga na eno izmed osnovnih ploskev pripenja vzmet s koeficientom $2 \times 10^3 \text{ N/m}$. Oba prekata v valju sta sprva evakuirana, v prekatu brez vzmeti pa leži ampula prostornine 0.1 dm^3 , ki vsebuje zrak pri 10^6 Pa in 100°C . Ampula počne. Kolikšen je tlak zraka, ko se vzpostavi ravnovesje, če je iz valja ušlo v okolico 20 J toplote? Kolikšni sta končna temperatura in sprememba entropije zraka? Presek valja znaša 1 dm^2 , začetna dolžina prekata z ampulo pa 0.5 m. Razmerje specifičnih toplot je za zrak enako 7/5.

2. kolokvij

22. 1. 2009

1. Izračunajte razliko specifičnih toplot $c_E - c_P$ za olje, ki ima pri 27°C gostoto 800 kg/m^3 in je izpostavljeno električnemu polju jakosti 10^7 V/m ! Pri navedenih pogojih je izotermna električna susceptibilnost enaka 2, njeno temperaturno odvisnost pa določa zveza

$$\frac{\chi}{\chi + 3} \propto 1 + \frac{C}{T}$$

s $C = 30 \text{ K}$. Za koliko se razlikujeta izotermna in adiabatna susceptibilnost? Privzemite, da se prostornina olja ne spreminja in da je $c_P = 1700 \text{ J/kgK}$!

2. Nezvezni fazni prehod v zunanjem polju jakosti h opišemo z razvojem gostote proste entalpije

$$g(T, h, \phi) = g_0(T) + \frac{1}{2}a(T - T^*)\phi^2 - \frac{1}{4}b\phi^4 + \frac{1}{6}c\phi^6 - h\phi,$$

kjer označuje ϕ ureditveni parameter, T temperaturo in $g_0(T)$ gostoto proste entalpije visokotemperaturne faze; a , b , c in T^* so pozitivne konstante.

Visoko- in nizekotemperaturno fazo imamo v ravnovesju v odsotnosti zunanjega polja. Kolikšna je utajena toplota faznega prehoda? Za koliko se spremeni ureditveni parameter vsake izmed faz, ko pri nespremenjeni temperaturi vključimo šibko zunanje polje s $h = 5 \text{ kJ/m}^3$? Računajte z $a = 280 \text{ kJ/m}^3\text{K}$, $b = 15 \text{ MJ/m}^3$, $c = 160 \text{ MJ/m}^3$ in $T^* = 23^\circ\text{C}$!

Če postavimo $b = 0$, postane prehod zvezen. Kako je tedaj pri kritični temperaturi (temperaturi prehoda pri $h = 0$) ureditveni parameter odvisen od jakosti zunanjega polja?

TERMODINAMIKA 2008/09

Izpit

20. 3. 2009

1. Obnašanje N_2O opišemo z Berthelotovo enačbo stanja

$$\left(p + \frac{a}{V_M^2 T}\right) (V_M - b) = RT,$$

kjer je $a = 87.2 \text{ Jm}^3\text{K/mol}^2$ in $b = 3.25 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{mol}$. Izračunajte kritično temperaturo N_2O ! Za koliko se spremeni specifična toplota N_2O pri stalni prostornini, ko pri temperaturi, ki je za 20°C nad kritično, zmanjšamo gostoto plina z 20 kg/m^3 na 10 kg/m^3 ? Kilomolska masa N_2O je 44 kg/kmol .

2. Idealni plin podvržemo naslednji reverzibilni krožni spremembi: plin najprej adiabatno stisnemo s prostornine V_0 na prostornino V_1 , zatem pa ga izobarno razpnemo na prostornino V_2 ; temu sledita adiabatno razpenjanje do začetne prostornine in izohorno ohlajanje do začetnega stanja. Kolikšen je izkoristek krožne spremembe, če je kompresijsko razmerje V_0/V_1 enako 21, ekspanzijsko V_2/V_1 pa 2? Kolikšna je sprememba entropije kilograma plina na izobari? Specifična toplota pri konstantni prostornini znaša $c_V = 720 \text{ J/kgK}$, razmerje specifičnih toplot c_p/c_V pa $7/5$.
3. Kromov galun ima pri 20°C magnetno permeabilnost 1.00029, gostoto 1830 kg/m^3 in specifično toploto pri stalni magnetizaciji 1400 J/kgK . Vzorec kromovega galuna pri 20°C izotermno namagnetimo, da magnetizacija naraste z 0 na 10^5 A/m , nato pa ga adiabatno razmagnetimo, da pade magnetizacija zopet na 0. Za koliko $^\circ\text{C}$ se pri tem ohladi? Kolikokrat moramo cikel ponoviti, da se vzorec ohladi pod -23°C ? Privzemite, da velja Curiejev zakon!
4. Disociacijo plinastega didušikovega tetroksida v plinasti dušikov dioksid opisuje ravnotežna reakcija $N_2O_4^{(g)} \rightleftharpoons 2NO_2^{(g)}$. Reakcijska prosta entalpija pri 25°C in 1 bar je enaka 4.41 kJ/mol . Kolikšna je stopnja disociacije N_2O_4 v ravnovesju pri teh pogojih? Kolikšna je pri 25°C in 10 bar? *Kemijski poduk:* Če imamo v začetku v posodi samo reaktant in počakamo, da se vzpostavi ravnovesje, pomeni stopnja disociacije delež reaktanta, ki je pri tem razpadel.

TERMODINAMIKA 2008/09

Izpit

11. 9. 2009

1. V navpični evakuirani 5 m visoki valjasti cevi s premerom 0.5 m je bat z maso 60 kg. Cev, ki je toplotno izolirana, ima na spodnjem delu pipo, ki jo odpremo, da okolni zrak s tlakom 1 bar in temperaturo 20°C vdre pod bat. Počakamo le toliko, da se zrak umiri. Kolikšna je tedaj temperatura v cevi?

2. Izračunajte Joule-Kelvinov koeficient hladne plazme pri 2000 K! V litru plazme je 5×10^{14} gradnikov, njen tlak pa določa zveza

$$p = nk_B T - \frac{an^{3/2}}{3T^{1/2}},$$

kjer je $a = 5.5 \times 10^{-29} \text{ Jm}^{3/2}\text{K}^{1/2}$, $k_B = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$, n pa pomeni številsko gostoto gradnikov. Specifična toplota pri konstantnem tlaku, preračunana na gradnik plazme, znaša približno $5k_B/2$.

3. Denimo, da obstaja dielektrik, čigar susceptibilnost je podana z

$$\chi(T, E) = \begin{cases} 0, & E < E_c(T) \quad (\text{faza 1}), \\ C/T, & E > E_c(T) \quad (\text{faza 2}). \end{cases}$$

V električnem polju jakosti $3 \times 10^6 \text{ V/m}$ pride do faznega prehoda pri 27°C. Določite poljsko jakost, pri kateri opazimo prehod pri 7°C! Pri prehodu iz faze 1 v fazo 2 se porabi utajena toplota $q(T)$, ki je takole odvisna od temperature: $q(T) = q_0 + k(T - T_0)$; $q_0 = 8 \text{ J/kg}$, $T_0 = 27^\circ\text{C}$ in $k = -0.2 \text{ J/kgK}$. Gostota dielektrika znaša 1400 kg/m^3 , koeficient C pa 3300 K. — Poiščite najvišjo temperaturo, do katere je obstojna faza 1!

4. V galvanskem členu poteka ravnotežna reakcija $\text{Zn}^{(s)} + \text{Cu}^{2+(aq)} \rightleftharpoons \text{Zn}^{2+(aq)} + \text{Cu}^{(s)}$. Pri 25°C in 1 bar znaša reakcijska prosta entalpija -212.55 kJ/mol , reakcijska entalpija pa -218.66 kJ/mol . Če je molska koncentracija ionov Zn^{2+} v raztopini enaka 0.01, ionov Cu^{2+} pa 10^{-4} , reakcija ni v ravnovesju, med z žico povezanima cinkovo in bakrovo elektrodo pa teče električni tok. Kolikšno zunanjo električno napetost moramo tedaj priključiti med elektrodi, da reakcijo in električni tok ustavimo? Za koliko se mora ta napetost spremeniti, če galvanski člen pri stalnem tlaku segrejemo za 1 K, molski koncentraciji ionov pa ostaneta nespremenjeni? Predpostavite, da sta raztopini idealni!

1. kolokvij

10. 12. 2008

1. Idealni plin molekul, ki nosijo električni kvadrupolni moment q , izpostavimo nehomogenemu električnemu polju E s konstantnim gradientom. Orientacijska energija posamezne molekule je tedaj enaka $-\frac{1}{2}q|\nabla E|\cos^2\theta$, kjer pomeni θ kot med simetrijsko osjo molekule in gradientom polja. Kolikšen je kvadrupolni prispevek k toplotni kapaciteti kubičnega metra plina pri 1 bar in 400 K? Računajte z $|\nabla E| = 10^7 \text{ V/m}^2$ in $q = 2 \times 10^{-39} \text{ Asm}^2$! — Plin segrejemo s 400 K na 1000 K. Kolikšna je sprememba kvadrupolne orientacijske entropije?
2. Vež med sosednima členoma v enorazsežnem polimeru je lahko bodisi iztegnjena bodisi prelomljena. Energija prelomljene vezi je za 0.05 eV višja od energije iztegnjene. Kolikšen je pri 300 K relativni efektivni odmik konformacijske energije od povprečja v tisoččlenskem polimeru? — Izračunajte persistenčno dolžino zelo dolgega polimera pri 300 K, če znaša dolžina enega monomera 1 nm. *Fizikalni poduk:* Persistenčno dolžino vpeljemo kot povprečno razdaljo med krajiščem polimera in mestom, kjer se polimer prvič prelomi.

2. kolokvij

2. 2. 2009

1. Idealni plin rotatorjev s kilomolsko maso 2 kg/kmol se adsorbira na stenah posode. Kolikšen delež adsorpcijskih mest je zaseden pri 16 K in kolikšen pri 3200 K , če je gostota plina obakrat enaka $4.5 \times 10^{24}/\text{m}^3$, značilna rotatorska temperatura pa znaša 86 K ? Vezavna energija rotatorja je 10^{-3} eV . Predpostavite, da pri adsorpciji vrtenje rotatorja zamre.
2. Atomi helija v tanki plasti se vedejo kot dvorazsežen bozonski plin. Za koliko se v visokotemperaturni limiti pri 140 K povprečna energija kvadratnega metra plina razlikuje od klasičnega rezultata? Gostota helija je $10^{19}/\text{m}^2$, vrtilna količina 0 , kilomolska masa pa 4 kg/kmol . — Za koliko se od klasične vrednosti razlikuje rezultat za površinsko napetost?

Izpit

16. 3. 2009

1. Neskončen pokončen valj s presekom 1 cm^2 , ki je napolnjen z argonom, izpostavimo težnostnemu polju. Na kateri višini leži v povprečju težišče plina? Kolikšne so fluktuacije lege težišča (σ) v navpični smeri? Temperatura argona je 300 K , kilomolska masa 40 kg/kmol , tlak pri dnu valja pa 10^{-10} Pa . Privzemite, da je težni pospešek neodvisen od višine in da je enak 10 m/s^2 .
2. Plin dendrimerskih molekul veže parska interakcija

$$\phi(r) = \phi_0 \exp[-(r/\sigma)^2]$$

s $\phi_0 = 5 \times 10^{-4} \text{ eV}$ in $\sigma = 5 \text{ nm}$. Pri 300 K je v m^3 plina 10^{24} molekul. Za koliko % odstopa pri teh pogojih temperaturni koeficient prostorninskega raztezka od rezultata za idealni plin? Za koliko % pa od idealnega rezultata odstopa razlika specifičnih toplot $c_p - c_V$?

3. Model za belo pritlikavko je idealni elektronski plin pri zelo nizki temperaturi. Kolikšna je pri absolutni ničli izotermna stisljivost take zvezde v ultrarelativistični limiti, ko velja $E = cp$ (c je hitrost svetlobe, p gibalna količina)? Gostota bele pritlikavke znaša $3.5 \times 10^{10} \text{ kg/m}^3$.
4. Interakcijo med spini v enorazsežni N -členski verigi opišemo z Isingovo hamiltonko

$$H = -J \sum_{i=1}^{N-1} s_i s_{i+1},$$

kjer je J izmenjalni integral, s_i pa lahko zavzame vrednosti $\pm 1/2$. Izračunajte povprečje $\langle s_1 s_N \rangle$ za (a) tročlensko in (b) dvanaajstčlensko verigo, če je $J/k_B T = 4$!

Izpit

14. 9. 2009

1. Skozi središče planeta z maso $M = 2 \times 10^{28}$ kg in polmerom $R = 10^5$ km zvrtno predor s presekom 1 m^2 in ga napolnimo z argonom. Tlak argona v središču planeta je 1 bar, temperatura povsod po predoru pa znaša 100 K. Določite skupno maso argona v predoru! Kolikšna je povprečna potencialna energija plina? Težni pospešek na razdalji z od središča planeta je enak GMz/R^3 , kjer je $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$. Kilomolska masa argona znaša 40 kg/kmol.
2. Vez med sosednima členoma v enorazsežnem N -členskem polimeru je lahko bodisi iztegnjena bodisi prelomljena. Energija prelomljene vezi je za 0.05 eV višja od energije iztegnjene. Izračunajte povprečje $\langle \mathbf{a}_1 \cdot \mathbf{a}_N \rangle$, kjer pomeni \mathbf{a}_i enotski vektor, ki določa smer i -tega monomera, za (a) $N = 3$ in (b) $N = 30$! Temperatura polimera je 300 K.
3. V magnetnem polju z gostoto 0.7 T je sol s paramagnetnimi ioni s spinom 1/2 in giromagnetnim razmerjem e_0/m , kjer pomeni m maso elektrona. Kolikšna mora biti temperatura soli, da bodo fluktuacije magnetizacije desetkrat večje od njenega povprečja? Magnetni momenti ionov so neodvisni. — Kolikšna je sprememba entropije 10^{20} ionov, ko pri izračunani temperaturi izklopimo magnetno polje?
4. Model enorazsežne trdnine je dolga linearna veriga N atomov, v kateri so najbližji sosedje povezani z vzmetmi. Lastne frekvence longitudinalnih valovanj, ki se širijo po taki verigi, so

$$\omega_q = \omega_0 \sqrt{2(1 - \cos qa)}$$

s $q = 2\pi n/Na$, kjer je n celo število med $-N/2$ in $N/2$ ter $a = 1$ nm razdalja med sosednima atomoma. Kolikšno je pri 300 K za tako verigo relativno odstopanje specifične toplote od visokotemperaturne limite? Računajte z $\omega_0 = 10^{12} \text{ s}^{-1}$.

TERMODINAMIKA 2007/08

1. kolokvij

27. 11. 2007

1. V vrelo vodo pri 100°C in 1 bar potopimo toplotno izolirano evakuirano posodo s pipo. V posodi je gibljiv bat, pritrjen na vzmet s koeficientom 10^4 N/m. Bat se v začetku, ko je vzmet nenapeta, dotika ustja pipe. Pipo odpremo, da se tlak v posodi izenači z zunanjim, pri čemer del vode izpari. Kolikšna je masa vode, ki vdre v posodo? Kolikšna je sprememba entropije vode pri vdoru v posodo? Presek bata je 1 dm^2 , izparilna toplota ter kilomolska masa vode pa 2.26 MJ/kg in 18 kg/kmol . Specifični prostornini pare in vode pri navedenih pogojih znašata $1.673\text{ m}^3/\text{kg}$ in $1.043 \times 10^{-3}\text{ m}^3/\text{kg}$.
2. Magnetizacijo vzorca neke paramagnetne snovi opisuje zveza

$$M(T, H) = \frac{ac}{\mu_0 V} \tanh\left(\frac{aH}{T}\right),$$

kjer je T temperatura, H magnetna poljska jakost in V prostornina; $a = 8.4 \times 10^{-7}\text{ Km/A}$, $c = 1\text{ J/K}$ in $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\text{ Vs/Am}$. Toplotna kapaciteta vzorca pri konstantni poljski jakosti je enaka

$$C_H(T, H) = c \left(\frac{aH}{T}\right)^2 \left[\cosh\left(\frac{aH}{T}\right)\right]^{-2}.$$

Snov je v začetku izpostavljena polju jakosti 10^6 A/m pri temperaturi 20 K . Z vzorcem izvedemo naslednjo krožno spremembo: najprej izotermno podvojimo poljsko jakost, nato jo adiabatno reverzibilno zmanjšamo na prvotno vrednost, na koncu pa vzorec pri konstantni poljski jakosti segrejemo na začetno temperaturo. Kolikšna je najnižja temperatura v ciklu? Koliko dela opravi/prejme snov na adiabatih in koliko na odseku s konstantno poljsko jakostjo?

TERMODINAMIKA 2007/08

2. kolokvij

21. 1. 2008

1. Membrana, ki prepušča le vodo, predeljuje posodo na dva dela. V prvem je 0.5% vodna raztopina glukoze, v drugem pa 0.8% vodna raztopina saharoze. Kolikšna tlačna razlika se vzpostavi med deloma posode, ko sta raztopini v ravnovesju pri 90°C? Kolikšna je ta razlika, če pri nespremenjeni temperaturi obe koncentraciji postoterimo? Gostota vode je 1000 kg/m³, kilomolske mase vode, glukoze in saharoze pa so po vrsti 18 kg/kmol, 180 kg/kmol in 342 kg/kmol. Privzemite, da sta raztopini idealni ter da je voda nestisljiva!
2. Izračunajte izparilno toploto Dietericijeve tekočine pri absolutni ničli! Računajte z brezdimenzijsko enačbo stanja

$$\left(\mathcal{P} + \frac{4}{\mathcal{V}^{5/3}}\right)(4\mathcal{V} - 1) = 15\mathcal{T},$$

kjer so $\mathcal{P} = p/p_c$, $\mathcal{V} = V_M/V_{Mc}$ in $\mathcal{T} = T/T_c$ reducirani tlak, kilomolska prostornina ter temperatura. Kritični parametri tekočine znašajo $p_c = 34$ bar, $V_{Mc} = 0.09$ m³/kmol in $T_c = -147^\circ\text{C}$, kilomolska masa pa je enaka 28 kg/kmol.

Izpit

14. 3. 2008

1. Obnašanje vodne pare opiše Callendarjeva enačba stanja

$$V_M - b = \frac{RT}{p} - \frac{a}{T^{10/3}},$$

kjer je V_M kilomolska prostornina, $a = 6.8 \times 10^6 \text{ m}^3\text{K}^{10/3}/\text{kmol}$ in $b = 0.03 \text{ m}^3/\text{kmol}$. Kolikšno je pri 200°C in 1 bar relativno odstopanje izotermne stisljivosti in temperaturnega koeficienta prostorninskega raztezka od rezultatov za idealni plin?

2. Prostorninska gostota entalpije nekega dielektrika je podana z zvezo

$$h(T, E) = -\alpha \frac{E^2}{T} + \beta \frac{E^4}{T^3},$$

kjer pomeni E električno poljsko jakost in T temperaturo; $\alpha = 4 \times 10^{-8} \text{ AsK/Vm}$ in $\beta = 4 \times 10^{-18} \text{ AsK}^3\text{m/V}^3$. Ko dielektrik pri -200°C izpostavimo električnemu polju jakosti $5 \times 10^6 \text{ V/m}$, se v njem pojavi polarizacija $1.45 \times 10^{-3} \text{ As/m}^2$. Kolikšna je polarizacija, ko dielektrik v stalnem polju segrejemo na 0°C ?

3. Nek fazni prehod opišemo z Landauovim razvojem gostote proste entalpije

$$g(T, \phi) = g_0(T) + \frac{1}{2}a(T - T^*)\phi^2 - \frac{1}{4}b\phi^4 + \frac{1}{6}c\phi^6,$$

kjer označuje ϕ parameter urejenosti, T temperaturo in $g_0(T)$ gostoto proste entalpije visokotemperaturne faze; $a = 280 \text{ kJ/m}^3\text{K}$, $b = 15 \text{ MJ/m}^3$, $c = 160 \text{ MJ/m}^3$ ter $T^* = 27^\circ\text{C}$. Kolikšna je najnižja temperatura podhladitve visokotemperaturne faze? Za koliko se pri tej temperaturi razlikujeta specifični toploti visoko- in nizkotemperaturne faze?

4. Tekočini A in B s kilomolskima masama 32 kg/kmol in 58 kg/kmol tvorita idealno binarno zmes. Vrelišči čistih snovi A in B pri tlaku 1 bar sta pri 65°C in 56°C , pripadajoči izparilni toploti pa znašata 1100 kJ/kg in 520 kJ/kg . Določite sestavi kapljevinate in plinaste zmesi, ki sta v ravnovesju pri 1 bar in 60°C ! Kako se spremenita, ko povečamo tlak za 5%? Obe sestavini zmesi sta v kapljevinski fazi nestisljivi; njuna gostota je 790 kg/m^3 .

TERMODINAMIKA 2007/08

Izpit

17. 9. 2008

1. Fotonski plin podvržemo reverzibilni krožni spremembi, ki jo sestavljata dve adiabati in dve izohori. Izračunajte izkoristek takega toplotnega stroja, če je razmerje največje in najmanjše prostornine v ciklu enako 3! Gostota notranje energije fotonskega plina je $u = 4\sigma T^4/c$, kjer pomeni σ Stefanovo konstanto in c hitrost svetlobe. Tlak fotonskega plina je enak $u/3$.
2. V toplotno izolirani evakuirani posodi s prostornino 1 m^3 imamo litrsko jeklenko s tankimi stenami, ki vsebuje 10 g dušika pri 27°C . Jeklenka počí. Za koliko se pri tem spremeni temperatura? Kolikšna je sprememba entropije? Računajte z enačbo stanja

$$\left(\mathcal{P} + \frac{4}{\mathcal{V}^{5/3}}\right)(4\mathcal{V} - 1) = 15\mathcal{T},$$

v kateri nastopajo reducirane količine tlak $\mathcal{P} = p/p_c$, kilomolska prostornina $\mathcal{V} = V_M/V_M^c$ in temperatura $\mathcal{T} = T/T_c$. Kritični parametri za dušik so $p_c = 34.5 \text{ bar}$, $V_M^c = 89.6 \text{ dm}^3/\text{kmol}$ in $T_c = -147.1^\circ\text{C}$. Specifična toplota dušika pri konstantni prostornini znaša 740 J/kgK , kilomolska masa pa 28 kg/kmol .

3. V svincu opišemo kritično jakost magnetnega polja za prehod iz superprevodnega v normalno stanje z empirično zvezo

$$H_c(T) = H_0 - H_1 \left(\frac{T}{T_c}\right)^2 - H_2 \left(\frac{T}{T_c}\right)^4,$$

kjer je $H_0 = 6.5 \times 10^4 \text{ A/m}$, $H_1/H_0 = 0.91$, $H_2/H_0 = 0.09$ in $T_c = 7.22 \text{ K}$. Izračunajte utajeno toploto prehoda pri 5 K ! Koliko toplote se izmenja, ko kilogramski vzorec pri 5 K in $5 \times 10^4 \text{ A/m}$ izotermno preide iz metastabilnega superprevodnega v normalno stanje? Gostota svinca je 11300 kg/m^3 .

4. Pri tlaku 1 bar se snovi A in B dobro mešata v talini, zmesnih kristalov pa ne tvorita. Njuni tališči sta 660°C in 1414°C , utajeni toploti 400 kJ/kg in 1790 kJ/kg , kilomolski masi pa 27 kg/kmol in 28 kg/kmol . Skicirajte fazni diagram pri danem tlaku! Določite sestavo taline, ki je pri 640°C v ravnovesju s kristali snovi A (snovi B)! Predpostavite, da je talina idealna!

1. kolokvij

12. 12. 2007

1. Plin dendrimerskih molekul veže parska interakcija

$$\phi(r) = \phi_0 \exp[-(r/\sigma)^2]$$

s $\phi_0 = 5 \times 10^{-4}$ eV in $\sigma = 5$ nm. Pri 300 K je v m^3 plina 10^{24} molekul. Za koliko % odstopa pri teh pogojih izotermna stisljivost plina od rezultata za idealni plin? Kolikšna je razlika med povprečno gostoto plina in gostoto, ki jo namerimo na razdalji σ od središča posamezne molekule?

2. Podolgovato makromolekulo si predstavljamo kot togo paličico dolžine 20 nm. Idealni plin 10^3 takih molekul pri 300 K ujamemo med vzporedni plošči, ki sta druga od druge oddaljeni za dolžino ene molekule. Kolikšne so fluktuacije (σ) lege težiščne ravnine plina? Za koliko se rezultat spremeni, ko vključimo magnetno polje jakosti 10^6 A/m, ki je usmerjeno pravokotno na plošči? Interakcijo makromolekule z magnetnim poljem opisuje hamiltonka $\mathcal{H}_m = -\gamma(\mathbf{a} \cdot \mathbf{H})^2$, kjer pomeni \mathbf{a} enotski vektor v smeri molekulske dolge osi in \mathbf{H} vektor magnetne poljske jakosti; $\gamma = 10^{-34}$ Vsm²/A!

2. kolokvij

7. 2. 2008

1. V steno velike posode, ki se nahaja v vakuumu in v kateri so srebrove pare pri 0.1 mbar, izvrtamo okroglo luknjico s površino 0.01 mm^2 . Na razdalji 1 m od luknjice postavimo okroglo ploščo s polmerom 0.5 m tako, da imata luknjica in plošča isto simetrijsko os. Kolikšna sila deluje na ploščo, če se ob dotiku vsak atom prilepi nanjo? Kolikšen energijski tok prestreza plošča? Povprečna velikost hitrosti atomov pare znaša 240 m/s.
2. Izračunajte specifično toploto ultrarelativističnega elektronskega plina v zvezdi z gostoto $3.5 \times 10^{10} \text{ kg/m}^3$ pri 10^{10} K ! Energijo ultrarelativističnih elektronov določa zveza $E = cp$, kjer je c hitrost svetlobe, p pa gibalna količina. Uporabite nizkotemperaturni razvoj

$$\int_0^\infty h(E)f(E)dE = \int_0^\mu h(E)dE + \frac{\pi^2}{6}(k_B T)^2 \left. \frac{dh}{dE} \right|_\mu + \dots$$

kjer pomeni $f(E)$ Fermijevo zasedbeno število, $h(E)$ zvezno in pri $E = \mu$ odvedljivo funkcijo, μ pa kemijski potencial! — Kolikšen rezultat bi dobili v visokotemperaturni limiti?

Izpit

12. 3. 2008

1. Ravninsko molekulo sestavlja 12 členov, ki v osnovni konformaciji tvorijo cikcakasto strukturo. Zaporedna člena lahko oklepata tudi iztegnjeni kot, vendar je tedaj energija vezi za 0.025 eV višja kot pri osnovni konformaciji. Kolikšna je pri 300 K povprečna konformacijska energija take molekule? — Razvejenost molekule vpeljemo z zvezo $r = (\langle x \rangle - x_0)/d$, kjer je $\langle x \rangle$ povprečna razdalja med težiščema sosednjih členov. Ti sta pri cikcakasti konformaciji razmaknjeni za x_0 , v iztegnjeni pa za $x_0 + d$. Kolikšna je razvejenost pri 300 K in kolikšna je v nizko/visokotemperaturni limiti?
2. Kolikšna sta pri 300 K površinska napetost in temperaturni koeficient površinskega raztezka v dvorazsežnem idealnem plinu? Za koliko drugačna rezultata dobimo, če plin sestavljajo trdi diski s premerom 0.2 nm? Površinska gostota delcev znaša $2 \times 10^{17} \text{ m}^{-2}$.
3. Izračunajte specifično toploto ravnovesne zmesi para- in ortodevterija pri 20 K! Kakšna je sestava visokotemperaturne ravnovesne zmesi? Značilna rotatorska temperatura molekule devterija znaša 43 K. — *Fizikalni poduk:* Skupna valovna funkcija molekule je simetrična na zamenjavo devteronov. Molekulski spin S lahko zavzame vrednosti 0, 1 ali 2, pri čemer je spinska degeneracija $2S + 1$ -kratna. Paradevteriju pripišemo simetrično spinsko valovno funkcijo in $S = 1$, ortodevteriju pa antisimetrično in $S = 0$ ali 2.
4. Enorazsežno atomsko verigo segrejemo z 2 K na 4 K. Kolikšen je prispevek longitudinalnih valovanj k spremembi specifične entropije pri tem procesu? Kolikšen rezultat pa dobimo pri segrevanju z 800 K na 1000 K? Za koliko odstopa od visokotemperaturne limite? Pomagajte si z Debyevim modelom! Medatomska razdalja znaša 0.1 nm, hitrost zvoka pa 1000 m/s.

Izpit

5. 9. 2008

1. Idealni plin se pri 300 K in 1 bar nahaja v valju s polmerom 1 m in višino 10 m. Kolikšna je sprememba notranje energije plina, ko ga izotermno izpostavimo centrifugalnemu potencialu $V(r) = -\alpha r^2$, kjer je r razdalja od simetrijske osi valja? Računajte z $\alpha = 10^{-3}$ eV/m²! Za koliko se pri tem spremeni vztrajnostni moment $m\langle r^2 \rangle$, kjer pomeni m maso plina, $\langle \dots \rangle$ pa ansambelsko povprečje? Kilomolska masa plina je 4 kg/kmol.
2. Na razsežni vodni gladini plavajo kvadrataste ploščice s stranico 200 nm, ki jih obravnavamo kot redek dvorazsežni plin. Kolikšno silo med metriskima odsekoma vzporednih razsežnih ovir na gladini inducirajo pri 300 K te ploščice, če sta oviri 120 nm vsaksebi? Kolikšna je sila, če razdaljo med ovirama podvojimo? Gostota ploščic je 10¹²/m².
3. Argon pri 100 bar in 300 K se adsorbira na površino, na kateri je 10²⁰ adsorpcijskih mest, pri čemer sta na vsakem mestu možna dva načina vezave. Pripadajoči vezavni energiji znašata 0.1 eV in 0.05 eV. Koliko adsorpcijskih mest je zasedenih v povprečju? Kolikšen je relativni efektivni odmik tega števila? Vrtilna količina argona je enaka 0, kilomolska masa pa 40 kg/kmol.
4. Imamo tri med seboj povezane posode, ki so napolnjene z istim idealnim plinom. Prvo in drugo posodo povezuje okrogla odprtina premera 0.1 mm, prav taka odprtina pa povezuje tudi drugo in tretjo posodo. Druga posoda je toplotno izolirana. V prvi posodi vzdržujemo tlak 1 Pa in temperaturo 300 K, v tretji pa tlak 1.1 Pa in temperaturo 600 K. Določite ravnovesna tlak in temperaturo v drugi posodi! Polmer atomov plina ocenimo na 10⁻¹⁰ m.

TERMODINAMIKA 2006/07

1. kolokvij

20. 4. 2006

1. Obnašanje vodne pare opiše Callendarjeva enačba stanja

$$V_M - b = \frac{RT}{p} - \frac{a}{T^{10/3}},$$

kjer je V_M kilomolska prostornina, $a = 6.8 \times 10^6 \text{ m}^3\text{K}^{10/3}/\text{kmol}$ in $b = 0.03 \text{ m}^3/\text{kmol}$. Kolikšno je pri 200°C in 1 bar relativno odstopanje temperaturnega koeficienta prostorninskega raztezka od rezultata za idealni plin? Kako je pri danem tlaku to odstopanje odvisno od temperature? Za koliko se spremeni specifična toplota pare pri konstantnem tlaku, če pri 200°C dvignemo tlak z 1 bar na 2 bar? Kilomolska masa vode je $18 \text{ kg}/\text{kmol}$.

2. V posodo pri 27°C do vrha nalijemo olje z gostoto $800 \text{ kg}/\text{m}^3$ in dielektričnostjo 3, nato pa posodo zatesnimo. Za koliko se spremeni tlak olja, ko izotermno vključimo električno polje jakosti $10^7 \text{ V}/\text{m}$? Kolikšna bi bila sprememba temperature olja, če bi pred vklopom polja posodo toplotno izolirali? Odvisnost dielektričnosti olja od temperature in gostote podaja zveza $(\epsilon - 1)/(\epsilon + 2) \propto \rho(1 + C/T)$, kjer je $C = 30 \text{ K}$. Specifična toplota olja pri konstantni prostornini znaša $1700 \text{ J}/\text{kgK}$, temperaturni koeficient prostorninskega raztezka 10^{-3} K^{-1} , izotermna stisljivost pa $5 \times 10^{-10} \text{ Pa}^{-1}$.

2. kolokvij

1. 6. 2007

1. V posodi imamo vodo in eter, ki se med seboj ne mešata. Pri 20°C vsebini posode primešamo nehlapno barvilo, ki se raztaplja v obeh frakcijah in pri tem tvori idealni raztopini, ki sta v medsebojnem ravnovesju. Kolikšen je masni delež barvila v etrski in kolikšen v vodni raztopini, če je parni tlak etrske raztopine za 4.3 mbar nižji od parnega tlaka čistega etra, ki pri 20°C znaša 586 mbar? Kolikšno je znižanje parnega tlaka vodne raztopine, če je parni tlak čiste vode pri 20°C enak 23.37 mbar? Kilomolska masa barvila je 340 kg/kmol, etra 74 kg/kmol, vode pa 18 kg/kmol. Gostoti etra in vode sta 713 kg/m³ in 1000 kg/m³.
2. Nek fazni prehod opišemo z Landauovim razvojem gostote proste entalpije

$$g(T, \phi) = g_0(T) + \frac{1}{2}a(T - T^*)\phi^2 - \frac{1}{4}b\phi^4 + \frac{1}{6}c\phi^6,$$

kjer označuje ϕ parameter urejenosti, T temperaturo in $g_0(T)$ gostoto proste entalpije visokotemperaturne faze; a , b , c in T^* so pozitivne konstante. Kolikšen je skok parametra urejenosti pri prehodu med visoko- in nizekotemperaturno fazo? Pri kateri temperaturi pride do prehoda? Računajte z $a = 280 \text{ kJ/m}^3\text{K}$, $b = 15 \text{ MJ/m}^3$ in $c = 160 \text{ MJ/m}^3$, najnižja temperatura podhladitve visokotemperaturne faze pa je enaka 23°C. — Kubični centimeter podhlajene visokotemperaturne faze pri T^* zmotimo, da se vzpostavi ravnovesje. Koliko toplote se sprosti?

TERMODINAMIKA 2006/07

Izpit

26. 6. 2007

1. Obnašanje vodne pare opiše Callendarjeva enačba stanja

$$V_M - b = \frac{RT}{p} - \frac{a}{T^{10/3}},$$

kjer je V_M kilomolska prostornina, $a = 6.8 \times 10^6 \text{ m}^3\text{K}^{10/3}/\text{kmol}$ in $b = 0.03 \text{ m}^3/\text{kmol}$. Kolikšno je pri 200°C in 1 bar relativno odstopanje razlike specifičnih toplot $c_p - c_{V_M}$ od rezultata za idealni plin?

2. Fotonski plin podvržemo naslednji krožni spremembi: najprej mu izotermno podvojimo prostornino, nato ga izohorno ohladimo in na koncu adiabatno stisnemo, da se vrnemo v začetno stanje. Izračunajte izkoristek cikla! Gostota notranje energije fotonskega plina je $u = 4\sigma T^4/c$, kjer pomeni σ Stefanovo konstanto in c hitrost svetlobe. Tlak fotonskega plina je enak $u/3$.

3. Denimo, da obstaja dielektrik, čigar susceptibilnost je podana z

$$\chi(T, E) = \begin{cases} 0, & E < E_c(T) \quad (\text{faza 1}), \\ C/T, & E > E_c(T) \quad (\text{faza 2}). \end{cases}$$

V električnem polju jakosti $3 \times 10^6 \text{ V/m}$ pride do faznega prehoda pri 27°C . Določite poljsko jakost, pri kateri opazimo prehod pri 7°C ! Temperaturno odvisnost utajene toplote, ki se porabi pri prehodu iz faze 1 v fazo 2, opisuje zveza $q(T) = q_0 + k(T - T_0)$, kjer je $q_0 = 8 \text{ J/kg}$, $T_0 = 27^\circ\text{C}$ in $k = -0.2 \text{ J/kgK}$. Gostota dielektrika znaša 1400 kg/m^3 , koeficient C pa 3300 K . — Desetgramski vzorec je pri 7°C izpostavljen električnemu polju jakosti $7 \times 10^6 \text{ V/m}$. Koliko toplote izmenja z okolico, ko polje reverzibilno izključimo?

4. Pri tvorbi plinastega vodikovega jodida iz plinastih vodika in joda $\text{H}_2^{(g)} + \text{I}_2^{(g)} \rightleftharpoons 2\text{HI}^{(g)}$ pri 25°C v reaktorju namerimo naslednje ravnovesne delne tlake: $p_{\text{H}_2} = p_{\text{I}_2} = 0.03 \text{ bar}$ in $p_{\text{HI}} = 0.94 \text{ bar}$. Za koliko se spremenijo, če reaktor segrejemo za 20°C in pri tem tlak vzdržujemo konstanten? Privzemite, da je v obravnavanem temperaturnem intervalu tvorben entalpija vodikovega jodida konstantna in znaša -5.27 kJ/mol !

Izpit

13. 9. 2007

1. V toplotno izoliranem valju je lahek bat, ki ga na eno izmed osnovnih ploskev pripenja vzmet s koeficientom 10^4 N/m. Prekat z vzmetjo je evakuiran, prekat brez vzmeti pa napolnjuje zrak pri 20°C . V prekatu z zrakom se nahaja tudi ampula s prostornino 0.5 l, v kateri je zrak pri 3 bar in 100°C . Vzmet, ki je neobremenjena dolga 0.5 m, je v začetku skrčena za 0.1 m. Ampula počí. Kako dolga je vzmet, ko se vzpostavi ravnovesje? Površina osnovne ploskve valja je 1 dm^2 , višina valja pa 1 m. Računajte s $\kappa = 1.4$!
2. V toplotno izolirani evakuirani posodi imamo litrsko jeklenko s tankimi stenami, ki vsebuje 10 g dušika pri 27°C . Jeklenka počí. Kako velika naj bo posoda, da se dušik pri tem ohladi za 1 K? Računajte z van der Waalsovo enačbo stanja! Kritični parametri za dušik so $p_c = 34.5$ bar, $V_M^c = 89.6\text{ dm}^3/\text{kmol}$ in $T_c = -147.1^\circ\text{C}$. Specifična toplota dušika pri konstantni prostornini znaša 740 J/kgK , kilomolska masa pa 28 kg/kmol .
3. Nek feroelektrik preide iz feroelektrične v paraelektrično fazo pri $T_c = -150^\circ\text{C}$. Nekaj nad to temperaturo v paraelektrični fazi električno susceptibilnost snovi opisuje Curiejev zakon $\chi = C/(T - T_c)$, kjer je $C = 3500\text{ K}$. Če pri T_c vključimo električno polje jakosti $E = 10^6\text{ V/m}$, se v vzorcu pojavi polarizacija 10^{-3} As/m^2 . Izračunajte, za koliko se pri T_c in $E = 0$ razlikujeta specifični toploti feroelektrične in paraelektrične faze! Pomagajte si z Landauovo teorijo faznih prehodov! Gostota feroelektrika je 2400 kg/m^3 .
4. V posodi imamo vodo in paro pri 100°C . Za koliko se spremeni delni tlak pare, če v posodo načrpamo plin, ki se ne raztaplja v vodi in katerega delni tlak znaša 1000 bar? Za vodo velja

$$\rho(p) = \rho_0 [1 + \chi_T(p - p'_s)],$$

kjer je $\rho_0 = 959\text{ kg/m}^3$ gostota vode pri 100°C , $\chi_T = 0.46 \times 10^{-9}\text{ Pa}^{-1}$ izotermna stisljivost in $p'_s = 1.01\text{ bar}$ nasičeni parni tlak pri tej temperaturi. Kilomolska masa vode je 18 kg/kmol .

1. kolokvij

29. 11. 2006

1. Gradnike kristala svinca obravnavamo kot neodvisne enorazsežne anharmonične oscilatorje v Morsovem potencialu

$$\phi(r) = D \left\{ 1 - \exp \left[-\alpha(r - r_0) \right] \right\}^2,$$

kjer je $D = 0.2348$ eV, $r_0 = 0.3733$ nm in $\alpha = 11.836$ nm⁻¹. Kolikšen del specifične toplote svinca predstavlja pri 80 K prispevek zaradi anharmoničnosti potenciala? Kolikšen je anharmonični popravek k spremembi entropije za kilogramski kos svinca, ko ga z 80 K segrejemo na 100 K? Kilomolska masa svinca je 207 kg/kmol. Vzemite, da velja klasična mehanika.

2. Idealno gibko polimerno vlakno je sestavljeno iz 10⁶ monomerov z nezanemarljivo maso. Vlakno vpnemo na enem izmed koncev in ga pri 300 K postavimo v težnostno polje. Na kateri višini glede na točko vpetja leži težišče vlakna? Kolikšne so fluktuacije lege težišča v navpični smeri? Dolžina posameznega monomera je 5 nm, kilomolska masa pa 3200 kg/kmol. Kako je, če število gradnikov vlakna podvojimo?

STATISTIČNA FIZIKA 2006/07

2. kolokvij

17. 1. 2007

1. Kolikšen je prispevek longitudinalnih valovanj k specifični toploti enorazsežne atomske verige pri 2 K? Kolikšno je njegovo odstopanje od visokotemperaturne limite pri 800 K? Pomagajte si z Debyevim modelom! Medatomska razdalja znaša 0.1 nm, hitrost zvoka pa 1000 m/s.
2. Izračunajte kemijski potencial nedegenerirane ravnovesne zmesi ortovodika in paravodika z gostoto 7×10^{23} molekul/m³ pri 100 K ter pri 3000 K! Značilna rotatorska temperatura je 86 K, kilomolska masa pa 2 kg/kmol. Za koliko se dobljena rezultata razlikujeta od vrednosti, ki bi ju dobili za enako gost enoatomni plin z enako kilomolsko maso? Privzemite, da je vez v molekuli vodika neskončno močna!

STATISTIČNA FIZIKA 2006/07

Izpit

7. 3. 2007

1. En konec lahke stočlenske verige pritrdimo na strop, na drugega pa obesimo utež z maso 10^{-13} kg. Členi verige so dolgi 3 nm in široki 1 nm. Za posamezen člen je možen en način vezave z dolgo osjo navpično in dva načina z dolgo osjo vodoravno. Kolikšna je pri 300 K povprečna dolžina verige? Kolikšna je sprememba entropije, če pri 300 K maso uteži podvojimo?
2. Enoelektronska stanja v kvantni piki opišemo z dvorazsežnim harmoničnim oscilatorjem s spektrom $E_n = (n + 1)\hbar\omega$, kjer je $n = 0, 1, 2, \dots$, energijski nivoji pa so $(n + 1)$ —krat degenerirani. Kolikšna je povprečna energija oscilatorja pri 20 K, če je $\hbar\omega = 3$ meV? Pri kateri temperaturi predstavljajo fluktuacije energije (σ_E) desetino njene povprečne vrednosti?
3. V 1 nm debeli razsežni plasti imamo pri absolutni ničli elektronski plin s Fermijevo energijo 0.2 eV. Kolikšna je prostorninska gostota elektronov? Kako se spremeni rezultat, če debelino plasti podvojimo, hkrati pa poskrbimo, da ostane Fermijeva energija nespremenjena?
4. V steno litrske posode, ki se nahaja v vakuumu in v kateri je helij pri 20°C in 0.1 mbar, izvrtamo okroglo luknjico s površino 0.01 mm². Na razdalji 1 m od luknjice postavimo okroglo ploščo s polmerom 0.5 m tako, da imata luknjica in plošča isto simetrijsko os. Koliko atomov helija se ujame na plošči vsako sekundo takoj po izvrtanju luknjice? Kolikšen je rezultat čez 5 min? Kilomolska masa helija je 4 kg/kmol, temperaturo helija v posodi pa vzdržujemo konstantno.

Izpit

11. 9. 2007

1. V preprostem trirazsežnem modelu si predstavljamo polimer kot verigo segmentov kubične mreže. Energija vezi med monomeroma je 0.1 eV, če tvorita pravi kot, in 0, če je vez iztegnjena. Iglasta konfiguracija, pri kateri polimer v stičišču segmentov spremeni smer za kot π , ni dovoljena. Kolikšno je pri 300 K povprečno število iztegnjenih vezi v stočlenskem polimeru? Kolikšne so fluktuacije tega števila (σ)?
2. Idealni plin pri 300 K in 1 bar se nahaja v valju s polmerom 1 m in višino 10 m. Koliko toplote izmenja z okolico, ko ga izotermno reverzibilno izpostavimo centrifugalnemu potencialu $V(r) = -\alpha r^2$, kjer pomeni r razdaljo od simetrijske osi valja? Računajte z $\alpha = 10^{-3}$ eV/m²!
3. V toplotno izolirani evakuirani posodi s prostornino 1 m³ je ampula s prostornino 0.1 dm³. V ampuli je 10^{-7} kmol plina pri 293 K, katerega molekule veže parska interakcija

$$\phi(r) = \begin{cases} \infty, & r < \sigma \\ \phi_0 \sin(\pi r/\sigma), & \sigma \leq r < 2\sigma \\ 0, & r \geq 2\sigma \end{cases},$$

kjer je $\sigma = 0.2$ nm in $\phi_0 = 10^{-3}$ eV. Izračunajte spremembo temperature pri razbitju ampule!

4. V 1 nm debeli razsežni plasti imamo pri absolutni ničli elektronski plin s Fermijevo energijo 0.2 eV. Kolikšna je prostorninska gostota elektronov? Kako se spremeni rezultat, če debelino plasti podvojimo, hkrati pa poskrbimo, da ostane Fermijeva energija nespremenjena?

TERMODINAMIKA 2005/06

1. kolokvij

24. 3. 2006

1. V evakuiranem valju s premerom 1 m in višino 10 cm, ki je izdelan iz toplotnega in električnega izolatorja, imamo tanek gibljiv bat. Bat in ena izmed osnovnih ploskev valja sta nabita z nabojem istega predznaka gostote $5 \times 10^{-4} \text{ As/m}^2$, tako da se odbijata. V drugi osnovni ploskvi je pipa, ki vodi v ozračje pri 1 bar in 20°C . Pipo, ki je bila najprej zaprta, odpremo, da zrak vdre v valj. Kolikšna je temperatura v valju, ko se zrak umiri? Kolikšna je sprememba entropije zraka, ki vdre v valj? Računajte s $c_p/c_V = 1.4$ in $c_V = 720 \text{ J/kgK}$. — Kako je, če gostoto naboja podeseterimo?
2. Idealni toplotni stroj deluje med dvema rezervoarjema. Prvi s kapaciteto 50 kJ/K ima v začetku temperaturo 120°C , v drugem pa imamo sprva 10 kg ledu, ki pri 0°C plava v 100 kg vode. Koliko dela opravi stroj do trenutka, ko se stali polovica ledu? Določite končno temperaturo sistema! Specifična toplota vode je 4180 J/kgK , talilna toplota ledu pa 336 kJ/kg .

TERMODINAMIKA 2005/06

2. kolokvij

17. 5. 2006

1. Razdaljo med krajiščema gibkega enorazsežnega polimera določa zveza

$$\ell(\mathcal{F}, T) = \ell_0 \tanh\left(\frac{a\mathcal{F}}{T}\right),$$

kjer pomeni \mathcal{F} natezno silo in T temperaturo, $\ell_0 = 1 \mu\text{m}$ in $a = 9 \times 10^{13} \text{ K/N}$ pa sta konstanti. Polimer je sprva neobremenjen in ima temperaturo 0°C . Koliko toplote izmenja z okolico, ko ga izotermno raztegnemo do dolžine $\ell = 0.9 \mu\text{m}$? Kolikšna je sprememba temperature, če isto raztezanje izvedemo adiabatno? Privzemite, da je toplotna kapaciteta pri konstantni vrednosti ℓ enaka $1.6 \times 10^{-20} \text{ J/K}$ in neodvisna od raztezka ter temperature!

2. Kilogram tekočega CO_2 izotermno razpenjamo pri temperaturi, ki je 0.3°C pod kritično, da pridemo v območje pregrete kapljevine. Kapljevino previdno razpnemo do največje možne prostornine, nato pa jo zmotimo, da je del izpari. Pri tem poskrbimo, da se temperatura in skupna prostornina ne spremenita. Kolikšen del mase CO_2 izpari? Kolikšna je pri tem sprememba entropije? — Računajte s poenostavljeno van der Waalsovo enačbo

$$\mathcal{X} = -\frac{3}{2}\mathcal{Y}^3 + 4\mathcal{Z} - 6\mathcal{Z}\mathcal{Y},$$

ki velja v bližini kritične točke! V njej pomeni $\mathcal{X} = p/p_c - 1$, $\mathcal{Y} = V_M/V_M^c - 1$ in $\mathcal{Z} = T/T_c - 1$; kritični parametri za CO_2 so $p_c = 73 \text{ bar}$, $V_M^c = 0.095 \text{ m}^3/\text{kmol}$ in $T_c = 31^\circ\text{C}$. Kilomolska masa CO_2 znaša 44 kg/kmol .

TERMODINAMIKA 2005/06

Izpit

26. 6. 2006

1. V vodoravnem valju s presekom 1 m^2 in dolžino 3 m , ki je narejen iz toplotnega in električnega izolatorja z zanemarljivo toplotno kapaciteto, sta tanka bata, ki nosita enako predznačen električni naboj gostote $1.5 \times 10^{-3} \text{ As/m}^2$. Bata sprva zadržujeta zatiča, tako da je valj razdeljen na tri enake komore. V obeh krajnjih komorah je zrak pri 27°C — v levi pri tlaku 2 bar , v desni pri 1 bar —, komora med batoma pa je evakuirana. Zatiča izvlečemo in počakamo, da se bata umirita. Kolikšni sta temperaturi zraka v obeh komorah? Kje sta bata? Razmerje c_p/c_V za zrak je $7/5$.
2. Notranja energija elastičnega traku je enaka $U(T, l) = aT + bT^2(\lambda^{-1} - l^{-1})$, kjer pomeni T temperaturo in l dolžino; $a = 240 \text{ J/K}$, $b = -6 \times 10^{-5} \text{ Jm/K}^2$ in $\lambda = 1 \text{ m}$ pa so konstante. Ko je trak pri 20°C obremenjen s silo 0.5 N , je dolg 1.1 m . Za koliko moramo pri konstantni dolžini traku spremeniti njegovo temperaturo, da se natezna sila podvoji? Kolikšna je pri tem sprememba entropije?
3. Prostorninsko gostoto proste entalpije tekočega kristala, ki je izpostavljen magnetnemu polju jakosti H , nad temperaturo faznega prehoda opišemo z zvezo

$$g(T, H, S) = g_I(T) + \frac{1}{2}a(T - T^*)S^2 - \frac{1}{2}\mu_0\chi_a H^2 S,$$

kjer pomeni T temperaturo, S parameter urejenosti in $g_I(T)$ gostoto proste entalpije izotropne faze; $T^* = 34^\circ\text{C}$, a in χ_a so konstante. Pri 36°C in 10^7 A/m izmerimo, da je ravnovesna vrednost parametra urejenosti enaka 3×10^{-4} , specifična toplota vzorca pa je za $1.55 \text{ J/m}^3\text{K}$ višja kot v odsotnosti polja. Določite konstanti a in χ_a ! — Vzorec s prostornino 1 cm^3 pri 10^7 A/m segrejemo s 36°C na 40°C . Koliko več toplote moramo dovesti kot pri segrevanju v odsotnosti polja?

4. Kovini A in B se dobro mešata v talini, zmesnih kristalov pa ne tvorita. Njuni tališči sta 660°C in 1400°C . Kakšna je sestava taline, ki je pri 610°C v ravnovesju s kristali kovine A (kovine B)? Skicirajte fazni diagram! Izračunajte najnižjo temperaturo, do katere je obstojna talina! Predpostavite, da je talina idealna in da pri vseh temperaturah velja $M_A q_A = M_B q_B = 21.6 \text{ MJ/kmol}$, kjer sta M_A in M_B kilomolski masi kovin, q_A in q_B pa njuni talilni toploti.

Izpit

18. 9. 2006

1. Prostor med ploščama kondenzatorja skoraj do vrha napolnimo z oljem z začetno temperaturo 27°C in dielektričnostjo 3, nato pa pri konstantnem tlaku nenadoma vključimo električno polje jakosti 10^7 V/m. Izračunajte spremembo temperature in relativni raztezek olja! Odvisnost dielektričnosti od temperature in gostote podaja zveza $(\epsilon - 1)/(\epsilon + 2) \propto \rho(1 + C/T)$, kjer je $C = 30$ K. Začetna gostota olja je 800 kg/m³, specifična toplota pri konstantnem tlaku 1700 J/kgK, temperaturni koeficient prostorninskega raztezka 10^{-3} K⁻¹, izotermna stisljivost pa 5×10^{-10} Pa⁻¹.
2. V toplotno izolirani evakuirani posodi s prostornino 1 m³ imamo litrsko jeklenko s tankimi stenami, ki vsebuje 10 g dušika pri 27°C . Jeklenka poča. Kolikšna je sprememba temperature? Računajte z enačbo stanja $(p + a/V_M^{5/3})(V_M - b) = RT$, kjer so a , b in R konstante, V_M pa kilomolska prostornina. Kritični parametri za dušik so $p_c = 34.5$ bar, $V_M^c = 89.6$ dm³/kmol in $T_c = -147.1^\circ\text{C}$. Specifična toplota dušika pri konstantni prostornini znaša 740 J/kgK, kilomolska masa pa 28 kg/kmol.
3. V faznem diagramu žvepla najdemo pri 5×10^{-7} bar in 113.3°C "spodnjo" trojno točko, v kateri so v ravnovesju žveplove pare ter trdni fazi α in β . Gostoti trdnih faz v tej točki sta $\rho_\alpha = 2070$ kg/m³ in $\rho_\beta = 1960$ kg/m³, utajena toplota prehoda $\alpha \rightarrow \beta$ pa 25.6 kJ/kg. Pri tlaku 1288 bar se nahaja "zgornja" trojna točka, kjer so v ravnovesju fazi α in β ter tekoče žveplo. Določite temperaturo zgornje trojne točke! (i) Privzemite, da se spremembi entropije in prostornine ΔV pri prehodu $\alpha \rightarrow \beta$ s tlakom (p) in temperaturo (T) ne spreminjata! (ii) Privzemite, da je utajena toplota od p in T neodvisna ter da velja $\Delta V = \Delta V_0(1 - ap)$, kjer je $a = 1.55 \times 10^{-5}$ bar⁻¹, ΔV_0 pa označuje spremembo prostornine, merjeno v spodnji trojni točki!
4. Tvorbena prosta entalpija plinastega vodikovega jodida pri reakciji iz plinastih vodika in joda $\text{H}_2^{(g)} + \text{I}_2^{(g)} \rightleftharpoons 2\text{HI}^{(g)}$ je pri 440°C enaka -11.55 kJ/mol. Kolikšni so v ravnovesju pri tej temperaturi delni tlaki posameznih sestavin, če smo imeli v začetku v posodi le HI pri tlaku 1 bar? Kolikšni pa so, če sta bila v začetni zmesi le H_2 pri $2/3$ bar in I_2 pri $1/3$ bar?

STATISTIČNA FIZIKA 2005/06

1. kolokvij

9. 12. 2005

1. Preprost elastomer si predstavljamo kot idealno gibek enorazsežen polimer: kot med sosednima členoma je enak bodisi 0 bodisi π , energiji obeh načinov vezave pa sta enaki. Kolikšna je pri 300 K povprečna dolžina stočlenskega polimera, če ga napenja sila 1 pN? Kolikšne so fluktuacije dolžine? Za koliko se temperaturni koeficient dolžinskega raztezka pri navedenih pogojih razlikuje od svoje visokotemperaturne limite? Dolžina monomera je 1 nm.
2. Med vzporednima ploščama vzpostavimo konstanten gradient električnega polja, tako da znaša električna poljska jakost ob prvi plošči 0 V/m, ob drugi pa 2×10^7 V/m. Prostor med ploščama nato napolnimo z redko vodno paro. Kolikšno je pri 400 K razmerje gostot pare ob prvi in drugi plošči, če znaša dipolni moment posamezne molekule 6.1×10^{-30} Asm, razdalja med ploščama pa je 1 m? Kje leži težiščna ravnina pare? Kolikšna je povprečna polarizacija, če pride na m^2 površine plošč 1.8×10^{25} molekul pare? Za koliko se lega težiščne ravnine in povprečna polarizacija razlikujeta od vrednosti, ki ju dobimo v homogenem polju jakosti 10^7 V/m?

2. kolokvij

26. 1. 2006

1. Prevodniški elektroni v kvantni žici se vedejo kot enorazsežen sistem. Kolikšen je njihov kemijski potencial pri absolutni ničli, če je tedaj povprečna energija posameznega elektrona 0.62 eV? — Zasedbeno število Fermijevega plina pri nizkih temperaturah približno opišemo z

$$f(\mu, E) = \begin{cases} 1, & E < \mu - \delta \\ 1/2 - (E - \mu)/2\delta, & \mu - \delta < E < \mu + \delta \\ 0, & E > \mu + \delta \end{cases},$$

kjer je $\delta = 3k_B T$. Za koliko se spremeni kemijski potencial elektronov, ko žico segrejemo na 400 K? *Matematični poduk:* za $|x| \ll 1$ velja $(1 + x)^m \approx 1 + mx + m(m - 1)x^2/2! + m(m - 1)(m - 2)x^3/3! + \dots$.

2. Atomi plinastega argona se pri adsorpciji na površino vežejo tako, da lahko nihajo v ravnini okoli mesta vezave. Kolikšen delež adsorpcijskih mest je zaseden pri tlaku 8 bar in temperaturi 140 K, če znaša vezavna energija 0.1 eV, nihanja vezanih atomov pa opišemo z Einsteinovim modelom nesklopljenih dvorazsežnih harmoničnih oscilatorjev pri frekvenci $\omega_0 = 5 \times 10^{13} \text{ s}^{-1}$? Kolikšna je povprečna energija vezanih atomov, preračunana na adsorpcijsko mesto? Kilomolska masa argona znaša 39.9 kg/kmol, vrtilna količina pa je enaka 0. — Energija dvorazsežnega harmoničnega oscilatorja je podana z $E(n_x, n_y) = \hbar\omega_0(n_x + n_y + 1)$, kjer sta $n_x \geq 0$ in $n_y \geq 0$ kvantni števili.

STATISTIČNA FIZIKA 2005/06

Izpit

15. 3. 2006

1. Za koliko se spremeni entropija litra vodne pare pri tlaku 1 mbar in temperaturi 20°C , ko vključimo električno polje jakosti $5 \times 10^6 \text{ V/m}$? Električni dipolni moment molekule vode je $6.1 \times 10^{-30} \text{ Asm}$.
2. Molekulo deoksiribonukleinske kisline si predstavljamo kot dolgo zadrge. Energija posameznega člena — baznega para — v sklenjenem stanju je za 0.08 eV nižja od energije v razprtem stanju. Vsak člen je lahko razprt le, če so že razprti vsi členi med njim in odprtim koncem zadrge. Izračunajte povprečno število razprtih členov pri 300 K! Kolikšne so fluktuacije tega števila?
3. Izračunajte površinsko napetost dvorazsežnega fotonskega plina pri 300 K! Kolikšna je energija kvadratnega metra takega plina?
4. Razsežno ledeno ploščo imamo v vakuumu pri stalni temperaturi -90°C . Za koliko se stanjša vsako uro, če je parni tlak $9 \times 10^{-5} \text{ mbar}$, gostota ledu pa 924.9 kg/m^3 ? Kolikšna je gostota toplotnega toka, ki ga odnašajo molekule pare? Kilomolska masa vode je 18 kg/kmol .

Izpit

22. 9. 2006

1. Tanki kvadratni plošči s površino 1 m^2 sta vrtljivo spojeni vzdolž enega izmed robov in potopljeni v suspenzijo kroglic s premerom 100 nm . Kako je navor, ki ju skuša razpreti/pripreti, odvisen od kota med njima? Kolikšen je navor pri 300 K , če je med ploščama pravi kot, in kolikšen, če sta iztegnjeni? Gostota kroglic je 10^{18} m^{-3} .
2. Parska porazdelitvena funkcija nekega plina je podana z

$$g(r) = \begin{cases} 0, & r < \sigma/2 \\ a, & \sigma/2 \leq r < \sigma \\ 1, & r \geq \sigma \end{cases},$$

kjer je $\sigma = 0.4 \text{ nm}$. Pri 300 K je $a = 1.35$, gostota plina pa $2.7 \times 10^{25} \text{ m}^{-3}$. Kolikšno je pri teh pogojih odstopanje temperaturnega koeficienta prostorninskega raztezka od rezultata za idealni plin?

3. Energijski spekter ravninskega rotatorja določa zveza $E_j = k_B T_r j^2$ ($j = 0, 1, 2, \dots$), kjer je $T_r = 150 \text{ K}$. Osnovno stanje je nedegenerirano, ostala pa imajo dvojno degeneracijo. Kolikšne so fluktuacije energije sistema 10^{20} rotatorjev pri 35 K in kolikšne pri 1000 K ?
4. Za koliko se tlak ultrarelativističnega elektronskega plina v zvezdi z gostoto $3.5 \times 10^{10} \text{ kg/m}^3$ pri 10^{10} K razlikuje od tlaka pri absolutni ničli? Energijo ultrarelativističnih elektronov določa zveza $E = cp$, kjer je c hitrost svetlobe, p pa gibalna količina. Uporabite nizkotemperaturni razvoj

$$\int_0^\infty h(E) f(E) dE = \int_0^\mu h(E) dE + \frac{\pi^2}{6} (k_B T)^2 \left. \frac{dh}{dE} \right|_\mu + \dots$$

kjer pomeni $f(E)$ Fermijevo porazdelitveno funkcijo, $h(E)$ zvezno in pri $E = \mu$ odvedljivo funkcijo, μ pa kemijski potencial!