1. Влажан ваздух адијабатски струји око планинског ланца на коме се налазе метеоролошке станице M0 и M3 (у подножју, M0 са леве, а M3 са десне стране планине, на нултој надморској висини), M1 (на доњој граници облака) и M2 (на врху планине). У станицама M0 и M3 измерен је ваздушни притисак $p_0 = 101$kPa, а у M2 притисак $p_2 = 70$kPa. У тачки M0 измерена је температура $t_0 = 20^0$C и густина ваздуха $\rho_0 = 1.189$kg/m^3. Познато је да се облак формира на притиску од $p_1 = 84.5$kPa у тачки M1. При даљем пењању, ваздух достиже врх планине (станицу M2) после времена $t = 1500$s. У току струјања од M1 до M2 пада $r = 0.45$g/kg кише (изражено у грамима кише по килограму ваздуха), из облака чија је површинска густина $m_0 = 300$kg/m^2. По доласку у M2 облак се подиже вертикално, тј. не креће се даље ка M3.

   (а) Наћи температуру T_1 у M1 (на доњој граници облака).

   (б) На којој висини h_1 се налази доња граница облака, ако густина ваздуха приближно линеарно опада с висином на висинама реда величине висине облака?

   (в) Колико износи температура T_2 измерена на врху (M2), а колико температура T_3 измерена са друге стране планине, у M3?

   (г) Наћи количину падавина у току $T = 3$h непрестане кише, ако је концентрација кише константна између M1 и M2. Количина падавина се изражава као висина воденог стуба над површином од 1m^2, тј. висина до које ће киша испунити суд површине 1m^2 у току времена T.

   Атмосфера се може сматрати двоатомским идеалним гасом, чија густина и специфична топлота практично не зависе од концентрације водене паре. Специфична топлота ваздуха у овом интервалу температура је $c_p = 1005$J/kg $\cdot$ K, а специфична топлота испаравања воде $\Lambda = 2500$kJ/kg. Густина воде је $\rho_v = 1000$kg/m^3, и њена зависност од притиска и температуре може се игнорисати. Гравитационо убрзање Земље је $g = 9.81$m/s^2.

   (20 поена)

2. До које висине се подиже вода у конусној капилари висине H и угла α, ако је квашење потпуно, а коефицијент површинског напона воде γ? Размотрити случај када је капилара окренута ужим крајем наниже и случај када је окренута навише (слика). Полупречник капиларе на ужем крају износи r_0. Густина воде је ρ, а гравитационо убрзање g.

   (20 поена)

3. Мала Софија проучава систем са два нивоа као на слици испод. Систем се састоји од N неинтерагујућих честица које могу да имају енергију $-\epsilon$ или ϵ зависно да ли се налазе на горњем или доњем нивоу. Помозимо Софији да одреди термодинамичке карактеристике оваквог система.

   (а) Болцманова енртопија оваквог система је одређена као $S_E = k_B \ln \Omega_E$, где је Ω_E број начина на које можемо расподелити N честица у два нивоа, тако да укупна енергија система буде E. Одредити Болцамновцу ентропију S_E у зависности од укупне енергије система E.

   (б) Сада желимо да нађемо израз за температуру система користећи израз за ентропију одређен у претходном кораку. Софија зна да се инверзна температура може изразити као промена ентропије при малој промени енергије система, тј. када једну честицу пребацимо са нивоа енергије ϵ на ниво енергије $-\epsilon$. Ову реченицу можемо математички записати као $\frac{1}{T} = \frac{S_{E+\epsilon} - S_{E-\epsilon}}{2\epsilon}$ (сматрамо да је $\epsilon \ll E$).

   (в) Узмимо сада конкретан систем који се састоји од $N = 1000$ честица и где је $\epsilon = 1$ eV. Одредити температуру система за енергије $E_1 = -200$eV и $E_2 = 200$eV. Чудан резултат за енергију E_2 можемо разумети као последицу чињенице да су честице у побуђеним стањима, тј. да нису у уобичајеном стању термодинамичке равнотеже ($1\ \mathrm{eV} = 1.6 \cdot 10^{-19}$ J,$k_B = 8.617 \cdot 10^{-5}\ \frac{\mathrm{eV}}{\mathrm{K}}$).

   (20 поена)

4. Дугачка жица негативног линијског наелектрисања $\lambda = 10^{-5}\ \frac{\mathrm{C}}{\mathrm{m}}$ окачена је о две нити дужине $l = 10$ cm и коефицијента линеарног топлотног ширења $\alpha = 1.77 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{K}^{-1}$, на висини $H = 1$ m од пода. Испод жице се налази опруга коефицијента истегљивости $k = 80\ \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}}$ која у неистегнутом стању има дужину $d = 3$ cm. На опругу се постави куглица масе $m = 50$ g и позитивног наелектрисања $Q = 10^{-5}$ C при чему долази до мале деформације опруге. Одредити висину куглице пре загревања нити и пошто се нити загреју за $\Delta T = 800$ K. Гравитационо убрзање Земље је $g = 9.81$m/s^2, а диелектрична константа $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$N $\cdot$ m^2/C^2.

   (20 поена)

5. У течном хелијуму на довољно ниској температури формира се суперфлуид који се може схватити као квантна течност која тече без отпора и вискозности. Проучићемо прелаз из хелијума 1 (обични) у хелијум 2 (суперфлуидни). У табели су дата мерења тзв. ренормализованог коефицијента термичког ширења α у зависности од температуре T (R. J. Donelli and C. F. Barenghi 1998, J. Phys. Chem. Ref. Data 27, 6, 1217).

T [K]	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3
α [10^{-3}K^{-1}]	171.73	165.04	157.52	150.26	142.12	133.18	124.26	114.03	102.76	90.38	74.89	56.03

T [K]	2.5	2.7	2.9	3.1	3.3	3.5	3.7	3.9	4.1	4.3	4.5	4.7	4.9
α [10^{-3}K^{-1}]	23.64	43.85	67.49	85.19	100.02	113.06	125.10	135.90	145.87	155.00	164.42	172.96	180.88

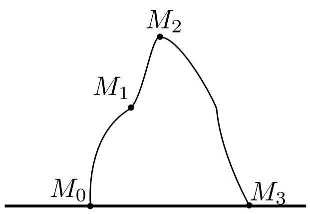
Коефицијент термичког ширења у функцији температуре

(а) Познато је да у тачки суперфлуидног фазног прелаза ренормализовани коефицијент термичког ширења достиже минимум, а удаљавањем од критичне тачке (у било ком смеру температурне осе) расте. На основу тога проценити из података у табели критичну температуру T_c, као и вредност коефицијента α_c у критичној тачки.

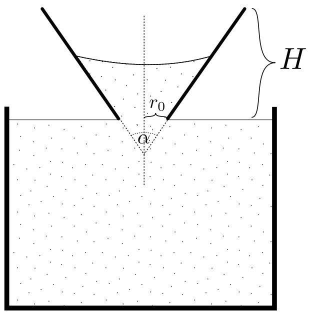
(б) Приметимо да је та зависност облика $\alpha - \alpha_c = A_- \cdot |T - T_c|^{\gamma_-}$ за температуре ниже од критичне и $\alpha - \alpha_c = A_+ \cdot |T - T_c|^{\gamma_+}$ за температуре изнад критичне. Овакво понашање је карактеристично за критичне појаве, тј. фазне прелазе другог реда. Одредити приближно експоненте γ_+ и γ_-.

(20 поена)

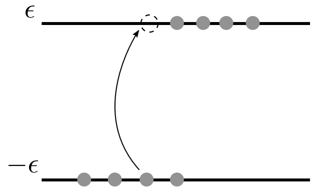
Математички подсетник Природни логаритам $\ln x$ је дефинисан на следећи начин: $\ln x = a$ ако и само ако је $e^a = x$, где је $e = 2.7172\ldots$ тзв. Ојлерова константа, основа природног логаритма. За логаритам производа важи $\ln xy = \ln x + \ln y$, а за логаритам количника $\ln x/y = \ln x - \ln y$, где су x и y позитивни реални бројеви. За логаритам степена важи $\ln x^a = a \cdot \ln x$.



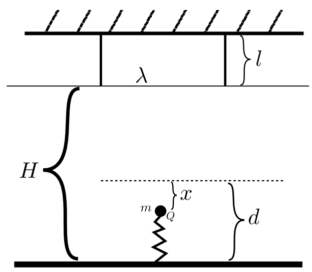
Слика уз 1. задатак



Слика уз 2. задатак



Слика уз 3. задатак



Слика уз 4. задатак

Задатке припремили: ***Михаило Чубровић***, Институт за физику, Београд
Александар Буква, Институт за физику, Београд
Рецензент: ***др Божидар Николић***, Физички факултет, Београд
Председник Комисије за такмичења средњих школа: ***др Божидар Николић***, Физички факултет, Београд