

Näidisülesanded TÜ BioGeo teaduskonna üliõpilastele 2003. a.

1. Auto sõitis Tallinnast Tartusse, vahemaa oli 200 km. Esimesel 100 km-l oli kiirus 50 km h^{-1} , siis aga 100 km h^{-1} . Missugune oli keskmine kiirus?

Lahendus: Teel oldud aeg $t = 100/50 + 100/100 = 2 + 1 = 3 \text{ h}$. Keskmine kiirus $v = 200/3 = 66.6 \text{ km/h}$.

Juhtida tähelepanu, et kiirus ei keskmistu mitte läbitud teepikkuse, vaid teel oldud aja kaudu.

2. Paadiga tuli mööda jõge ära käia naaberkülas, mis asetseb 5 km allavoolu. Sõudja suutis paadi kiiruse hoida 5 km h^{-1} vee suhtes, voolu kiirus oli 3 km h^{-1} . Kui kaua aega oli sõudja teel?

Sinna sõitis kiirusega $5+3 = 8 \text{ km/h}$, aeg $5/8 = 0.625 \text{ h}$. Tagasi sõitis kiirusega $5-3=2 \text{ km/h}$, aega $5/2 = 2.5 \text{ h}$. Kokku oli teel $3.125 \text{ h} = 3 \text{ h } 7 \text{ min } 30 \text{ s}$ (arvutada ka minutid ja sekundid).

Lisaküsimus: kui kaua oleks sõudja teel olnud kui voolu kiirus oleks olnud 5 km/h ? (Ei saabugi tagasi).

3. Kui kõrge on torn, kui sellelt kukkuv kivi langeb 3 s (õhutakistust ei arvesta)?

$$\text{Valem: } s = \frac{at^2}{2} = \frac{9.8 \cdot 3^2}{2} = 44.1 \text{ m}$$

Kiirendusega liikudes läbitud teepikkus suureneb aja ruuduga võrdeliselt.

4. Tütarlapselt korvi saanud noormees hüppas 300 m kõrguse pilvelõhkuja katusele alla. Kui kaua oli tal aega oma tegu kahetseda?

$$\text{Valem } t = \sqrt{\frac{2s}{a}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 300}{9.81}} = 7.82 \text{ s}$$

Kukkumise aeg pikeneb võrdeliselt ruutjuurega läbitud teepikkusest

5. Purskkaevu düüs, millest vesi väljub, on ristlõikega 1 cm^2 . Mitu liitrit sekundis peab olema pumba jõudlus, kui soovitakse, et vesi purskub 20 m kõrgusele? Kui suur peab olema selles ülesandes töötava pumba poolt avaldatav rõhk?

Lahendus: veejoo algkiiruse arvutame pöördtehtest, kui suur oleks lõppkiirus kui vesi kukuks 20 m kõrguselt:

$$v = \sqrt{2as} = \sqrt{2 \cdot 9.8 \cdot 20} = 19.8 \text{ m s}^{-1}$$

Et 1 cm^2 düüsi väljuks vesi kiirusega $19.8 \text{ m s}^{-1} = 1980 \text{ cm s}^{-1}$ peab pumba jõudlus olema $1980 \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1} = 1.98 \text{ l s}^{-1}$. Rõhu arvutame kui veesamba kaalu aluse pinnaühiku kohta, mis on 19.8 m (samba kõrgus) $\times 1000 \text{ (kg m}^{-3}\text{, vee tihedus)} \times 9.8$ (raskuskiirendus) $= 194040 \text{ Pa}$. Tehnilistes atmosfäärides (jõu kG cm^{-2}) oleks rõhk 1.98 at.

6. Tsentrifugaalpumba rootori diameeter on 20 cm. Missugune peab olema pöörlemiskiirus, et vesi purskuks 20 m kõrgusele?

Lahendus: Et vesi tõuseks 20 m kõrgusele, peab juga väljuma düüsi algkiirusega 19.8 m s^{-1} (vt. eelmine ülesanne). Ringliikumise joonkiirus $v = 2\pi r \cdot u$, kus u on pöörlemissagedus. Siit

$$u = \frac{v}{2\pi r} = \frac{19.8}{2\pi \cdot 0.1} = 31.5 \text{ pöoret s}^{-1} = \frac{2\pi \cdot 19.8}{2\pi \cdot 0.1} = 198 \text{ radiaani s}^{-1} = 31.5 \times 60 = 1890 \text{ pöoret min}^{-1}$$

Võrdluseks: Elektrimootorite pöörlemiskiirus on kas 1500 või 3000 pöoret min (määratud võrgusagedusega), automootoritel vahemikus 500 kuni 5000 pöoret min⁻¹.

7. Tsentrifuugi rootor teeb 10000 pöoret minutis ja rootori diameeter on 20 cm. Mitme g-ga tsentrifuugitakse?

Tsentrifugaalkiirenduse valem: $a_n = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r = 1047^2 \cdot 0.1 = 109621 \text{ m s}^{-2} = 109621/9.81 = 11174 \text{ g}$. ($10000 \text{ pöoret min} = 10000/60 \cdot 2\pi = 1047 \text{ radiaani s}^{-1}$).

8. Püssikuul väljub torust algkiirusega 1000 m s^{-1} . Kui kõrgele see tõuseb kui tulistada vertikaalselt üles (õhutakistust mitte arvestades)?

Lahendame pöörd-võttega: kui kõrgelt peaks kuul kukkuma, et lõppkiirus oleks 1000 m s^{-1} ? $v = \sqrt{2as}$, kust $s = \frac{v^2}{2a} = \frac{1000^2}{2 \cdot 9.81} = 50968 \text{ m}$. Püssikuulid ei lenda kaugeltki nii kõrgele, seega õhutakistus, mida siin ei arvestatud, on väga oluline.

9. Õhu molekulid liiguvad maapinna lähedal keskmise kiirusega 400 m s^{-1} . Kui kõrgele lendaks vertikaalselt üles liikuv molekul kui teised ei takistaks?

Jällegi lahendame pöörd-võttega: kui kõrgelt peaks molekul kukkuma, et lõppkiirus oleks 400 m s^{-1} ? $v = \sqrt{2as}$, kust $s = \frac{v^2}{2a} = \frac{400^2}{2 \cdot 9.81} = 8155 \text{ m}$. Tõepoolest, suurem osa õhu molekule asuvad madalamal kui 8 km , aga mõned omavad sedavõrd suurt algkiirust, et võiksid tõusta ka 100 või 200 km kõrgusele. Molekulide kiiruse jaotus maapinnal on seotud atmosfääri tiheduse jaotusega kõrguses.

10. Kaugshüppaja on äratõukemomendiks saavutanud hoojooksu kiiruse 10 m s^{-1} . Kui kõrgele peab ta hüppama, et maanduda 8 m kaugusel?

Tuleb leida, kui kõrgele tuleb hüppata, et püsida õhus 0.8 s, sest just selle ajaga liigub hüppaja horisontaalsuunas 8 m. Kuna tõus ja langus on sümmeetrilised, siis kumbki kestab 0.4 s. Seega, kui kõrgelt kukkudes kestaks lend 0.4 s? Valem:

$$s = \frac{at^2}{2} = \frac{9.81 \cdot 0.4^2}{2} = 0.78 \text{ m}$$

11. Haamriga, mille mass on 1 kg ja mis liigub kiirusega 5 m s^{-1} lüükse naela. Haamer peatub naelapeal 0.01 s jooksul. Kui suur on jõud, mille toimel nael puusse läheb?

Impulsi muutuse valem $m\Delta v = f\Delta t$, kust $f = \frac{m\Delta v}{\Delta t} = \frac{1 \cdot 5}{0.01} = 500 \text{ N} = 50.97 \text{ kG}$ (jõu kilogrammi).

12. Auto esiosa on projekteeritud kortsu minema jõu toimel, mille suurus on 50 tonni. Auto mass on 2 tonni, kokkupõrge toimub kiirusel 100 km h^{-1} . Kui pikalt deformeerub auto esiosa? Kui suur jõud mõjub reisijale massiga 80 kg kokkupõrke ajal?

Kõigepealt teisendame andmed SI süsteemi: Jõud 50 tonni = $50000 \cdot 9.81 = 490500 \text{ N}$

Mass 2 tonni = 2000 kg

$100 \text{ km h}^{-1} = 100 \cdot 1000 / 3600 = 27.8 \text{ m s}^{-1}$

Impulsi muutuse valem $m\Delta v = f\Delta t$ annab meile aja, mille jooksul auto peatub:

$$\Delta t = \frac{m\Delta v}{f} = \frac{2000 \cdot 27.8}{490500} = 0.11 \text{ s. Selle aja jooksul liigub ta ühtlaselt aeglustuvalt}$$

kiirendusega $27.8 / 0.11 = 252.7 \text{ ms}^{-2}$. Läbitud teepikkus oleks

$$s = \frac{at^2}{2} = \frac{252.7 \cdot 0.11^2}{2} = 1.53 \text{ m. Kokkupõrke ajal on (negatiivne) kiirendus } 252.7 / 9.81 =$$

25.8 korda suurem Maa raskuskiirendusest, mistõttu 80 kg reisija kaaluks 25.8 korda rohkem ehk $80 \cdot 9.81 = 785 \text{ N}$ asemel 20248 N.

13. Elektron asetseb tuumast 4A kaugusel. Kui suur on elektriline tõmbejõud tuuma suunas? Mitu tiiru sekundis peab elektron tegema, et mitte tuumale langeda?

Elektroni laeng on $e = 1.601 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, mass on $9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$, elektriline konstant $k_e = 9 \cdot 10^9 \text{ N m}^2 \text{ C}^{-2}$.

Elektriväljas laengule mõjuva jõu valem:

$$f = k_e \frac{e_1 e_2}{r^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{(1.601 \cdot 10^{-19})^2}{(4 \cdot 10^{-10})^2} = \frac{2.56 \cdot 10^{-38}}{16 \cdot 10^{-20}} = 9 \cdot 10^9 \cdot 0.16 \cdot 10^{-18} = 1.44 \cdot 10^{-9} \text{ N}$$

Ülesande teine pool nõuab kesktõukejõu valemit: $f = m\omega^2 r$, kust

$$\omega = \sqrt{\frac{f}{mr}} = \sqrt{\frac{1.44 \cdot 10^{-9}}{9.1 \cdot 10^{-31} \cdot 4 \cdot 10^{-10}}} = \sqrt{3.96 \cdot 10^{30}} = 1.99 \cdot 10^{15} \text{ radiaani s}^{-1} = 3.17 \cdot 10^{14} \text{ tiiru s}^{-1}.$$

14. Kui kaugel Maa keskpunktist asub geostatsionaarne orbiit (niisugune, mille puhul kaaslase ja Maa tiirlemiskiirused on võrdsed, see, kus asuvad televisioonisatelliidid)? Kui kõrgel on see Maa pinnast? Leidke Maa mass ise, teades raskuskiirendust Maa pinnal. Gravitatsioonikonstant on $k_g = 6.685 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$.

a) Maa raadius. Kui ei tea, siis ümbermõõt on $40000 \text{ km} = 4 \cdot 10^7 \text{ m}$ ja raadius $6.36 \cdot 10^6 \text{ m}$.

b) Maa massi arvutame, teades, et Maa pinnal (raadiuse kaugusel keskpunktist) keha massiga 1 kg kaaub 9.81 N

$$9.81 = 6.685 \cdot 10^{-11} \frac{1 \cdot M_m}{(6.36 \cdot 10^6)^2}, \text{ kust } M_m = \frac{9.81 \cdot 40.45 \cdot 10^{12}}{6.681 \cdot 10^{-11}} = 5.939 \cdot 10^{24} \text{ kg}$$

c) orbiidi raadiuse arvutame tingimusest, et gravitatsioonijõud = kesktõukejõud, teades tiirlemisperioodi: $m\omega^2 r = \frac{k_g M_m m}{r^2}$. Siin m on satelliidi mass, aga see taandub välja,

st. orbiit ei sõltu satelliidi massist: $r^3 = \frac{k_g M_m}{\omega^2}$. Tiirlemissagedus üks ring 24 tunni

jooksul $= 2\pi / (24 \cdot 3600) = 7.27 \cdot 10^{-5} \text{ radiaani s}^{-1}$.

$$r^3 = \frac{6.685 \cdot 10^{-11} \cdot 5.939 \cdot 10^{24}}{(7.27 \cdot 10^{-5})^2} = \frac{39.7 \cdot 10^{13}}{52.8 \cdot 10^{-10}} = 0.075 \cdot 10^{24} = 0.42 \cdot 10^8 \text{ m} = 42000 \text{ km}$$

Maa keskpunktist ehk $42000 - 6360 = 35640 \text{ km}$ Maa pinnast.

15. Mees lükkab käima autot massiga 2 t kuni see saavutab kiiruse 10 km h^{-1} . Kui palju tööd ta tegi?

Tehtud töö võrdub lõpuks saavutatud kineetilise energiaga:

$$E_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{2000 \cdot 2.78^2}{2} = 7728 \text{ J}$$

16. Keemilises reaktsioonis läheb elektron orbiidilt raadiusega $4A$ üle uuele orbiidile raadiusega $5A$. Kui suur on niisuguse reaktsiooni keemilise energia muutus mooli kohta? Elektroni laeng on $e = 1.601 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, mass on $9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$, elektriline konstant $k_e = 9 \cdot 10^9 \text{ N m}^2 \text{ C}^{-2}$.

Tuuma ümber tiirleva elektroni koguenergia: $E_k + E_p = -\frac{k_e e^2}{r} + \frac{k_e e^2}{2r} = -\frac{k_e e^2}{2r}$

$$\Delta E = N_a \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot (1.601 \cdot 10^{-19})^2 \left(\frac{1}{2 \cdot 4 \cdot 10^{-10}} - \frac{1}{2 \cdot 5 \cdot 10^{-10}} \right) = N_a \cdot 2.307 \cdot 10^{-28} (1.25 \cdot 10^9 - 1 \cdot 10^9) = N_a \cdot 5.768 \cdot 10^{-20} = 3.478 \cdot 10^4 \text{ J} = 34.78 \text{ kJ}$$

17. ATP hüdrolyüsil vabaneb 35 kJ mol⁻¹. Kui kõrgele lendaks vabanenud ADP kui kogu energia kasutatakse liikumiseks? Kui kõrgele lendaks fosforhappe jääk kui molekul oleks orienteeritud vastupidiselt eelmisele näitele? ADP molekulmass on 410, fosforhappejäägil 96.

$$mgh = 35000; h_{ADP} = \frac{35000}{0.41 \cdot 9.81} = 8700 \text{ m}; h_{Pi} = \frac{35000}{0.096 \cdot 9.81} = 37000 \text{ m}$$

18. Kõrgushüppaja massiga 80 kg hüppab 2 m. Mitu mooli ATP tuleb hüppel hüdrolyüsida, kui lihaste mehaaniline kasutegur on 20% ja ATP hüdrolyüsienergia on 35 kJ mol⁻¹?

$$80 \cdot 9.81 \cdot 2 = n \cdot 35000 \cdot 0.2, \text{ kust } n = \frac{80 \cdot 9.81 \cdot 2}{35000 \cdot 0.2} = 0.224 \text{ mooli}$$

19. Jaaniussike helendab siniselt. Kas ühe ATP energiast jätkub ühe kvandi kiirgamiseks? Kui ei, siis mitme ATP energia oleks vaja summeerida? Arvesta ATP hüdrolyüsi energiaks 35 kJ mol⁻¹.

Siniste kvantide energia on umbes 3 eV ehk 3*96.5=290 kJ mol⁻¹ Tarvis oleks 290/35=8.3 mooli energia.

20. Fotosünteesis kulub ühe CO₂ sidumiseks 10 punast kvanti. Kilogrammi puidu põlemisel saadakse soojust 3500 kcal. Kui suur on fotosünteesi energeetiline kasutegur?

10 mooli punaseid kvante = 10*1.8*96.5=1737 kJ. Puit on süsivesik nCH₂O molekulmassiga n* 30. Seega, 1 kg puidu = 1000/30 =33.3 mooli põlemisel eraldub iga mooli kohta 3500/33.3=105 kcal = 105*4.18=439 kJ. Fotosünteesi energeetiline kasutegur on 439/1737=0.253=25.3%

21. Üks liiter vett soojendatakse 1000W keeduspiraali abil. Kui kaua aega kulub vee keema minekuni kui algtemperatuur oli 10 °C?

Vee soojusmahtuvus on $1 \text{ cal g}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} = 4.18 \text{ J g}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Keemiseni soojendamiseks on vee temperatuuri vaja tõsta $100 - 10 = 90 \text{ } ^\circ\text{C}$ võrra. 1 l vett on 1000 g, järelikult soojusenergiat kulub $1000 \times 90 \times 4.18 = 376200 \text{ J}$. Spiraal võimsusega 1000 W eraldab 1000 J s^{-1} . Keema-ajamiseks vajalik aeg on siis $376200/1000 = 376.2 \text{ s} = 6 \text{ min } 16 \text{ s}$.

22. Päikese spektris on kvandi keskmine energia 2.2 eV ja kvante langeb 2000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Kui suur on päikesekiirguse võimsus maapinna ruutmeetri kohta?

Võimsuse arvutamiseks tuleb kvantide voo energia ümber arvutada wattidesse. Aluseks võtame selle, et 1 mool e^- läbides potentsiaalide vahe 1 V vabastab 96.5 kJ energiat. Meil on $2.2 \text{ V} \times 96.5 \times 2000 \times 10^{-6} = 0.425 \text{ kW}$

23. Vesiniku aatomis on madalaima energiatasemega elektroni ionisatsioonenergia 13.6 eV. Kui suur oleks see O aatomis, kui elektronide omavahelisi mõjusid mitte arvestada?

Tõmbejõud kasvab võrdeliselt laengu suurenemisega. O aatomis on 8 prootonit, järelikult on ionisatsioonenergia $8 \times 13.6 = 108.8 \text{ eV}$

24. Kui suure veesisaldusega puitu on veel võimalik põletada, nii et soojust eraldub? Võtke kuiva puidu põlemissoojuseks 3500 kcal kg^{-1} , vee aurumissoojuseks 560 cal g^{-1} .

1 kg kuiva puidu põlemisel eralduv soojus 3500 kcal aurustab $3500/560 = 6.25 \text{ kg}$ vett. Seega, kui kogu puidu mass oleks $1 + 6.25 = 7.25 \text{ kg}$, siis põlemissoojus oleks võrdne aurumis-soojusega. Sellise puidu protsentuaalne veesisaldus oleks $6.25/7.25 = 0.86 = 86\%$. Metsamärja puu veesisaldus on alati väiksem, seega on võimalik põletada ka märga puitu.

25. Kui suur on normaaltingimustel gaasimolekulide tsentrite vaheline keskmine kaugus? Kui suur on molekulide välispindade vaheline kaugus kui molekuli diameeter on 4A? Mitu korda saab gaasi ruumala kokku suruda kuni molekulide mõõduni?

Normaaltingimused tähendavad 101.3 kPa rõhku ja $0^\circ\text{C} = 273 \text{ K}$ temperatuuri. Nendel tingimustel on ideaalse gaasi mooli ruumala $22.4 \text{ l} = 0.0224 \text{ m}^3$. Ühe molekuli kohta tuleb ruumala $0.0224 / 6.022 \times 10^{23} = 3.72 \times 10^{-26} \text{ m}^3 = 37.2 \times 10^{-27} \text{ m}^3$. Kui see oleks

kuubi ruumala, siis selle külje pikkus oleks $\sqrt[3]{37.2 \cdot 10^{-27}} = 3.34 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 33.4 \text{ \AA}$.

Molekulide välispindade vaheline kaugus oleks $33.4 - 4 = 29.4 \text{ \AA}$. Ühe mooli niisuguste molekulide ruumala oleks $6.02 \times 10^{23} \times (4 \times 10^{-10})^3 = 6.02 \times 10^{23} \times 64 \times 10^{-30} = 385 \times 10^{-7} \text{ m}^3 = 3.85 \times 10^{-5} \text{ m}^3$. Gaasilise olekus oli nedesamade molekulide all $2.24 \times 10^{-2} \text{ m}^3$ ehk $2.24 \times 10^{-2} / 3.85 \times 10^{-5} = 582$ korda suurem ruumala.

26. Mitu mooli õhku on keskmiselt 1 m² maapinna kohal atmosfääris? Mitu mooli on CO₂? Mitu mooli CO₂ on kogu maakera atmosfääris?

Normaalne atmosfäärirõhk on 101300 N m⁻² (=Pa), millele vastab mass 101300/9.81 = 10326 kg m⁻². Õhu keskmine molekulmass on 0.21*32 + 0.78*28 + 0.01*36 = 29 Da. Seega, iga m² kohal on 10326/0.029=356069 mooli õhku. Sellest on CO₂ 0.00036 osa, ehk 0.00036*356069=128 mooli CO₂ m⁻². Maakera pindala on 4πr² = 4*3.14*(6.36*10⁶)²=5.08*10¹⁴ m², CO₂ moole on 6.5*10¹⁶.

27. Kui suur on O₂ ja CO₂ molaarne kontsentratsioon õhus normaaltingimustel? Kui suur on see kontsentratsioon temperatuuril 30°C ja õhurõhul 740 mmHg?

Ühe mooli ruumala normaaltingimustel on 22.4 l, seega ühes liitris on 1/22.4 = 0.0446 mooli. Sellest O₂ on 21%, seega 0.21*0.0446=0.00937 = 9.37 mM, CO₂ on 0.0446*0.00036=16.06*10⁻⁶ = 16 µM. Temperatuuril 30°C ja rõhul 740 mmHg on parandustegur 273/303*740/760=0.877.

28. Kui väike peab olema õhu rõhk 1 m diameetriga nõus et seal oleks vaakum?

Vaakum on nõus siis kui molekuli vaba tee pikkus võrdub nõu mõõduga. Normaalrõhul on õhus vaba tee pikkus umbes 10⁻⁷ m (100 nm). Kui rõhk viia 10⁻⁷ atmosfäärini siis on vaba tee pikkus 1 m, ja nõus on vaakuum.

29. Taimelhel on 5000 õhulõhet 1 cm²-l. Iga õhulõhe ava on 10 µm pikk ja 5 µm lai, kanali pikkus risti läbi epidermise on 10 µm. Kui suur saab maksimaalselt olla fotosünteesis CO₂ assimilatsiooni kiirus, ühikutes µmol CO₂ m⁻² s⁻¹, kui õhus on CO₂ kontsentratsioon 14 µM ja lehe sisemuses 6 µM. CO₂ difusioonikonstant õhus on 0.16 cm² s⁻¹.

Arvestades difusiooni ainult õhulõhe torus, on difusioonivoog iga ruutsentimeetri kohta

$$A = 5000 \cdot 0.16 \cdot \frac{(14 - 6) \cdot 10 \cdot 10^{-4} \cdot 5 \cdot 10^{-4}}{10 \cdot 10^{-4}} = 3.2.$$

Ühikuks on $\frac{1 \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{nmol} \cdot \text{cm} \cdot \text{cm}}{\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{cm}^3 \cdot \text{cm}} = \frac{\text{nmol}}{\text{cm}^2 \cdot \text{s}}$. Nõutud ühikutes oleks väärtus

3.2*10000/1000=32 µmol m⁻² s⁻¹. Pange tähele, et kui difusioonikonstant on antud cm² baasil, siis ka kõik teised suurused, kaasa arvatud kontsentratsioon, tuleb anda cm³ baasil, mitte liitri kohta.

30. Lehe sees on fotosünteesivate rakkude pindala 10 cm² cm⁻². CO₂ difundeerub läbi raku seina ja tsütoplasma kuni karboksüleerimistsentrini (ensüüm, mis CO₂ seob) keskmiselt üle teepikkuse 1 µm. Kui suur on CO₂ assimilatsiooni kiirus lehe

välispinnal, ühikutes $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, kui CO_2 kontsentratsioon rakuseina välispinna lähedal on $6 \mu\text{M}$ ja karboksüleerimistsentrites keskmiselt $4 \mu\text{M}$? Kasutage teadmist, et õhus on CO_2 difusioonikonstant $0.16 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ ja arvestage, kui palju on difusioon vedelikus aeglasem kui gaasis.

Arvutus on eelmise ülesandega sarnane, ainult difusioonikonstant võtta $0.16 \times 10^{-4} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$. Läbi rakuseina ühe ruutsentimeetri difundeerub

$$A = 0.16 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{(6-4) \cdot 1}{1 \cdot 10^{-4}} = 0.32 \frac{\text{cm}^2 \cdot \text{nmol} \cdot \text{cm}^2}{\text{s} \cdot \text{cm}^3 \cdot \text{cm}} = \frac{\text{nmol}}{\text{s}}$$
. Lehepinna cm^2 all asub 10 cm^2 rakupinda, seega läbi lehepinna ruutsentimeetri lähels 3.2 nmol s^{-1} , ehk $32 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

31. Õhu temperatuur on 20°C . Kui suur on molekuli ruutkeskmise kiiruse vertikaalkomponent? Kui suur on ruutkeskmise kiiruse absoluutväärtus?

Iga vabadusastme kohta on energia $\frac{1}{2} RT = \frac{1}{2} \times 8.314 \times 293 = 1218 \text{ J mol}^{-1}$. Seega, 1 mool = 29 g õhku omab energiat 1218 J. Siit leiame kiiruse $v = \sqrt{\frac{2 \cdot 1218}{0.029}} = 290 \text{ m s}^{-1}$.

Absoluutväärtuse leiame kui ruutjuure komponentide ruutude summast

$$v_{abs} = \sqrt{290^2 + 290^2 + 290^2} = \sqrt{252300} = 502 \text{ m s}^{-1}.$$

32. Kui kõrgele lendaks gaasi molekul mis alustab liikumist maapinnalt vertikaalselt ülespoole normaaltingimustele vastava keskmise kineetilise energiaga. Kui kõrgele ta tõuseb? (Arvuta energia jäävuse seadust kasutades). Kui suur osa atmosfäärist asub sellest piirist veel kõrgemal?

Mooli õhu liikumise vertikaalkomponendi keskmine energia oli 1218 J mol^{-1} . See

$$\text{võrdub potentsiaalse energiaga } 0.029 \cdot 9.81 \cdot h = 1218; h = \frac{1218}{0.029 \cdot 9.81} = 4281 \text{ m. Sellest}$$

piirist kõrgemal asub veel osa, mis on määratud Boltzmanni faktoriga

$$e^{-\frac{1/2RT}{RT}} = e^{-\frac{1}{2}} = 0.606$$

33. Aine A muundub keemiliselt aineks B, kusjuures aines B on siseenergia 24 kJ mol^{-1} kohta väksem kui aines A. Missugune on ainete A ja B kontsentratsioonide suhe keemilise tasakaalu korral toatemperatuuril?

$$\Delta E = RT \ln \frac{B}{A}; 24 = 8.314 \cdot 293 \ln \frac{B}{A}; \text{ Antilogaritmime mõlemad pooled:}$$

$$e^{\frac{24000}{2436}} = \frac{B}{A} = e^{9.85} = 19000. \text{ Pange tähele, et seda ainet, mille energia on madalam, peab}$$

tasakaaluseisundis rohkem olema.

34. Küllastava veeauru osarõhk 20°C juures on 22 mb. Kui suur on molekulide seoseenergia vees 20°C juures? Kui suur on see seoseenergia 100°C juures?

Veeaur moodustab $22/1013 = 0.0217$ osa atmosfäärist. 20° juures oli kogu õhu molaarne kontsentratsioon 0.0446 M (vt. ülesanne 27). Veeauru osakontsentratsioon on $0.0217 \times 0.0446 = 9.67 \times 10^{-4}$ M. Vedela vee kontsentratsioon on $1000/18 = 55.6$ M. Kasutame keemilise tasakaalu seadust:

$$RT \ln \frac{55.6}{9.67 \cdot 10^{-4}} = \Delta G = 8.314 \cdot 293 \ln 57497 = 10.96 \cdot 2436 = 26698 \text{ J mol}^{-1}.$$

Sama arvutus 100°C juures annab

$$RT \ln \frac{55.6}{0.0446} = \Delta G = 8.314 \cdot 373 \ln 1247 = 7.13 \cdot 3101 = 22111 \text{ J mol}^{-1}.$$

35. Kui peened peaksid olema kapillaarid, et vesi neis tõuseks 20 m kõrgusele (ideaalne märgamine)?

Kapillaartõusu valem: $h = \frac{2\alpha}{\rho g r}$; Siit $r = \frac{2\alpha}{\rho g h} = \frac{2 \cdot 0.075}{1000 \cdot 9.81 \cdot 20} = 7.65 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 0.765 \text{ } \mu\text{m}$;

Diameeter seega 1.53 μm

36. Kui suur on ülerõhk (lisarõhk) seebimulli sees, mille diameeter on 2 cm?

Mullis tekkiva lisarõhu valem: $p = \frac{2\alpha}{r} = \frac{2 \cdot 0.075}{0.01} = 15 \text{ Pa}$

37. Puutüves kõrgusega 30 m on 10 μm diameetriga juhtsooned täidetud veega. Vähemalt kui suur peaks olema esialgne aurumullikene, et samm katkeks?

10 μm kapillaaris on vee spontaanne tõus $h = \frac{2\alpha}{\rho g r} = \frac{2 \cdot 0.075}{1000 \cdot 9.81 \cdot 5 \cdot 10^{-6}} = 3.06 \text{ m}$.

Rippuvus olekus on $30 - 3 = 27 \text{ m}$ veesamm. Selle tipu lähedal on negatiivne rõhk $-\rho g h = -1000 \cdot 9.81 \cdot 27 = -264870 \text{ Pa}$. Kuni mulli siserõhk on sellest suurem, samm ei

katke. Sellisele rõhule vastab mulli raadius $r = \frac{2\alpha}{p} = \frac{2 \cdot 0.075}{264870} = 5.7 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 0.57 \text{ } \mu\text{m}$,

diameeter 1.14 μm .

38. Kui kaua tuleb vett keeta võimsusel 1 kW et 1 l algruumala täielikult aurustuks? (Vee aurumissoojus on 560 cal g⁻¹).

1 l vett on 1000 g. Selle aurustamiseks kulub 560000 cal. Võimsus 1 kW = $1000 \text{ J s}^{-1} = 240 \text{ cal s}^{-1}$. 560000 cal genereeritakse $560000/240 = 2333 \text{ s} = 38.9 \text{ min}$ jooksul = 38 min 54 s.

39. Imeva pumbaga imetakse kaevust vett temperatuuril 20°C. Kaev asub kõrgplatool, kus õhurõhk on 650 mmHg. Arvutage nii täpselt kui oskate, kui kõrgele maksimaalselt saab imeva pumbaga veesammast tõsta.

Õhurõhk on $650/760=0.855$ osa normaalrõhust. Normaalrõhk suruks veesamba

$$h = \frac{p}{\rho g} = \frac{101300}{1000 \cdot 9.81} = 10.32 \text{ m kõrgusele. Platool olev rõhk vastavalt}$$

$0.855 \times 10.32 = 8.8236$ m kõrgusele. Lisaks vähendab samba tõusu ülalt vastusuruv veeauru rõhk, mis 20°C juures on

$$p(t) = 6.1070 \cdot 10^{\frac{7.63t}{241.9+t}} = 6.107 \cdot 10^{\frac{152.6}{261.9}} = 6.107 \cdot 3.825 = 23.36(\text{mb}) = 2336 \text{ Pa. See rõhk}$$

$$\text{surub veesamba alla kõrguse } h = \frac{p}{\rho g} = \frac{2336}{1000 \cdot 9.81} = 0.238 \text{ m. Seega jääb samba lõplik}$$

kõrgus $8.824 - 0.238 = 8.586$ m.

40. Soome saunas on temperatuur 100°C . Mitme protsendi võrra tõuseb õhuniiskus kui kerisele visata 0.5 l vett? Sauna mõõdud on $2.0 \times 2.0 \times 2.5 \text{ m}^3$. Kas tekki kuumatunne tuleb rohkem õhuniiskuse tõusust või kividel kuumenenud veeauru kõrgemast temperatuurist?

0.5 l vett = $0.5/0.018 = 27.8$ mooli. Ühe mooli ruumala 100°C juures on $22.4 \times 373/273 = 30.6$ l. Aurustudes 100°C juures täidab veeaur ruumala $851 \text{ l} = 0.851 \text{ m}^3$. Sauna ruumala on $2 \times 2 \times 2.5 = 10 \text{ m}^3$. Küllastav veeauru rõhk 100°C juures on võrdne välisrõhuga, seega küllastavat veeauru mahub sauna 10 m^3 . Leiliviskamisega lisandus 0.851 m^3 , seega relatiivne niiskus tõusis $0.851/10 = 8.51\%$ võrra. See muudab kehal higi aurustumist suhteliselt vähe, seega, kuumatunne tuleb siiski veeaurust, mis kividega kokku puutudes kuuenes üle 100°C .

41. Kui suur on füsioloogilise lahuse osmootne rõhk?

Füsioloogiline on 0.9% soolalahus, kus on 0.9 g soola 100 g lahuses. $1 \text{ kg} = 11$ lahuses on siis 9 g soola. NaCl molekulmass on $23 + 35 = 58 \text{ g mool}^{-1}$. 9 g moodustab $9/58 = 0.155 \text{ M}$. Arvestades, et Na^+ ja Cl^- dissotsieeruvad täielikult, annab kumbki ioon eraldi osmootse rõhu, seega on lahus ekvivalentset 0.31 M. Toatemperatuuril on niisuguse lahuse osmootne rõhk $24 \times 0.31 = 7.44 \text{ atm}$ ehk 0.754 MPa

42. Kui suur on turgor-rõhk taimerakus, mis asetseb 10 m kõrgusel maapinnast ja milles on 0.3 M osmootselt aktiivsete ainete lahus? Seesama rõhk kui rakk oleks maapinnal?

0.3M lahus põhjustab toatemperatuuril osmootse rõhu $0.3 \times 24 = 8 \text{ atm}$. Turgorrõhk oleks niisama suur kui rakk oleks maapinnal. Kui see on aga 10 m kõrgusel, väheneb turgorrõhk vee üles-surumiseks vajaliku võrra, mis on umbes 1 atm. Seega, 10 m kõrgusel on turgor-rõhk 7 atm.

43. Kevadel voolab kasemahl, milles on lahustunud 120 g sahharoosi liitri kohta. Kui kõrgele tõuseb mahl kui eeldada, et juurte pinnal on ideaalsed pool-läbilaskvad membraanid ja maapinnas on vett vabalt saada.

Mahlasammas tõuseks nii kõrgele, et selle vasturõhk tasakaalustaks osmootse rõhu. Sahharoosi ($12 \times \text{CH}_2\text{O}$) molaarmass on $12 \times 30 = 360$. 120 g sahharoosi liitris on 0.3M lahus, mille osmootne rõhk on 8 atm. Veesamba rõhk on umbes 10 m atmosfääri kohta, seega vesi tõuseks kuni 80 m kõrgusele.

44. Külmutumisel jää ruumala suureneb 9% võrra. Mitme % võrra suureneb molekulidevaheline keskmine kaugus?

Lineaarmõõdu juurdekasv on kuupjuur ruumala juurdekasvust. Kuupjuur $1.09 = 1.03$ (ligikaudse arvutamise reegel!). Molekulidevaheline kaugus suureneb 3%

45. Kui rasket poissi kannab ujuv jäätükk 10 m^2 pindalaga ja paksusega 30 cm ?

Jäätüki ruumala on $10 \cdot 0.3 = 3 \text{ m}^3$. Arhimedese seaduse kohaselt on 9% sellest vee peal, ehk 0.27 m^3 . Selle vee alla surumiseks vajalik jõud on võrdne 0.27 m^3 vee kaaluga, mis on $270 \text{ kG} (=9.8 \cdot 270 \text{ N})$.

46. Biomembraani lipiidosa paksus on 50 \AA . Potentsiaalide vahe membraanil on 0.2 V . Mitu Volti/mm kohta on elektrivälja tugevus ja kas see võiks olla läbilöögi-ohklik, arvestatdes õlide läbilöögi-väljatugevuseks 30000 V/mm ?

Elektrivälja tugevust mõõdetakse laenguühikule mõjuva jõuga, aga see on ekvivalentne pikkusühikule vastava tööga, seega potentsiaali muutusega pikkusühiku kohta. Potentsiaalide vahe 0.2 V 50 \AA kohta on $0.2 / (50 \cdot 10^{-7} \text{ mm}) = 40000 \text{ V/mm}$. Paistab, et ongi läbilöögi-ohklik.

47. Mitokondri membraani potentsiaalide vahe on 0.1 V . Mitu prootonit peab minimaalselt membraanist läbi liikuma ATP molekuli sünteesiks eeldusel, et ATP sünteesi energia on 35 kJ mol^{-1} ?

0.1 V potentsiaalide vahe annab prootonitele energia $0.1 \cdot 96500 = 9650 \text{ J}$. Vähemalt nelja prootoni energia liitumisel on võimalik ATP süntees.

48. Membraanil $\Delta \text{pH} = 3$ aga elektriline potentsiaalide vahe puudub. Kui suur on membraanil vabanenud energia ühe mooli prootonite läbimisel?

49. Missugune on inimorganismis raku membraanil tasakaaluline potentsiaalide vahe kui K^+ ionide kontsentratsioon raku sees 10 mM ja väljaspool rakku $100 \text{ }\mu\text{M}$, K^+ ioone juhtiv kanal on avatud?