KEEMIA ÜLESANNETE LAHENDAMINE II

ÜHIKANALÜÜS I

Me oleme juba kokku puutunud ülesannetega, kus aine valem leiti ideaalgaasi võrrandi või suhtelise tiheduse järgi. Seda tüüpi ülesanded kuuluvad arvutusülesannete hulka. Vahest need eeldavad raskete võrrandite lahendamise oskust, seetõttu paistavad olevat lahendamatud. Enamikel juhtudel on lahendus ikkagi leidav (ka ilma vastavate teadmisteta).

Arvutusülesanded eeldavad füüsika seaduste teadmist ja nendele vastavate võrrandite ja võrratuste ehk matemaatiliste valemite kasutamist.

Lihtsaim valem $n = \frac{m}{M}$ esineb keemiaülesannetes tõenäolistel kõige tihemini (keskkooli füüsikas kasutakse tihti sarnast valemit $\rho = \frac{m}{V}$). Harvemini tuleb ette ideaalgaasi võrrandit $pV = nRT$ ($n = \frac{V}{V_\mathrm{m}}$, $V_\mathrm{m} = 22{,}4\ \frac{\mathrm{mol}}{\mathrm{dm}^3}$). Veelgi harvemini kohtab keerulisemaid võrrandeid, kusjuures mida kõrgem on olümpiaadi tase, seda tihemini neid esineb.

Ülesanne 1

Süsivesiniku (0,2 mooli) põlemisel tekkis tahm (2,4 g), süsihappegaas (13,44 dm^3, n.t.) ja vesi (14,43 cm^3, 20 °C, 0,9982 $\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm}^3}$). Arvutage süsivesiniku molekulvalem.

Lahendus:

$n(\mathrm{C}) = 2{,}4\ \mathrm{g} \cdot \frac{1\ \mathrm{mol}}{12\ \mathrm{g}} = 0{,}2\ \mathrm{mol}$

$n(\mathrm{CO_2}) = 13{,}44\ \mathrm{dm}^3 \cdot \frac{1\ \mathrm{mol}}{22{,}4\ \mathrm{dm}^3} = 0{,}6\ \mathrm{mol}$

$n(\mathrm{H_2O}) = 14{,}43\ \mathrm{cm}^3 \cdot \frac{0{,}9982\ \mathrm{g}}{1\ \mathrm{cm}^3} \cdot \frac{1\ \mathrm{mol}}{18\ \mathrm{g}} = 0{,}8\ \mathrm{mol}$

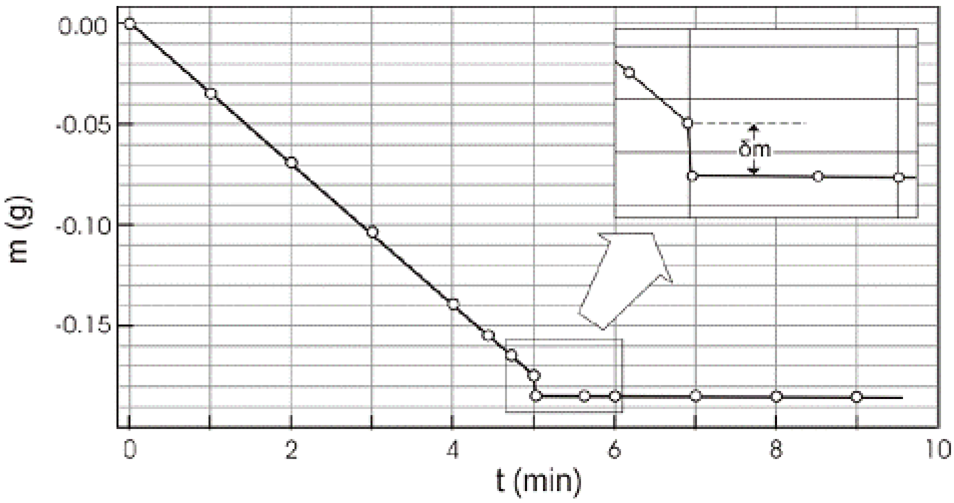
$N(\mathrm{C}) = \frac{(0{,}2 + 0{,}6)\ \mathrm{mol}}{0{,}2\ \mathrm{mol}} = 4$, $N(\mathrm{H}) = \frac{0{,}8 \cdot 2\ \mathrm{mol}}{0{,}2\ \mathrm{mol}} = 8$

Valem: $\mathrm{C_4H_8}$

Õnneks enamuse ülesannetest lahendamise jaoks ei ole tarvis teada kõiki seaduseid ja valemeid. Näiteks 2003 aastal rahvusvahelisel olümpiaadil Ateenas oli pakutud järgmine ülesanne.

Ülesanne 2

Käesolevas ülesandes kirjeldatud katse laseb määrata molekulide keskmist kiirust (u)gaasifaasis lenduva vedeliku kohal. Avatud anum (Petri tass) on poolenisti täidetud etanooliga ja on pandud elektrooniliste kaalude peale oma kaane kõrvale. Ajamomendil $t = 0$ kaalunäit võrdub nulliga. Kaalunäidu muutus ajas on näidatud joonisel.



Ajamomendil $t = 5\,\mathrm{min}$ pannakse kaas tassile peale. Vedelik ei aurustu enam, kuid gaasimolekulid vedeliku kohal rõhuvad vastu kaant seespoolt. See viib kaalunäidu muutusele suuruse δm võrra. Kannele avaldatav jõud on kirjeldav valemiga $f = \delta m g$, kus $g = 9{,}8\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$. Samuti seda jõudu võib välja arvutada impulsi tuletise kaudu järgmise valemi abil:

$$f = \frac{u}{2}\frac{\mathrm{d}m}{\mathrm{d}t}$$

Kasutades joonisel antud andmeid määrake etanoli molekulide keskmine kiirus $290\,\mathrm{K}$ juures.

Lahendus:

Jätke meelde, et kõik lahendamiseks vajalikud andmed, sealhulgas ka valemid on ülesande tekstis olemas. Neid peab ainult õigesti kasutada. Me näeme kahte võrrandit. Ühendame neid ning väljendame otsitavat kiirust:

$$u = 2\delta m g\left(\frac{\mathrm{d}t}{\mathrm{d}m}\right)$$

Joonise abil leiame väärtused δm ja $\frac{\mathrm{d}m}{\mathrm{d}t}$ sirge tõusunurk 0 kuni 5 minutini. Kaalunäidu erinevus δm tassi sulgemise momendil on $0{,}01\ \mathrm{g}$. Massi muutumise kiirus $(\frac{\mathrm{d}m}{\mathrm{d}t})$ etanooli aurumisel on $0{,}035\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{min}}$. Asetades kõiki need väärtused võrrandisse, leiame keskmise kiiruse:

$$u = 2 \cdot 0{,}01\ \mathrm{g} \cdot 9{,}8\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} : \left(0{,}035\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{min}} \cdot \frac{\mathrm{min}}{60\ \mathrm{s}}\right) = 336\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$$

Pole hullu, kui selles selgituses on miski jäänud ebaselgeks. Alustame järjest meile vajalikest definitsioonidest ja vaatleme lihtsamaid näiteid. Meie lõplik eesmärk on õppida lahendama arvutusülesandeid, millede aluseks on suhteliselt keerulised valemid.

Füüsikaline suurus

Õppides täppis- ja loodusteaduseid me kohtume suure hulgaga füüsikaliseid suuruseid, nagu näiteks mass (m), ruumala (V) ja tihedus (ρ).

Tihtipeale need suurused on omavahel seotud või siis teineteisest sõltuvad, mis väljendub valemites, nagu näiteks:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Füüsikaline suurus on *füüsikalise objekti* (süsteemi või protsessi) ühe omaduse *iselomustus*, mis on paljudele füüsikaliste objektidele kvalitatiivselt ühine, kuid kvantitatiivselt individuaalne iga objekti jaoks. Laborinõu näitel see tähendab, et igal kolvil on oma **mõõt** (*kvantitatiivne iseloomustus*), **ruumala** (*kvalitatiivne iseloomustus*) **kindla väärtusega** (*kvantitatiivne iseloomustus*), mis on väljendatud mingites ühikutes.

Vaadeldud juhul kolb on objekt; ruumala on suurus; mõõt ja tema väärtus on kolvi kvantitatiivsed iseloomused, millede vahel esineb erinevus.

Mõõt on see, mis reaalselt eksisteerib vaatamata sellele, kas me teda teame või mitte, värtus on aga mõõdu hinnang, mis on väljendatud sellele omaste ühikute mõnda arvuga.

Näiteks täringul on tahu suurus, mille pikkuse (suuruse) väärtus on mõõdetud ja mis võrdub 50 mm või 5,0 cm. Seejuures arvulised väärtused 50 või 5,0 pole ilmtingimata õiged mõõtmisvea tõttu ja ei mõjuta tegelikut väärtust ega mõõtühiku valikut (mm, cm ja teised)!

Definitsiooni järgi on füüsikalise suuruse **arvväärtus** lihtsalt arv, mõõtühik on aga fikseeritud mõõdu füüsikaline suurus, millele on tinglikult omastatud ühega võrdeline arvväärtus.

Eeldatavalt tähistame füüsikalise suuruse mõõtühikut sama suuruse sümboliga nurksulgudes ja suuruse arvväärtust suuruse enda sümboliga looksulgudes. Sellisel juhul on iga suuruse Q väärtus võrdeline:

$$Q = \{Q\}[Q]$$

ehk iga füüsikalise suuruse väärtus võib olla väljendatud suuruse arvväärtuse ja sellele suurusele valitud ühiku kokkutise kaudu.

Kui suurust Q väljendada teise ühiku kaudu $[Q']$, mis on k korda suurem kui $[Q]$, siis uus arvväärtus $\{Q'\}$ on k korda väiksem kui $\{Q\}$, eks siis füüsikalise suuruse Q väärtus ei sõltu ühikute valikust.

Näiteks pliiatsi pikkus l on 177 m. Mõõtes pikkuse ühikut ja üleminnes millimeetritest sentimeetritele saame $l = 177\ \mathrm{mm} = 177 \cdot 0{,}1\ \mathrm{cm} = 17{,}7\ \mathrm{cm}$.

Järelikult füüsikalise suuruse arvväärtus muutub koos mõõtühiku muutmisega. Mõistagi tema suurus seejuures ei muutu.

Matematilised tehted füüsikaliste suurustega

Samalaadseid füüsikalisi väärtuseid võib liita ja lahutada. Seejuures arvulised väärtused liituvad kokku, kuid mõõtühik jääb muutumatuks:

$$\{Q\}_1[Q] + \{Q\}_2[Q] - \{Q\}_3[Q] = (\{Q\}_1 + \{Q\}_2 - \{Q\}_2)[Q] = \{Q\}_{\mathrm{sum}}[Q]$$

$$10\ \mathrm{dm}^3 + 30\ \mathrm{dm}^3 - 20\ \mathrm{dm}^3 = (10 + 30 - 20)\ \mathrm{dm}^3 = 20\ \mathrm{dm}^3$$

Ülesanne 3

Kasutades allpool toodud andmeid arvutage välja metaanhappe piirjuhtivus $\Lambda^0(\mathrm{HCOOH})$: $\Lambda^0(\mathrm{HCOONa}) = 90{,}5\ \frac{\mathrm{S\cdot cm^2}}{\mathrm{mol}}$, $\Lambda^0(\mathrm{HCl}) = 380{,}5\ \frac{\mathrm{S\cdot cm^2}}{\mathrm{mol}}$, $\Lambda^0(\mathrm{NaCl}) = 109\ \frac{\mathrm{S\cdot cm^2}}{\mathrm{mol}}$.

Lahendus:

Süvenemata elektrolüütide lahuste elektrijuhtivuse teooriasse kirjutame vahetusreaktsiooni: $\mathrm{HCOONa + HCl = HCOOH + NaCl}$. Unustades teooria, eeldame lihtsalt, et

$\Lambda^0(\mathrm{HCOONa}) + \Lambda^0(\mathrm{HCl}) = \Lambda^0(\mathrm{HCOOH}) + \Lambda^0(\mathrm{NaCl})$

Siis

$$\Lambda^0(\mathrm{HCOOH}) = \Lambda^0(\mathrm{HCl}) + \Lambda^0(\mathrm{HCOONa}) - \Lambda^0(\mathrm{NaCl}) = (90{,}5 + 380{,}5 - 109)\ \frac{\mathrm{S\cdot cm^2}}{\mathrm{mol}} = 362\ \frac{\mathrm{S\cdot cm^2}}{\mathrm{mol}}$$

Meie õige eeldus tähendas, et lahuses kannavad laengut osakesed $\mathrm{Na^+}$, $\mathrm{Cl^-}$, $\mathrm{H^+}$ ja $\mathrm{HCOO^-}$, seega $\Lambda^0(\mathrm{HCOOH}) = \Lambda^0(\mathrm{HCOO^-}) + \Lambda^0(\mathrm{H^+})$ ning eeldatav võrdlus kehtib.

Füüsikalised suurused korrutatakse ja jagatakse teineteisega reeglitele vastavalt:

$$\frac{Q}{P} = \frac{\{Q\}[Q]}{\{P\}[P]} = \frac{\{Q\}}{\{P\}} \cdot \frac{[Q]}{[P]}$$

$$\frac{m}{V} = \frac{19{,}3\ \mathrm{kg}}{1{,}00\ \mathrm{dm}^3} = \frac{19{,}3}{1{,}00} \cdot \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{dm}^3} = 19{,}3\ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{dm}^3}$$

$$Q \cdot P = \{Q\}[Q] \cdot \{P\}[P] = (\{Q\}\{P\}) \cdot ([Q][P])$$

$$\rho V = 19{,}3\ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{dm}^3} \cdot 2\ \mathrm{dm}^3 = (19{,}3 \cdot 2) \cdot \left(\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{dm}^3} \cdot \mathrm{dm}^3\right) = 38{,}6\ \mathrm{kg}$$

Ülesanne 4

Metaanhape juhtivuse määramiseks kasutati spetsiifilise juhtivuse väärtust $\kappa = 0{,}00752\ \frac{\mathrm{S}}{\mathrm{cm}}$. Lahus sisaldas 9,55% massi järgi metaanhapet tihedusega $\rho = 1{,}02\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm}^3}$. Arvutage välja metaanhappe juhtivus Λ.

Lahendus:

Ülesande tekstis tuuakse suuruste κ, ρ väärtused. Mõõtühikute järgi saab järeldada, et on vaja kasutada ruumala ja molaarmassi väärtuseid moolide arvu ja juhtivust mõõtühikuga $\frac{\mathrm{S}\cdot\mathrm{cm}^2}{\mathrm{mol}}$ (mis on teada eelmisest ülesande punktist) leidmiseks. Selline lähenemine, kus me hindame suuruseid ja nende seoseid, nimetatakse dimensioonide analüüsiks. Nendega me tutvume edaspidi, praegu aga kontrollime, kas kõik mõõtühikud taanduvad:

$$\Lambda = \frac{\kappa V}{n} = \frac{\kappa V M}{\rho V \omega_m} = \frac{\kappa M}{\rho \omega_m} = \left(\frac{0{,}00752 \cdot 46{,}0}{1{,}02 \cdot 0{,}0955}\right) \cdot \left(\frac{\frac{\mathrm{S}}{\mathrm{cm}} \cdot \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}}}{\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm}^3}}\right) = 3{,}55\ \frac{\mathrm{S}\cdot\mathrm{cm}^2}{\mathrm{mol}}$$

Õnnitlen, see oli esimene «tõsine» valem meie teel.

Mis puudutab eksponent-, logaritmiliste ja trigonomeetriliste funktsioonide argumente, siis peavad olema kas arvud või dimensioonita suuruste väärtused:

1. $e^{\left(\frac{E}{kT}\right)}$, kus E on energia, k on Boltsmani konstant, T on termodünaamiline temperatuur
2. $\ln(\frac{p}{p_0})$, kus p on rõhk, p_0 standartne rõhk, võrdeline 1 bar
3. $\sin\left(2\pi\frac{t}{T}\right)$, kus t on aeg, T võnkumise periood

Kõigis nendes näidetes on suuruste korrutis sulgudes dimensioonita.

Füüsikaliste suuruste ühikute süsteemid

Füüsikaliste suuruste ühikute süsteem on füüsikaliste suuruste *peamiste* ja *tuletatud* ühikute kogum, mis on moodustatud vastavalt antud *füüsikaliste suuruste süsteemi* tavakohastele printsiipidele.

Füüsikaliste suuruste süsteem on füüsikaliste suuruste ja nende tuletiste kogum, mis on moodustatud vastavalt tavakohastele printsiipidele, kui ühed suurused peetakse sõltumatuteks, teised on aga sõltumatute suuruste funktsioonid. Suuruste süsteemi, millel põhineb rahvusvaheline mõõtühikute süsteem (SI) ja kuhu kuuluvad seitse põhisuurust, nimeks on «suuruste süsteem **LMTIΘNJ**», kus sümbolite tähistus on järgmine: **L** — pikkus, **M** — mass, **T** — aeg, **I** — elektrivoolu tugevus, **Θ** — temperatuur, **N** — ainehulk, **J** — valgustugevus.

Tänapäeval kasutatakse kõige tihemini rahvusvahelist mõõtühikute süsteemi (SI), kuigi peale seda on olemas ka kümneid teisi mõõtühikute süsteeme. See on selgitatav väga lihtsalt - rahvusvahelisel mõõtühikute süsteemil on selgeid eeliseid kõikide kunagi eksisteerivate mõõtühikute süsteemide ees. Tema põhiühikuteks on: meeter (m) — pikkuse ühik, kilogramm (kg) — massiühik, sekund (s) — ajaühik, amper (A) — elektrivoolu tugevuse ühik, kelvin (K) — termodünaamilise temperatuuri ühik, mool (mol) — ainehulga ühik, kandela (cd) — valgustugevuse ühik.

Rääkides temperatuurist tuleks mainida kolme erinevat temperatuurset skaalat: Celsiuse, Kelvini (termodünaamiline temperatuur) ja Fahrenheiti. Kraadi suurus Celsiuses ja Kelvinis on ühesugune, teiste sõnadega temperatuuri muutus 1 °C võrra. Kuid nende skaalade nullväärtused erinevad teineteisest 273,15 võrra. Temperatuuri üleviimine Celsiuse skaalast Kelvini skaalasse tehakse °K = °C + 273,15 abil. Fahrenheiti skaala erineb Celsiuse skaalast nii nullpunkti, kui ka kraadi suuruse poolest. Nende skaalade nullpunktid erinevad 32 Fahrenheiti skaala kraadi võrra ning Celsiuse ja Fahrenheiti kraadidid on seotud võrdlusega: °C $= \frac{5}{9}(°\mathrm{F} - 32)$.

Ülesanne 5

Kodustes tingimustes kasutatava meditsiinilise termomeetri täpsus on ±0,1 °C, samas kui teda kasutab kogenud arst, siis tema täpsus võib olla ±0,1 °F. Arvutage nende mõlema juhuse jaoks temperatuuri 36,6 °C mõõtmise suhteline viga.

Lahendus:

Esimesel juhul on suhteline viga $\frac{0,1}{36,6} = 0,0027$, teisel $\frac{5}{9} \cdot \frac{0,1}{36,6} = 0,0015$.

Varsti me veendume SI süsteemi erakordses kasutamise mugavuses valemite ja võrrandite jaoks. Praegu tutvume mõningate tuletistega ja süsteemiväliste ühikutega (kõik need ühikud ei kuulu ühtegi eksisteeriva süsteemi):

- kuupmeeter (m^3) — ruumala ühik
- njuuton (N) — jõu ühik ($1\ \mathrm{N} = 1\ \frac{\mathrm{kg} \cdot \mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$)
- paskal (Pa) — rõhu ühik $\left(1\mathrm{Pa} = 1\ \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}^2}\right)$
- džaul (J) — energia ühik ($1\ \mathrm{J} = 1\mathrm{N} \cdot \mathrm{m} = 1\ \mathrm{Pa} \cdot \mathrm{m}^3$)
- kulon (C) — elektrilaengu ühik ($1\ \mathrm{C} = 1\ \mathrm{A} \cdot \mathrm{s}$)
- volt (V) — elektrivälja potentsiaali ühik $\left(1\ \mathrm{V} = 1\ \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{C}} = 1\ \frac{\mathrm{N} \cdot \mathrm{m}}{\mathrm{A} \cdot \mathrm{s}}\right)$
- vatt (W) — võimsuse ühik $\left(1\ \mathrm{V} = 1\ \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{s}} = 1\ \frac{\mathrm{N} \cdot \mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right)$
- ongström (Å) — pikkusühik ($1\ \mathrm{Å} = 1 \cdot 10^{-10}\ \mathrm{m}$)
- liiter (l) — ruumalaühik ($1\mathrm{L} = 1\ \mathrm{dm}^3$)
- baar (bar) — rõhuühik ($1\ \mathrm{bar} = 10^5\ \mathrm{Pa}$)
- miljondik osa (ppm) — kontsentratsiooni mõõtühik, suhtelist vahekorda iseloomustav ühik (10^{-6})

Enamus nendest ühikutest kasutatakse koos detsimaaleesliidetega:

Eesliited

suurusjärk	eesliide	lühend
10^{12}	tera-	T
10^{9}	giga-	G
10^{6}	mega-	M
10^{3}	kilo-	K (k)
10^{-1}	detsi-	d
10^{-2}	senti-	c
10^{-3}	mikro-	µ
10^{-9}	nano-	n
10^{-12}	piko-	p

Üleminekutegur näitab, mitu ühe suuruse mõõtühikut vastab teatavale hulgale teise suuruse mõõtühikule. Üleminekutegur vastab alati arvule **üks**, sest ta saadakse vatavuse mõlema poole jagamisel ühega nendest pooltest.

$1\ \mathrm{km} = 1000\ \mathrm{m} \Longrightarrow 1 = \dfrac{1000\ \mathrm{m}}{1\ \mathrm{km}}$ või $1 = 0{,}001\ \dfrac{\mathrm{km}}{\mathrm{m}}$

Üleminekutegur ei muuda suuruse väärtust, ta võimaldab üle minna teadaolevatelt suurustelt otsitavatele suurustele.

Harjutame mõõtühikute ja nende lühendite teisendamist

Ülesanne 6

Katkematu veekiht, mille ruumala on 1,34 miljardit kuupkilomeetrit, moodustab maailmamere. Tema keskmine soolsus on 3,50%, mille alused võib keskmiseks tiheduseks võtta $1030\ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}$. Ühes tonnis vees on 100 kuni 500 mikrogrammi ($1\ \mu\mathrm{g} = 10^{-6}\ \mathrm{g}$ või $10^{6}\ \mu\mathrm{g} = 1\ \mathrm{g}$) kulda, mille alusel eeldame, et täpselt ühes merevee tonnis sisaldub keskmiselt 300 µg kulda.

1. Arvutage maailmaookeani mass tonnides.
2. Arvutage maailmaookeanis oleva kulla mass kilogrammides.
3. Arvutage, mitu kilogrammi kulda saaksime maailmameres ühe inimese kohta, kui Maal elab 6,50 miljardit inimest.

Lahendus:

1. $m = 1{,}34 \cdot 10^{9}\ \mathrm{km}^3 \cdot \left(\dfrac{1000\ \mathrm{m}}{\mathrm{km}}\right)^3 \cdot 1030\ \dfrac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3} \cdot \dfrac{\mathrm{tonn}}{1000\ \mathrm{kg}} = 1{,}38 \cdot 10^{18}\ \mathrm{tonn}$
2. $m = 1{,}38 \cdot 10^{18}\ \mathrm{tonn} \cdot 300\ \dfrac{\mu\mathrm{g}}{\mathrm{tonn}} \cdot \dfrac{\mathrm{g}}{10^6\ \mu\mathrm{g}} \cdot \dfrac{\mathrm{kg}}{1000\ \mathrm{g}} = 4{,}14 \cdot 10^{11}\ \mathrm{kg}$

3. $m = \dfrac{4{,}14 \cdot 10^{11}\ \mathrm{kg}}{6{,}50 \cdot 10^{9}} = 63{,}7\ \mathrm{kg}$

Ühikanalüüs

Keemiaülesanded kasutatavad arvutustes käsitletakse mõõtühikuid algebraliste suurustena, mida võib korrutada ja jagades taandada. Neid arvutusi nimetakse **ühikanalüüsiks**. Ülevaltoodud näidete lisaks vaatleme veel mõned. Oluline on see, et lõppvõrrandites, mida kasutakse arvutamiseks, etteantud ühikutest muutuvad (korrutamisel ja taandumisel) otsitavateks ühikuteks.

Ülesanne 7

Üks tänapäeva intentsiivsemaid arendusteemasid teaduses on suurenergiatiheduseg akude konstrueerimine. Kommertsiaalsete akude energiatihedus on kuni 360 $\frac{\mathrm{W \cdot h}}{\mathrm{dm^3}}$ ja 200 $\frac{\mathrm{W \cdot h}}{\mathrm{dm^3}}$. Õhuhapniku kasutamine oksüdeerijana võimaldaks aku massi tunduvalt alandada. Arvutage milline neist elementidest annaks teoreetiliselt suurima võimsuse **i)** massi kohta ($\frac{\mathrm{W \cdot h}}{\mathrm{kg}}$) ja **ii)** ruumala kohta ($\frac{\mathrm{W \cdot h}}{\mathrm{dm^3}}$). Hapniku massi mitte arvestada.

Arvutused teha igale elemendile vastava lihtaine 1 mooli kohta, kasutades kõige iseloomulikuma o.a.-ga oksüdeerimise saadust. Eeldage, et redutseerijad saab olla kuni pool aku massist. (1 J = 1 W · s)

$\Delta_f G(\mathrm{Al_2O_3}) = -1582\ \frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{mol}}$	$\rho_{\mathrm{Al}} = 2{,}70\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm^3}}$
$\Delta_f G(\mathrm{Li_2O}) = -561\ \frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{mol}}$	$\rho_{\mathrm{Li}} = 0{,}535\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm^3}}$
$\Delta_f G(\mathrm{SiO_2}) = -856\ \frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{mol}}$	$\rho_{\mathrm{Si}} = 2{,}33\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm^3}}$

(Eeldage, et kogu Gibbsi energiamuut on kasutav elektrilise töö tegemiseks)

Lahendus:

$$P(\mathrm{Li}) = \frac{1}{2} \cdot 561000\ \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{mol}} \cdot \frac{1\ \mathrm{W \cdot 1\ s}}{1\ \mathrm{J}} \cdot \frac{1\ \mathrm{h}}{3600\ \mathrm{s}} \cdot \frac{1\ \mathrm{mol}}{6{,}94\ \mathrm{g}} \cdot \frac{1000\ \mathrm{g}}{1\ \mathrm{kg}} \cdot 0{,}50 = 5610\ \frac{\mathrm{W \cdot h}}{\mathrm{kg}}$$

$$P(\mathrm{Si}) = \frac{1}{1} \cdot 856000\ \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{mol}} \cdot \frac{1\ \mathrm{W \cdot 1\ s}}{1\ \mathrm{J}} \cdot \frac{1\ \mathrm{h}}{3600\ \mathrm{s}} \cdot \frac{1\ \mathrm{mol}}{28{,}09\ \mathrm{g}} \cdot \frac{1000\ \mathrm{g}}{1\ \mathrm{kg}} \cdot 0{,}50 = 4230\ \frac{\mathrm{W \cdot h}}{\mathrm{kg}}$$

$$P(\mathrm{Al}) = \frac{1}{2} \cdot 1582000\ \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{mol}} \cdot \frac{1\ \mathrm{W \cdot 1\ s}}{1\ \mathrm{J}} \cdot \frac{1\ \mathrm{h}}{3600\ \mathrm{s}} \cdot \frac{1\ \mathrm{mol}}{26{,}98\ \mathrm{g}} \cdot \frac{1000\ \mathrm{g}}{1\ \mathrm{kg}} \cdot 0{,}50 = 4072\ \frac{\mathrm{W \cdot h}}{\mathrm{kg}}$$

Suurim võimsus massi ühiku kohta ($\frac{\mathrm{W \cdot h}}{\mathrm{kg}}$) on liitium akul.

$$P(\mathrm{Li}) = 5610\ \frac{\mathrm{W \cdot h}}{\mathrm{kg}} \cdot \frac{0{,}535\ \mathrm{g}}{1\ \mathrm{dm^3}} \cdot \frac{1000\ \mathrm{cm^3}}{1\ \mathrm{dm^3}} \cdot \frac{1\ \mathrm{kg}}{1000\ \mathrm{g}} = 3000\ \frac{\mathrm{W \cdot h}}{\mathrm{kg}}$$

$$P(\mathrm{Si}) = 4230\ \frac{\mathrm{W \cdot h}}{\mathrm{kg}} \cdot \frac{2{,}33\ \mathrm{g}}{1\ \mathrm{dm^3}} \cdot \frac{1000\ \mathrm{cm^3}}{1\ \mathrm{dm^3}} \cdot \frac{1\ \mathrm{kg}}{1000\ \mathrm{g}} = 9860\ \frac{\mathrm{W \cdot h}}{\mathrm{kg}}$$

$$P(\mathrm{Al}) = 4072\ \frac{\mathrm{W \cdot h}}{\mathrm{kg}} \cdot \frac{2{,}70\ \mathrm{g}}{1\ \mathrm{dm}^3} \cdot \frac{1000\ \mathrm{cm}^3}{1\ \mathrm{dm}^3} \cdot \frac{1\ \mathrm{kg}}{1000\ \mathrm{g}} = 10990\ \frac{\mathrm{W \cdot h}}{\mathrm{kg}}$$

Suurim võimsus ruumala ühiku kohta ($\frac{\mathrm{W \cdot h}}{\mathrm{dm}^3}$) on alumiinium akul.

Autori kommentaar: Selle ülesande eesmärk on arvutada välja kolme kõige potentsiaalsema „aku kütuse“ teoreetilised energiatiheduse väärtused. Liitiumakud on levinud seetõttu, et neil on suur energiatihedus massi kohta ja $\mathrm{Li} \longrightarrow \mathrm{Li}^+ + \mathrm{e}^-$ üleminek toimub kergesti. Kuid teoreetilise väärtuseni on veel palju ruumi ja seetõttu jätkub Li-akude arendamine paljudes maailma laborites. Palju odavamad oleksid räni- ja alumiiniumakud, lisaks ka suurema energiatihedusega ruumala kohta, kuid nende puhul pole veel sobivate lahendusteni jõutud (probleemideks on isetühjenemine, ka laadimine pole efektiivne).

Kokkuvõte

Selles kursuse osas me tutvusime paljude definitsioonidega ja vaatlesime arvutusülesannete lahendamist.

Kursuse järgmises osas jätkame tutvustust arvutusülesannete lahendamise meetoditega (veidi sügavam).