

TARTU ÜLIKOOL  
TEADUSKOOL

**TÄIENDAVID TEEMASID KOOLIKEEMIALE I**

**AATOMMASSID. MOLAARARVUTUSED.**

Rein Pullerits

Õppevahend TK õpilastele  
Tartu 2008

# AATOMMASSID. MOLAARARVUTUSED.

## Massidefekti arvutamine

Katseliselt on leitud, et aatomi mass on väiksem selle koostises olevate elementaarosakeste masside summast. Osa elementaarosakeste massist muundub aatomi moodustumisel energiaks. Seda masside vahet nimetatakse **massidefektiks** ja selle väärtus on negatiivne.

Massidefekt ja energia vabanemine esineb ka siis, kui ühe elemendi aatomitest moodustub teise elemendi aatom (termotuumareaktsioonid, radioaktiivne lagunemine).

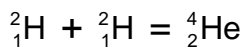
Aatommassi definitsiooni järgi on süsiniku  $^{12}_6\text{C}$  aatommass täisarv. Kõikide ülejäänud elementide aatomitel on aatommass täisarvust erinev. Perioodilisussüsteemi esimeste elementide aatomitel on aatommass massiarvust pisut suurem, kuid järjenumbri kasvuga see vahe väheneb. Süsiniku aatomil  $^{12}_6\text{C}$  on massiarv ja aatommass võrdsed (aatommassi definitsiooni järgi). Edasisel järjenumbri suurenemisel jääb aatommass massiarvust väiksemaks, kusjuures see vahe kasvab. Alates massiarvust 118 hakkab aatommass massiarvule uuesti liginema ning alates elemendist  $_{86}\text{Rn}$  muutub aatommass massiarvust suuremaks. Järelikult aatomite tuumasünteesil kuni aatomini massiarvuga 118 massidefekt massiarvu kasvamisega suureneb. Edasisel massiarvu suurenemisel massidefekt hakkab kahanema. Sellel fenomenil põhineb energia vabanemine termotuumasünteesil (vesinikpomm) ja tuumade lõhustumisel (aatompomm).

**Märkus.** Massidefekti absoluutväärtus on võrdeline aatomi kõikide elementaarosakeste vaheliste sidemete energiaga ja seda saab avaldada Einsteini võrrandist  $E = \Delta m \cdot c^2$  (massi ja energia ekvivalentsuse seadus). Kui  $\Delta m$  on kilogrammides, siis  $E$  avaldub džaulides, sest valguse kiirus  $c = 2,9979 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ .

**Näide.** Arvutage **a)** aatomi  $^4_2\text{He}$  tuumasünteesil kahest  $^2_1\text{H}$  aatomist tekkiv massidefekt **i)** aatommassi ühikutes ühe aatomi  $^4_2\text{He}$  kohta ja **ii)** grammides ühe mooli  $^4_2\text{He}$  kohta ning **b)** ühe mooli  $^4_2\text{He}$  sünteesil vabanev energia.

**a) i)**  $m(^4_2\text{He}) = 4,002603 \text{ amü/aatom}$

$$m({}_1^2\text{H}) = 2,014102 \text{ amü/aatom}$$



$$\Delta m = 1 \text{ aatom} \cdot 4,002603 \text{ amü/aatom} - 2 \text{ aatomit} \cdot 2,014102 \text{ amü/aatom} = 4,002603 \text{ amü} - 4,028204 \text{ amü} = \mathbf{-0,025601 \text{ amü}}$$

$$\text{ii) } 1 \text{ mol} \cdot \text{amü} \Leftrightarrow 1 \text{ g}$$

$$\Delta m = -0,025601 \text{ amü} \cdot 1 \text{ mol} \cdot \frac{1 \text{ g}}{1 \text{ mol} \cdot \text{amü}} = \mathbf{-0,025601 \text{ g}}$$

$$\text{b) } E = -2,5601 \cdot 10^{-5} \text{ kg/mol} \cdot (2,9979 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2 = -2,3008 \cdot 10^{12} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 / \text{mol} \cdot \text{s}^2 = \mathbf{-2,3008 \cdot 10^9 \text{ kJ/mol}}$$
 (1 J = N·m ja 1N = kg·m/s<sup>2</sup>)

### Keskmine aatommass

Keemiliste elementide aatommasside erinevused täisarvust on peamiselt tingitud elemendi esinemisest mitme isotoobina. Elemendi aatommass on selle elemendi kõikide isotoopide aatommasside kaalutud keskväärtus: iga isotoobi aatommassi ja selle osahulga korrutiste summa.

**Näide 1.** Looduses esineb vask isotoopidena  ${}_{29}^{63}\text{Cu}$  ja  ${}_{29}^{65}\text{Cu}$ . Isotoope aatommassidega 62,9295988 ja 64,927793 on looduses vastavalt 69,17% ja 30,83%. Leida vase keskmine aatommass.

Vase keskmine aatommass on mõlema isotoobi aatommassi ja vastava osahulga korrutise summa.

$$\begin{aligned} 62,9290 \cdot 0,6917 &= 43,5284 \\ 64,92779 \cdot 0,3083 &= \underline{20,0172} \\ 63,5456 &= \mathbf{63,55} \end{aligned}$$

**Näide 2.** Liitiumi aatommass on 6,941. Isotoobi  ${}_{3}^6\text{Li}$  aatommass on 6,015121 ja isotoobi  ${}_{3}^7\text{Li}$  keskmine aatommass on 7,016003. Leida isotoopide mooliprotsendiline sisaldus liitiumis.

Olgu isotoopi  ${}_{3}^6\text{Li}$  x, siis on isotoopi  ${}_{3}^7\text{Li}$  (100%-x)

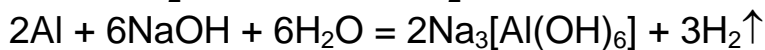
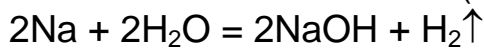
$$6,015121 \cdot \frac{x}{100\%} + 7,016003 \cdot \frac{100\% - x}{100\%} = 6,941$$

$$\mathbf{x = 7,5\%mol; \quad 100\% - x = 92,5\%mol.}$$

## Lähteainete koguste leidmine ühise saadusaine koguse järgi

Saadusaine kogus on esimesest ja teisest lähteainest moodustunud saadusaine koguste summa.

**Näide 1.** Mitu mooli naatriumi ja alumiiniumi on nende metallide 10 moolis sulamis, kui selle sulami reageerimisel leelise vesilahusega eraldus 12 mooli vesinikku ( $H_2$ )?



Vastavused:



$$I \quad n(H_2) + II \quad n(H_2) = 12 \text{ mol}$$

$$\frac{1}{2} \cdot n(Na) + \frac{3}{2} \cdot n(Al) = 12 \text{ mol}$$

$$n(Al) = 10 \text{ mol} - n(Na)$$

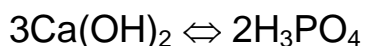
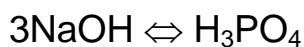
$$\frac{1}{2} \cdot n(Na) + \frac{3}{2} [10 \text{ mol} - n(Na)] = 12 \text{ mol}$$

$$\frac{1}{2} n(Na) - \frac{3}{2} n(Na) = 12 \text{ mol} - 15 \text{ mol}$$

$$n(Na) = 3 \text{ mol}$$

$$n(Al) = 7 \text{ mol}$$

**Näide 2.** Leida ortofosforhappe minimaalne ja maksimaalne hulk, mis kulub 12 mooli NaOH ja  $Ca(OH)_2$  segu neutraliseerimiseks.



Minimaalne hulk hapet kulub, kui NaOH suhteline sisaldus segus läheneb 100%. Maksimaalne hulk hapet kulub, kui  $Ca(OH)_2$  suhteline sisaldus segus läheneb 100%.

$$n_{\min}(H_3PO_4) = \frac{1}{3} \cdot 12 \text{ mol} = 4 \text{ mol}$$

$$n_{\max}(H_3PO_4) = \frac{2}{3} \cdot 12 \text{ mol} = 8 \text{ mol}$$

## Tiitrimine

Tiitrimine on teadaoleva kontsentratsiooniga lahuse lisamine kindlale kogusele uuritavat ainet sisaldavale lahusele kuni uuritava aine täieliku reageerimiseni.

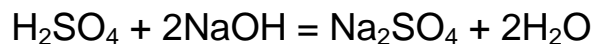
Tiitrimisega määratakse teadaoleva kontsentratsiooniga lahuse abil uuritava lahuse kontsentratsioon.

Vaatleme lähemalt hape-alustiitrimist. Meetod põhineb neutralisatsioonireaktsioonil:



Vaatleme juhust, kus on vaja määrata happelahuse kontsentratsiooni. Kindlale kogusele happelahusele (tavaliselt  $10 \text{ cm}^3$ ) lisatakse büretist kindla kontsentratsiooniga leeliselahust seni, kuni hape on täielikult ära reageerinud. Sel juhul on happe kindlale hulgale lisatud temale reaktsioonivõrrandi järgi vastav (ekvivalentne) kogus leelist. Seda momenti nimetatakse stõhhiomeetriapunktiks. Kuna neutralisatsioonireaktsiooniga ei kaasne väliseid muutusi, siis kasutatakse stõhhiomeetriapunkti kindlakstegemiseks värvindikaatoreid, mille värvus muutub lahuse pH muutumisega.

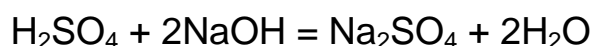
$\text{H}_2\text{SO}_4$  - lahuse kontsentratsiooni määramisel NaOH - lahusega toimub reaktsioon



Olgu  $c_1$  - määratav happe molaarne kontsentratsioon ( $\text{mol/dm}^3$ ),  $V_1$  - reaktsiooniks võetud happe ruumala ( $\text{dm}^3$ ),  $c_2$  - leelise molaarne kontsentratsioon,  $V_2$  - tiitrimiseks (neutraliseerimiseks) kulunud leelise ruumala ( $\text{dm}^3$ ). Reaktsioonivõrrandist on näha, et 1 mool  $\text{H}_2\text{SO}_4$  reageerib 2 mooli NaOH-ga. Reaktsiooniks võetud happe moolide arv ( $V_1 \cdot c_1$ ) ja neutraliseerimiseks kulunud leelise moolide arv ( $V_2 \cdot c_2$ ) suhtuvad teineteisesse nagu reaktsioonivõrrandi kordajad:

$$\frac{V_1 c_1}{V_2 c_2} = \frac{1}{2}, \text{ millest } c_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{V_2 c_2}{V_1}$$

**Näide.**  $10,00 \text{ cm}^3$   $\text{H}_2\text{SO}_4$  lahuse tiitrimiseks kulus  $14,35 \text{ cm}^3$   $0,09985 \text{ M}$  NaOH lahust. Leida väävelhappe lahuse molaarne kontsentratsioon.



$$\begin{array}{ccc}
 10,00 \text{ cm}^3 \cdot c & & 14,35 \text{ cm}^3 \cdot 0,09985 \text{ mol/dm}^3 \\
 \text{H}_2\text{SO}_4 & \Leftrightarrow & 2\text{NaOH} \\
 10,00 \text{ cm}^3 \cdot c(\text{H}_2\text{SO}_4) & = & \frac{1}{2} \cdot 14,35 \text{ cm}^3 \cdot 0,09985 \text{ mol/dm}^3 \\
 \underbrace{\hspace{10em}} & & \underbrace{\hspace{10em}} \\
 m(\text{H}_2\text{SO}_4), \text{ millimoolides} & & m(\text{NaOH}), \text{ millimoolides}
 \end{array}$$

Kuna kontsentratsioon on mol/dm<sup>3</sup> ja ruumala on kuupsentimeetrites (1 dm<sup>3</sup> = 1000 cm<sup>3</sup>) siis korrutis annab millimoolide arvu.

Kontsentratsiooni arvutamist see ei mõjuta, sest kuupsentimeetrid taanduvad välja.

Väävelhappe hulk moodustab  $\frac{1}{2}$  naatriumhüdrokksiidi hulgast.

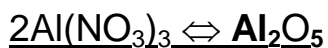
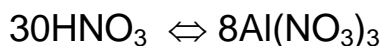
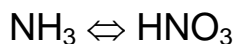
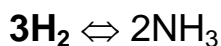
$$c(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{1}{2} \cdot 14,35 \text{ cm}^3 \cdot 0,09985 \text{ mol/dm}^3 \cdot \frac{1}{10,00 \text{ cm}^3} = \mathbf{0,07164 \text{ mol/dm}^3}$$

**Märkus:** Arvutuse täpsuse huvides antakse ümardamisest põhjustatud vigade vältimiseks molaarse kontsentratsiooni väärtus nelja tüvenumbriga, kuigi lähteandmed seda päris ei võimalda (büretilt saajandiku täpsusega lugemine on üsna kahtlane).

### Reaktsioonis osalenud aine moolide arvu leidmine teise aine moolide arvu järgi

Kui saadusaine tekib mitme üksteisele järgneva reaktsiooni tulemusena, siis võime vastavuse üleskirjutamisel loobuda vaheetappidest, kuid me peame arvestama kõikide vaheetappide üleminekuteguritega.

**Näide.** Avaldage alljärgnevatest vastavustest H<sub>2</sub> ja Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> vastavus.



$$3\text{H}_2 \Leftrightarrow 2 \cdot \frac{1}{1} \cdot \frac{8}{30} \cdot \frac{1}{2} \text{Al}_2\text{O}_3 \quad \text{ehk} \quad \text{H}_2 \Leftrightarrow \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{1} \cdot \frac{8}{30} \cdot \frac{1}{2} \text{Al}_2\text{O}_3$$

*Kirjandus:* Rein Pullerits, Maila Mölder keemiaülesannete lahendamine, Tallinn, Avita, 2000, 2001.

