

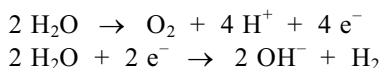
Lichaamswater

In natuurlijk waterstof komen twee isotopen voor, H-1 en H-2. De isotoop H-2 heet deuterium en wordt weergegeven met het symbool D. In de tabel staan enkele gegevens van de twee waterstofisotopen.

tabel

	H	D
atoommassa	1,0078 u	2,0141 u
aanwezig in natuurlijk waterstof	99,985%	0,015%

De atoommassa 1,008 u die vermeld staat in Binas-tabel 104 (4e druk) respectievelijk 99 (5e druk) is het gewogen gemiddelde van de atoommassa's uit bovenstaande tabel. In natuurlijk water komen dus watermoleculen voor waarin alleen H atomen zijn gebonden (H_2O) maar ook moleculen waarin D atomen aanwezig zijn (HDO en D_2O). De watermoleculen waarin D atomen zijn gebonden, bewegen iets trager dan de watermoleculen waarin alleen H atomen zijn gebonden. Ook is de O–D binding wat sterker dan de O–H binding. Door deze twee oorzaken worden bij elektrolyse van water eerder H_2O moleculen ontleed dan moleculen waarin D atomen zijn gebonden. Het percentage D atomen in het overblijvende water wordt daardoor tijdens de elektrolyse steeds groter. G. N. Lewis heeft voor de eerste keer in de geschiedenis zuiver D_2O bereid. In 1933 elektrolyseerde hij 100 L zuiver water. Hij stopte de elektrolyse toen er nog maar 1 mL vloeistof over was. Dat bleek zuiver D_2O te zijn; het heeft de naam zwaar water gekregen. De vergelijkingen van de halfreacties bij de elektrolyse van water zijn:



Met behulp van bovenstaande halfreacties kan worden aangetoond dat bij de elektrolyse van water per mol H_2O twee mol elektronen betrokken is.

- 2p **6** Laat met behulp van bovenstaande halfreacties zien dat bij de elektrolyse van water per mol H_2O twee mol elektronen betrokken is.
- 4p **7** Bereken hoeveel dagen het experiment van Lewis heeft geduurd als de stroomsterkte tijdens de elektrolyse 50 A was (293 K). Ga er bij de berekening vanuit dat al het water wordt geëlektrolyseerd; verwaarloos dus de kleine hoeveelheid zwaar water (1 mL) die overblijft. Maak bij de berekening onder andere gebruik van het gegeven dat de lading van een mol elektronen gelijk is aan $9,65 \cdot 10^4 \text{ C}$ (A betekent ampère; 1 ampère = 1 C s^{-1}).

Als mensen een lever- en/of nierziekte hebben, is het soms nodig om te bepalen hoeveel massaprocent water het lichaam bevat. Op basis van de uitkomst van die bepaling kan de medicatie worden vastgesteld. Bij een onlangs ontwikkelde methode om het massapercentage lichaamswater te bepalen, wordt D_2O gebruikt. Deze methode geeft binnen twee uur de uitslag.

Men laat een patiënt een afgewogen hoeveelheid (22 g) D_2O innemen. Met het water dat in het lichaam aanwezig is, treedt de volgende reactie op:



De uitwisseling tussen H en D atomen verloopt snel omdat er ionen bij betrokken zijn. Een klein deel van de moleculen die in water voorkomen, is namelijk geïoniseerd.

- 3p **8** Leid de vergelijking $\text{D}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{HDO}$ af door gebruik te maken van de ionisatie van water.

De HDO moleculen verdelen zich over al het water dat in het lichaam aanwezig is. Deze situatie is twee uur na de inname van D_2O bereikt. Overal in het lichaam is dan de concentratie HDO in het lichaamswater verhoogd. Als gevolg daarvan is de concentratie HDO in de waterdamp van de uitgedemde lucht ook verhoogd.

Eindexamen scheikunde 1-2 vwo 2006-II

De concentratie HDO in uitgeademde lucht kan worden gemeten. Daartoe wordt de uitgeademde lucht in een speciale massaspectrometer geleid. Daar worden aan de lucht H_3O^+ ionen toegevoegd. Aan deze H_3O^+ ionen binden zich drie watermoleculen waardoor ionen H_9O_4^+ ontstaan.

Er ontstaan ook ionen H_8DO_4^+ . Deze ionen ontstaan als in plaats van één H_2O molecuul één HDO molecuul wordt gebonden. De ionen H_8DO_4^+ zorgen in de massaspectrometer voor een signaal bij $m/z = 74$. De grootte van dit signaal wordt vergeleken met de grootte van het signaal bij $m/z = 73$. Uit de verhouding tussen die twee signalen is het percentage D atomen in de waterdamp van de uitgeademde lucht, en daarmee in het lichaamswater, te berekenen. Wel moet de gemeten intensiteit bij $m/z = 74$ nog worden gecorrigeerd. Er is namelijk nog een ionsoort, waarin geen D atomen voorkomen, die een signaal bij $m/z = 74$ veroorzaakt.

- 2p 9 Welke combinatie van zuurstof- en waterstofisotopen is in deze ionsoort aanwezig? Gebruik Binas-tabel 25.

Bij zo'n bepaling is van een patiënt van 65 kg, twee uur na de inname van 22 g D_2O , het gehalte H_8DO_4^+ ionen in de uitgeademde lucht 4,4 keer zo groot geworden. Dat betekent dat het aantal mol HDO in het lichaamswater ook 4,4 keer zo groot is geworden.

- 2p 10 Bereken het aantal mol HDO dat uit 22 g D_2O wordt gevormd.
3p 11 Bereken het massapercentage lichaamswater van de patiënt van 65 kg. De dichtheid van lichaamswater bij 37 °C is $0,993 \text{ kg dm}^{-3}$. Ga ervan uit dat:
- de hoeveelheid HDO die het lichaam verlaat gedurende de twee uur die het onderzoek duurt te verwaarlozen is;
 - de concentratie HDO in normaal lichaamswater bij 37 °C $0,017 \text{ mol L}^{-1}$ is.

Bij een patiënt die het bovenbeschreven onderzoek heeft ondergaan, neemt de verhoogde concentratie HDO in het lichaamswater langzaam af. Bij een normaal leefpatroon is de tijd waarin de helft van de extra hoeveelheid HDO moleculen wordt uitgescheiden ongeveer 12 dagen. Het duurt dus ruim drie maanden voordat de concentratie HDO in het lichaamswater weer op het oorspronkelijke niveau is. Bij sommige patiënten kan het nodig zijn om binnen drie maanden na de eerste bepaling opnieuw het massapercentage lichaamswater te bepalen.

- 2p 12 Leg uit of het mogelijk is om kort na de eerste bepaling (bijvoorbeeld binnen een maand) opnieuw het massapercentage lichaamswater correct te bepalen door inname van D_2O .