

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 hoofdzakelijk moleculen H₂O en HDO voor; de hoeveelheid D₂O moleculen is te verwaarlozen. De formule HDO staat voor een watermolecuul bestaande uit een H-1 atoom, een deuteriumatoom en een zuurstofatoom; in een molecuul D₂O zitten twee deuteriumatomen en een zuurstofatoom.

Men kan berekenen dat de concentratie HDO in natuurlijk water 0,017 mol per liter is (20 °C).

- 3p 9 Geef die berekening. Gebruik daarbij het gegeven dat van alle waterstofatomen die in de watermoleculen aanwezig zijn, 0,015% deuteriumatomen (D) zijn. De dichtheid van natuurlijk water is 0,998 kg dm⁻³ (20 °C).

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 D₂O gebruikt. Deze methode geeft binnen twee uur de uitslag.

Men laat een patiënt een afgewogen hoeveelheid (22 g) D₂O 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 10 Leid de vergelijking $D_2O + H_2O \rightarrow 2 HDO$ 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 D₂O 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 uitgeademde lucht ook verhoogd.

De concentratie HDO in uitgeademde lucht kan worden gemeten. Daartoe worden H₃O⁺ ionen aan de uitgeademde lucht toegevoegd. Aan de H₃O⁺ ionen binden zich drie watermoleculen waardoor er ionen H₃O⁺(H₂O)₃ ontstaan.

De structuur van het H₃O⁺ ion is in de onderstaande tekening schematisch weergegeven:



In de gevormde ionen H₃O⁺(H₂O)₃ komen polaire atoombindingen en waterstofbruggen voor.

Eindexamen scheikunde 1 vwo 2006-II

2p **11** Geef in een tekening weer hoe in het ion $\text{H}_3\text{O}^+(\text{H}_2\text{O})_3$ de drie watermoleculen aan het H_3O^+ ion kunnen zijn gebonden. Teken daarbij:

- de watermoleculen in structuurformule
- polaire atoombindingen met ononderbroken lijntjes (—)
- waterstofbruggen met stippellijntjes (---)
- de watermoleculen rechtstreeks aan het H_3O^+ ion.

In de uitgeademde lucht zijn na toevoeging van de H_3O^+ ionen ook ionen met de formule $\text{H}_3\text{O}^+(\text{H}_2\text{O})_2(\text{HDO})$ aanwezig. Het gehalte $\text{H}_3\text{O}^+(\text{H}_2\text{O})_2(\text{HDO})$ kan worden gemeten.

Bij een patiënt van wie de hoeveelheid lichaamswater op bovengenoemde manier wordt bepaald, is het gehalte $\text{H}_3\text{O}^+(\text{H}_2\text{O})_2(\text{HDO})$ in de uitgeademde lucht verhoogd. Uit de factor waarmee het gehalte $\text{H}_3\text{O}^+(\text{H}_2\text{O})_2(\text{HDO})$ is verhoogd door het innemen van 22 g D_2O , kan men de toename berekenen van het aantal mol HDO per liter lichaamswater.

Bij zo'n bepaling is van een patiënt van 65 kg, twee uur na de inname van 22 g D_2O , het gehalte $\text{H}_3\text{O}^+(\text{H}_2\text{O})_2(\text{HDO})$ in de uitgeademde lucht 4,4 keer zo groot geworden. Dat betekent dat het aantal mol HDO per liter lichaamswater ook 4,4 keer zo groot is geworden.

2p **12** Bereken het aantal mol HDO dat uit 22 g D_2O wordt gevormd.

3p **13** Bereken het massapercentage lichaamswater van de patiënt van 65 kg. De dichtheid van lichaamswater bij 37 °C is 0,993 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 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 **14** 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 .