Chemische Feitelijkheden

editie 72 | nr 300 | december 2013

DE CONTEXT Jagen op elementen
DE BASIS Netjes gevuld
DE DIEPTE Niet reactief, wel effectief

AUTEUR: ESTHER THOLE

EDELGASSEN

Magisch Gas

Een gas heeft iets ongrijpbaars. Er hangt iets in de lucht. Meestal kun je het niet zien. Soms kun je het ruiken. Is het giftig of explosief? In een heteluchtballon heeft gas iets magisch. En met een ballon vol helium kun je hele grappige dingen doen. Eigenlijk betekent gas niets anders dan de vorm van een stof met een kookpunt lager dan onze omgevingstemperatuur. Maar edelgassen – helium, neon, argon, krypton, xenon en radon - zijn wel heel speciaal. Helium heeft bijvoorbeeld het laagste kookpunt van alle elementen (4,2 K). En net als de edelmetalen goud en platina, staan edelgassen bekend om hun onaantastbare karakter. Ze reageren onder de omstandigheden in onze omgeving niet met andere elementen. We ruiken of zien ze niet. En toch zijn ze overal om heen. Argon is de op twee na meest voorkomende soort gas in onze atmosfeer. Het is handig bij het lassen. Om diepzee te duiken kun je niet zonder helium. Maar bij het radioactieve radon blijven we liever uit de buurt.

In deze Chemische Feitelijkheid

- De Context: Met de ontdekking van de edelgassen kreeg het periodiek systeem er een hele groep elementen bij.
- De Basis: Edelgassen hebben keurig gevulde orbitalen. Dat zorgt voor bijzondere eigenschappen.
- De Diepte: Omdat ze niet reageren met andere stoffen kunnen ze handig zijn bij medische ingrepen, bijvoorbeeld als verdovingsmiddel. Maar helemaal inert zijn ze niet.

Chemie gaat over reacties. Maar edelgassen reageren niet. Toch zijn het fascinerende elementen met interessante toepassingen.

Jagen op elementen

In 1869 publiceerde de Rus Dimitri Mendelejev het periodiek systeem der elementen dat we vandaag de dag nog steeds gebruiken. Het bevatte nog tal van 'gaten': elementen waarvan verschillende wetenschappers, onder wie Mendelejev zelf, het bestaan voorspelden, maar die nog niet ontdekt waren. Bij de ontdekking van stikstof (N) in 1784 bijvoorbeeld, vermoedden wetenschappers al dat er een element moest bestaan dat nog vluchtiger was. De jacht op nieuwe elementen was in de 19de eeuw in volle gang en ontdekkingen volgden elkaar in hoog tempo op.

In 1868 bestudeerden twee astronomen een zonsverduistering met een spectroscoop – waarmee je lichtspectra kunt bestuderen. Ze zagen een nieuwe 'kleur', die uitgezonden moest zijn door een nog onbekend element. Ze noemden het helium (He), naar het Griekse woord voor zon, helios. Pas in 1895 is aangetoond dat helium ook op aarde voorkomt. Zowel de Britse chemicus William Ramsay als twee Zweedse chemici wisten het gasvormige helium te isoleren uit het mineraal cleviet.

Zonder neon en ander edelgas zien we deze lichtreclames niet.

VLOEIBARE LUCHT

Ramsay vervult een sleutelrol in de ontdekking van de edelgassen. In 1894 toonde hij met Lord Rayleigh als eerste argon (Ar) aan. Ze isoleerden het gas uit vloeibaar gemaakte lucht. De naam van het nieuwe element leidden ze af van het Griekse woord voor 'lui', waarmee ze wezen op het niet-reactieve karakter van argon.

Uitgaande van de eigenschappen van argon en helium voorspelde Ramsay het bestaan van neon. In 1898 toonde hij, samen met Morris Travers, zijn gelijk aan. En meer dan dat. Door vloeibare lucht nog verder te ontleden, ontdekten ze niet alleen neon (Ne, 'nieuw'), maar ook krypton (Kr, 'verborgen') en xenon (Xe, 'vreemdeling'). In 1904 kreeg Ramsay de Nobelprijs voor zijn ontdekkingen.

Helemaal compleet werd het verhaal in 1908 toen Ramsay het zesde edelgas, het radioactieve radon (Rn), wist te isoleren. De ontdekking van de edelgassen betekende meer dan een paar gaten vullen in het periodiek systeem. Het bestaan van deze elementen maakte duidelijk dat er een complete groep (18, een kolom) ontbrak.

ALLERKOUDST

Edelgassen zijn monoatomaire, kleurloze, niet-brandbare en niet-giftige gassen. Ze danken hun verzamelnaam aan hun meest opvallende eigenschap, namelijk dat ze niet of nauwelijks reageren met andere elementen. Juist die lage reactiviteit maakt de edelgassen interessant om een zogeheten inerte atmosfeer te creëren. Een omgeving waarin materialen beschermd zijn tegen reacties met zuurstof uit de lucht. Denk aan metalen die gaan roesten. Argon wordt bijvoorbeeld gebruikt bij speciale lastechnieken of om 'kale' metalen te coaten.

Producenten van micro-elektronica gebruiken edelgassen in hun cleanrooms om chips en halfgeleidercomponenten vrij te houden van onzuiverheden. Dat argon kan zorgen voor een zuurstofvrije

Periodiek Systeem der Elementen

bekend ten tijde van Mendelejev
later bekend geworden

1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57 -71	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	89 -103	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Fl	115 Uup	116 Lv	117 Uus	118 Uuo

57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

HELIUMSTEM

Het blijft grappig. Zet een met helium gevulde ballon aan je mond, adem alles in en je praat als een Disney-figuur. Op YouTube wemelt het van de filmpjes van mensen (jong en oud) die opeens klinken als Knabbel, Babbel of Donald Duck. Wat doet helium met je stem? In tegenstelling tot de veelgehoorde uitleg dat helium je stembanden laat krimpen (en dat zoiets blijvend kan zijn), doet het helium niks. Het grote verschil tussen helium en de lucht die normaal gesproken je keelholte vult, is de geluidssnelheid. Geluid verplaatst zich door helium ongeveer drie keer sneller dan door lucht. Je stembanden blijven normaal werken, maar de trillingen die ze produceren verplaatsen zich nu veel sneller en dat zorgt voor een heel andere versterking van het geluid. Dat is alles.

Voor diepzeeduikers is het overigens heel normaal om met een heliumstem te praten. Om gemakkelijk en veilig te kunnen ademen onder de hoge druk die op grote diepten heerst, gebruiken duikers een mengsel van zuurstof en helium. Dat voorkomt beruchte complicaties als stikstofnarcose en de caissonziekte (duikersziekte) en dan neem je die Donald Duck-stem op de koop toe. Toch een waarschuwing: langdurig inademen van puur helium is gevaarlijk. Je kunt vrij snel bewusteloos raken en zelfs stikken door het zuurstofgebrek. Een ballonnetje kan geen kwaad, maar laat het daarbij. |

RADONSTRALING IN HUIS

De edelgassen staan bekend als niet giftig, maar voor het radioactieve radon ligt dat anders. Radon komt gewoon in de natuur voor. Het vormt zich doorlopend in de bodem (zie Basis). Daarom zit radon ook in woningen. Niet alleen omdat het uit de bodem ontsnapt, maar ook omdat het in de gebruikte bouwmaterialen is te vinden. Die win je immers vaak uit de bodem, denk aan klei, zand, graniet en gips. Vanaf de jaren 70 van de vorige eeuw laten metingen door het RIVM zien dat er in Nederlandse woningen radonstraling voorkomt, soms zelfs in hoge concentraties. Ook is de gemiddelde radonconcentratie in nieuwbouwwoningen sinds de eerste meting gestegen. De oorzaak ligt in de gebruikte bouwmaterialen en in de betere isolatie van woningen. Radon hoopt zich dan gemakkelijker op. Voor mensen kan radon gevaarlijk zijn, omdat het radioactieve gas vervalt naar vaste radioactieve stoffen en die hechten zich aan stofdeeltjes in de lucht. Door inademen van die lucht komen de radioactieve deeltjes terecht in je longen en veroorzaken door hun straling schade aan het weefsel. Dat kan tot longkanker leiden. Het is moeilijk te zeggen hoe groot die kans op longkanker is, omdat het sterk afhangt van hoe lang en hoeveel je in contact komt met radonstraling. Dat het jaarlijks in Nederland om enkele honderden gevallen gaat lijkt behoorlijk zeker. Ter geruststelling: goed ventileren helpt. Ramen open, radon eruit. |

Bouwmaterialen zijn een belangrijke bron van radonstraling in woningen.

omgeving levert nog een heel andere toepassing, namelijk als blusmiddel. Argon is zwaarder dan lucht en vormt daarmee een soort branddeken die het vuur dooft. Blusinstallaties met argon vind je bijvoorbeeld in laboratoria of opslagruimtes waar je geen water kunt gebruiken.

Aanvankelijk werden edelgassen ook zeldzame gassen genoemd, maar dat bleek al snel onzin. Argon komt na stikstof en zuurstof het meest voor in de troposfeer, de onderste laag van onze atmosfeer. Het argongehalte is met 0,93 procent niet overweldigend, maar het is beduidend meer aanwezig dan het veel bekendere CO_2 (0,039 procent). Via fractionele destillatie, waarbij je verschillende componenten met verschillende kookpunten scheidt, winnen gasproducenten argon uit vloeibaar gemaakte lucht.

TOP 10 GASSEN TROPOSFEER

Nr	Naam	Gehalte in %
1	Stikstof (N_2)	78
2	Zuurstof (O_2)	21
3	Argon (Ar)	0,93
4	Koolstofdioxide (CO_2)	0,039
5	Neon (Ne)	0,0015
6.	Helium (He)	0,0005
7	Methaan (CH_4)	0,0003
8	Stikstofmonoxide (NO)	0,0001
9	Krypton (Kr)	0,0001
10	Xenon (Xe)	0,00005

Helium is na waterstof zelfs het meest voorkomende element in het universum. Vooral sterren bevatten grote hoeveelheden helium. Maar in de aardse atmosfeer is helium zeldzaam. Het is namelijk zo licht dat het ontsnapt uit de dampkring. Op aarde vind je helium vooral onder de grond in aardgasvelden, waar het als bijproduct wordt gewonnen.

Helium heeft het laagste kookpunt van alle elementen: 4,2 K (-268,95 °C). Daardoor is vloeibaar helium zeer geschikt als koelmiddel voor supergeleidende magneten, zoals die in MRI-scanners in ziekenhuizen. Het was de Nederlander Heike Kamerlingh Onnes die er in 1908 als eerste in slaagde helium dusdanig af te koelen dat het vloeibaar werd. Vloeibaar helium als koelmiddel bij MRI is in volume de belangrijkste toepassing van het edelgas. Maar omdat helium op aarde schaars is, hangt er een stevig prijskaartje aan. Een liter vloeibaar helium kost momenteel zo'n 33 euro en er dreigt de laatste jaren zelfs een tekort. Maar ziekenhuizen krijgen voorrang bij de levering van het gas.

VERLICHTING

De naam neonreclame heeft te maken met de eerste toepassing van de edelgassen: in lampen. In gasontladingslampen geeft neon een mooie oranjerode gloed. Ook helium, argon, krypton en xenon hebben elk een kenmerkende kleur, variërend van warm geel tot lichtpaars en blauw. Ook radon geeft een karakteristieke kleur, groen. Maar praktische toepassingen heeft het niet. Het radioactieve karakter van dit buitenbeentje van de edelgassen zorgt ervoor dat we dit edelgas bij voorkeur vermijden.

Nog steeds worden edelgassen gebruikt in verlichting, maar vanwege de hoge kosten gaat het dan om specifieke lampen. Bijvoorbeeld flitslampen voor fotografie, vliegtuiglampen, koplampen van luxe auto's en lampen die een extreem lange levensduur moeten hebben. Een andere vorm van licht waarin we (combinaties van) edelgassen aantreffen zijn industriële en medische lasers. |

De manier waarop de edelgasatomen zijn opgebouwd verklaart waarom ze niet reageren met andere elementen. De orbitalen zijn precies gevuld en dat zorgt voor een stabiel geheel.

Netjes gevuld

De opbouw van het periodiek systeem der elementen kent een zekere regelmaat waarmee je de eigenschappen van de elementen kunt voorspellen. Ze staan gegroepeerd in kolommen. Elementen uit dezelfde groep - een kolom in het systeem - vertonen vergelijkbare eigenschappen. De alkalimetalen uit groep 1: lithium, natrium, kalium, rubidium, cesium en francium, staan bijvoorbeeld heel gemakkelijk een elektron af. De halogenen (groep 17) fluor, chloor, broom, jodium en astatium nemen juist graag een elektron op.

Uitwisseling van elektronen is de kern van een chemische reactie. De kenmerkende eigenschap van groep 18, de edelgassen, is hun extreem lage reactiviteit. Dat moet dus iets te maken hebben met gebrek aan uitwisseling van elektronen. De edelgassen houden hun elektronen blijkbaar stevig vast en reageren daarom niet of alleen onder zeer extreme omstandigheden met andere elementen.

MINERALE BRON

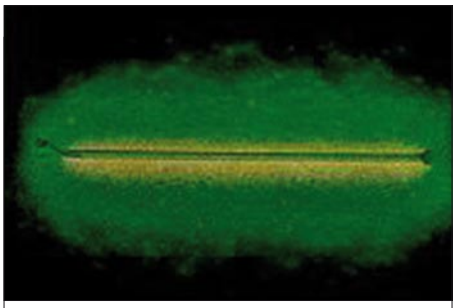
Pekblende of uraniniet (UO_2) is een sterk radioactief mineraal en een bron van helium en radon.

ENERGIENIVEAUS

Om te begrijpen waarom de edelgassen hun elektronen stevig in de greep houden, moet je kijken naar de atomaire opbouw. En dan vooral naar de verdeling van de elektronen rondom de kern: de elektronconfiguratie. Waterstof, atoomnummer 1, heeft de meest eenvoudige opbouw met een proton in de kern en daaromheen een elektron. Met ieder stapje naar rechts in het periodiek systeem komen er een proton en een elektron bij. De protonen bevinden zich met de neutronen in de kern.

De elektronen zweven rond de kern in orbitalen. De ruimte rond de kern is opgebouwd uit verschillende energieniveaus met daarin een vast aantal orbitalen. Het is een beetje vergelijkbaar met satellieten die in een vaste baan om de aarde cirkelen. Weer beginnend op het niveau van waterstof komt er met ieder stapje naar onder in het periodiek systeem een energieniveau bij. Ieder energieniveau heeft een nummer, waarbij nummer 1 het dichtst bij de atoomkern ligt. Hoe hoger het nummer, hoe groter de afstand tussen het elektron en de kern.

De oudere leerboeken duiden de energieniveaus ook wel aan als (elektronen)schillen. De orbitalen krijgen letters als vermelding: s,p,d,f, enzovoort. Energieniveau 1 omvat alleen een s-orbitaal, aangeduid als 1s, die maximaal twee elektronen kan bevatten. Het volgende energieniveau, 2, heeft een s- en een p-orbitaal, waarbij de p-orbitaal eigenlijk uit drie orbitalen bestaat. In niveau 3 zit de



Radioluminescentie van radongas in een buisje van goud.

d-orbitaal met vijf orbitalen en in niveau 4 de f-orbitaal met zeven orbitalen, en zo gaat het door. De afzonderlijke orbitalen kunnen maximaal twee elektronen bevatten. Om de elektronconfiguratie van de edelgassen te begrijpen, volstaat het om te weten dat de opbouw van de atomaire energieniveaus een strak schema volgt:

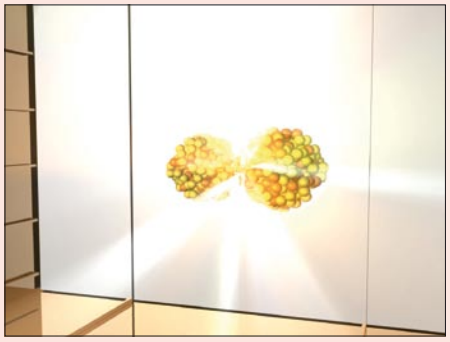
Energie-niveau	Orbitalen	Maximaal aantal elektronen
1	1s	2
2	2s	2
	2p (3x)	6
3	3s	2
	3p (3x)	6
	3d (5x)	10
4	4s	2
	4p (3x)	6
	4d (5x)	10
	4f (7x)	14

Als je dit schema volgt en begint bij atoomnummer 1, waterstof, dan is de elektronconfiguratie van H $1s^1$. Het superscript 1 geeft aan dat er een elektron in die orbitaal zit. Het volgende element in het periodiek systeem is helium, He. Dat heeft 1 elektron meer dan H. De elek-

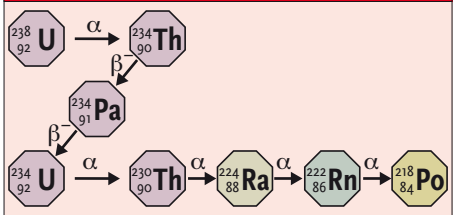
HET ZEVENDE EDELGAS?

Wie de structuur van het periodiek systeem onverstoord volgt, ziet geen reden waarom radon de hekkensluiter van de groep edelgassen zou moeten zijn. Daar kan ook element 118 staan, vonden onderzoekers in het Californische Berkeley. Dus beschoten ze lood met hoog energetische kryptonatomen en ja hoor, daar dook element 118 heel even op. Drie atomen met een halfwaardetijd van nog geen milliseconde. Een nieuw element was geboren en ze noemden het voorlopig ununoctium (Uuo), een soort van Latijn voor 118. Dit was in 1999.

Maar 2 jaar later leek Uuo slechts een hypothese. Geen enkele andere groep had het bestaan kunnen bevestigen en ook in Berkeley gingen ze twijfelen aan hun eigen analyse. Tot in 2006 het nieuws kwam dat een groep Russische en Amerikaanse onderzoekers element 118 had gedetecteerd, indirect althans. Uit de vervalproducten na een botsing van californium- en calciumatomen leidden ze af dat - heel even - ook element 118 had bestaan. Het zijn bemoedigende resultaten, maar er is meer bewijs nodig voordat de ontdekking van element 118 wordt erkend, aldus de International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC). In de versie van het periodiek systeem uit mei 2013 was nummer 118 in ieder geval nog niet opgenomen. |



VERVALSCHEMA U EN TH



Radon (Rn) is een vervalproduct van radioactief uranium (U) en thorium (Th) en is zelf ook een alfa-straler: Rn vervalt naar polonium (Po) en daarbij komen heliumkernen vrij. |

uranium (U) en thorium (Th). Tijdens het radioactieve verval naar lichtere elementen komen alfadeeltjes vrij en dat zijn heliumkernen (He^{2+}).

$$^{238}_{92}U \rightarrow {}^{234}_{90}Th + He^{2+}$$

($^{\text{atoommassa}}_{\text{atoomnummer}}$ Symbool element)

De vrijgekomen alfadeeltjes vormen, na binding van twee elektronen, het gasvormig helium dat zich ondergronds ophoopt onder gasdichte lagen in het gesteente. Dit zijn dezelfde lagen waaronder aardgas gevangen blijft. Niet alle gasvelden bevatten (evenveel) helium. Commerciële winning van helium is mogelijk bij aardgasvelden in Algerije, Qatar en de VS. Nederlands aardgas bevat nauwelijks helium.

Radon is ook een van de vervalproducten van U en Th. Radon blijft in tegenstelling tot helium radioactief en behoorlijk instabiel. Het meest stabiele radonisotoop, ^{222}Rn, heeft een halfwaardetijd van ongeveer 92 uur. Bij het verval van radon naar lichtere elementen komen weer heliumkernen vrij. Zo vormt het zwaarste edelgas een bron van het lichtste. |

trongconfiguratie van He is $1s^2$. Bij helium is de s-orbitaal dus precies gevuld. Zo'n volle buitenste orbitaal heeft de aanduiding [He]. Die aanduiding is praktisch als je naar grotere elementen gaat, omdat de opbouw voortbouwt op die van kleinere atomen. Als je stapsgewijs door het periodiek systeem loopt en het opbouwschema volgt, krijg je voor de edelgassen de volgende elektronconfiguraties:

Helium (He)	$1s^2$
Ne (Ne)	$1s^2 2s^2 3p^6$ of: $[He]2s^2 3p^6$
Argon (Ar)	$[Ne]3s^2 3p^6$
Krypton (Kr)	$[Ar]3d^{10} 4s^2 4p^6$
Xenon (Xe)	$[Kr]4d^{10} 5s^2 5p^6$
Radon (Rn)	$[Xe]4f^{14} 5d^{10} 6s^2 6p^6$

Het patroon is duidelijk; alle edelgassen hebben uitsluitend volledig gevulde orbitalen. Er zijn geen vrije plaatsen voor elektronen meer. Dit zorgt voor een stabiele atoomstructuur. Dat blijkt ook uit de hoge ionisatie-energie van de edelgassen. Die geeft weer hoeveel energie (in elektronvolt, eV) nodig is om een elektron uit de buitenste orbitalen van een neutraal atoom te verwijderen. Het contrast in ionisatie-energie tussen de edelgassen en hun directe opvolgers in het periodiek systeem die een elektron meer hebben volgt een veelzeggend patroon.

Uit de ionisatie-energie blijkt ook dat er een groot verschil is tussen de lichte (He, Ne) en de zwaardere edelgassen, zoals Xe. Bij Xe is de afstand tussen de buitenste 5p-orbitalen en de kern veel groter dan bij de kleine helium- en neonatomen. De aantrekkingskracht van de positieve kern op de negatieve elektronen is bij Xe daardoor kleiner. Het vraagt dus minder energie om een elektron uit de buitenste orbitalen van Xe te verwijderen, ondanks dat dit element een edelgas is.

RADIOACTIEVE OORSPRONG

Helium win je niet zoals de andere edelgassen uit lucht, maar is een bijproduct van aardgaswinning. Hoe komt dit gas, dat zo licht is dat het niet in de aardse atmosfeer aanwezig blijft, terecht in aardgasvelden? De bron van helium ligt in de radioactieve elementen die van nature in gesteentes voorkomen, zoals

EIGENSCHAPPEN OP EEN RIJTJE

Naam	Symbool	Atoomnummer	Relatieve atoommassa (u)	Kookpunt (K)	Dichtheid bij 298 K (kg/m³)
Helium	He	2	4	4,2	0,16
Neon	Ne	10	20,2	27	0,9
Argon	Ar	18	39,9	87	1,63
Krypton	Kr	36	83,8	120	3,43
Xenon	Xe	54	131,3	165	5,37
Radon	Rn	86	222	211	9,07

IONISATIEPATROON

Element	Atoomnummer	Configuratie	Ionisatie-energie (eV)
He	2	[He]	24,6
Li	3	$[He]2s^1$	5,3
Ne	10	[Ne]	21,6
Na	11	$[Ne]3s^1$	5,1
Ar	18	[Ar]	15,8
K	19	$[Ar]4s^1$	4,3
Kr	36	[Kr]	14,0
Rb	37	$[Kr]5s^1$	4,2
Xe	54	[Xe]	12,0
Cs	55	$[Xe]6s^1$	3,9
Rn	86	[Rn]	10,8
Fr	87	$[Rn]7s^1$	4,2

Geneesmiddelen beter inhaleren met helium, inwendige bloedingen stoppen met argon of een algehele narcose met xenon. Edelgassen kunnen letterlijk heel dichtbij komen.

Niet reactief, wel effectief

Als koelmiddel van MRI-apparatuur is helium onmisbaar geworden in het moderne ziekenhuis. Maar ook de andere bijzondere eigenschappen van de edelgassen helium, argon en xenon, zijn in de medische wereld en het biomedische onderzoek niet onopgemerkt gebleven. Helium kan bijvoorbeeld helpen om de ademhaling te versoepelen, omdat het een veel lagere dichtheid heeft dan zuurstof. Zo gebruiken diepzeeduikers mengsels van helium en zuurstof, soms aangevuld met stikstof en waterstof, om de ademhaling op grote diepten (tot enkele honderden meters diep) mogelijk te maken.

Bij patiënten met ademhalingsmoeilijkheden kan een mengsel van zuurstof en helium verlichting brengen. Inademen kost dan minder kracht en energie. Tegelijkertijd wordt de afvoer van schadelijke gassen zoals CO_2 via de uitademing efficiënter, omdat de diffusie van dit gas door het zuurstof-heliummengsel sneller verloopt dan door gewone lucht.

MRI-SCANNER

De supergeleidende magneten in MRI-scanners worden gekoeld met vloeibaar helium.

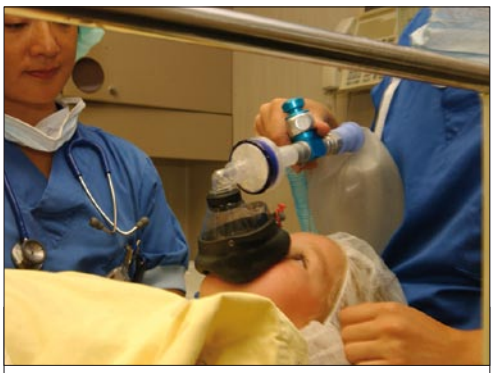
Een zuurstof-heliummengsel is ook geschikt als *drug delivery*-vehikel voor geneesmiddelen die je via inhalatie toedient. Dit mengsel dringt dieper en beter door in de longen, waardoor het geneesmiddel meer uniform verspreidt en zich niet uitsluitend ophoopt in de bovenste luchtwegen. Toch vindt helium (nog) weinig toepassing op deze manier. De belangrijkste reden hiervoor lijkt te zijn dat grootschalige klinische studies ontbreken.

BLOEDVERZURING

De lage dichtheid en het inerte karakter van helium maken het gas een interessante kandidaat voor laparoscopie. Dit is de technische benaming voor minimaal-invasieve chirurgie in de buikholte, waarvoor artsen momenteel CO_2 gebruiken. Via een kleine incisie breng je een naald in waarmee je het gas in de buikholte blaast. Met het gas creëer je ruimte om instrumenten in te brengen en chirurgische handelingen te verrichten.

CO_2 lost gemakkelijk op in het bloed en dat kan leiden tot hypercapnie: een te hoog CO_2-gehalte in het bloed. Dit voer je via de uitademing af, maar vooral voor patiënten met longaandoeningen is dit moeilijk. Veel CO_2 in het bloed zorgt bovendien voor verzuring ervan. Door de daling van de pH kunnen cellen en weefsels beschadigen.

Helium lost niet op in het bloed en is inmiddels succesvol toegepast in laparoscopie. Tegelijkertijd kleeft aan helium het nadeel dat het, vanwege de onoplosbaarheid, levensbedreigende gasbellen kan vormen in het bloed, hoewel er nog geen gevallen van die complicatie bekend zijn. Onderzoekers raden aan om helium in te zetten bij patiënten met ernstige hart- of ademhalingsproblemen of wanneer het gaat om een langdurige ingreep en de kans op hypercapnie toeneemt. De (veel) hogere kosten van helium ten opzichte van CO_2 spelen ongetwijfeld ook een rol bij dit advies.



Xenon staat sterk in de belangstelling als middel voor algehele narcose.

VERDOVEND

Al in 1939 is het gebruik beschreven van xenon voor een algehele narcose. Voor die toepassing van xenon zijn verschillende goede redenen aan te voeren. Het is gemakkelijk in te ademen en zowel inslapen als ontwaken verloopt snel. In vergelijking met het veelgebruikte lachgas ervaren patiënten minder bijwerkingen, zoals concentratieproblemen, verwarring of geheugenverlies.

Het mechanisme achter de verdovende werking van xenon is nog niet opgehelderd. Wel is bekend dat xenon bindt aan de N-methyl-D-aspartaat (NMDA) receptor. Die blokkade is waarschijnlijk een cruciale stap op weg naar het verdovende effect. Bovendien zorgt binding aan de NMDA-receptor voor het remmen van

EXOTISCHE SYNTHESES

Het inerte karakter van de edelgassen prikkelt de verbeelding van chemici. Van argon, krypton en xenon is bekend dat het mogelijk is ze op te nemen in clathraten of *metal organic frameworks* (MOF): kooivormige, poreuze verbindingen. Sommige MOF's zijn daarvoor zo geschikt dat ze wellicht zijn in te zetten om krypton en xenon te herwinnen uit de uitstoot van kerncentrales. Helium en neon zijn te klein voor stabiele omsluiting door MOF's. Die twee minst reactieve van alle elementen kun je wel vangen in fullerenen, de bolvormige C_{60} kooiconstructies. Fullerenen met zowel helium als neon zijn aangetoond.

Maar zijn edelgassen écht niet te bewegen tot een daadwerkelijke chemische reactie? Hier en daar zijn pogingen gewaagd, maar zonder resultaat. Tot 1962, toen verschenen meerdere publicaties over de reactie tussen xenon en fluor. Dat bracht chemici alom in beweging. Binnen een jaar zijn verschillende xenonfluorides en -oxides gesynthetiseerd. Xenon en fluor kunnen direct met elkaar reageren tot de vluchtige, vaste stoffen XeF_2, XeF_4 of XeF_6, maar dat vraagt wel een hoge temperatuur (300 – 600 °C) en druk (tot 60 atm).

Minder extreem lukt het ook. Breng xenon en fluoride in een zeer schone, zuurstofvrije, extreem droge en hermetisch afgesloten kolf en zet die letterlijk in het zonnetje. Fotochemische dissociatie van het fluoride zorgt voor reactieve fluoratomen die aan xenon binden, wat is te zien aan de groei van XeF_2-kristallen op de wand van de kolf. Naast xenonfluorides zijn verschillende xenonoxides mogelijk, zoals het zeer explosieve xenontrioxide, XeO_3.

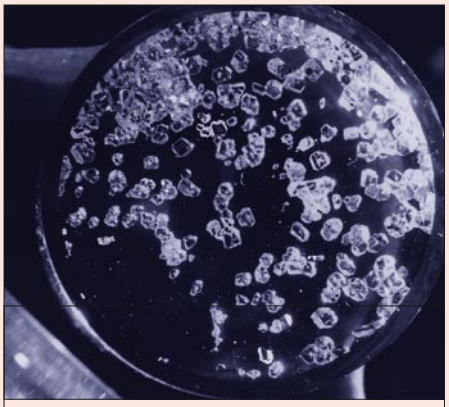
$XeF_6(s) + 3H_2O(l) \rightarrow XeO_3\ (aq) + 6HF(aq)$

$2XeF_6(s) + 3SiO_2(s) \rightarrow 2XeO_3(s) + 3SiF_4(g)$

Xenon kan bovendien covalent binden aan stikstof en koolstof, bijvoorbeeld in $FXeN(SO_2F)_2$ en het instabiele $Xe(CF_3)_2$. Andere voorbeelden van xenonverbindingen bevatten platinum en rhodium, zoals $XePtF_6$ en $XeRhF_6$. Ook zijn xenonzouten bekend, de xenaten en perxenaten. Een voorbeeld is Na_4XeO_6.

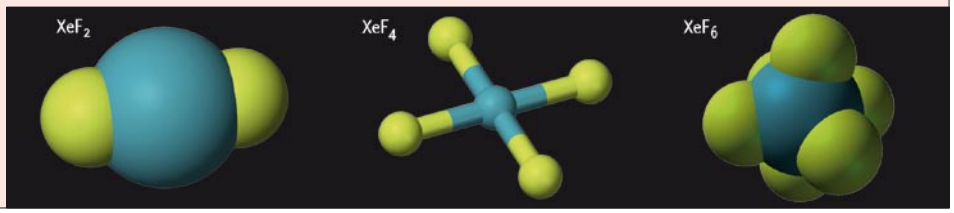
De relatief lage ionisatie-energie van xenon in vergelijking met de andere edelgassen verklaart de, naar verhouding, hoge reactiviteit. Radon heeft een nog lagere ionisatie-energie en er is RnF_2 gesynthetiseerd. Maar de radioactiviteit van het element maakt karakterisering van radonverbindingen heel lastig.

Krypton is minder reactief dan xenon, maar ook dit edelgas kan vergelijkbare verbindingen aangaan. Het mineraal kryptoniet, dat Superman van zijn krachten kan beroven, hoort daar niet bij. In 2006 stuitten mineralogen op een verbinding waarvan de samenstelling tot grote verbazing sterk leek op de 'formule' van kryptoniet. Maar helaas, omdat krypton ontbrak mocht het nieuwe mineraal geen kryptoniet worden genoemd. De zoektocht naar nieuwe edelgasverbindingen motiveert chemici nog steeds. In 2000 publiceerde een Finse groep de synthese van argonfluorohydride (HArF), de eerste stabiele argonverbinding.



Een van de eerste foto's van XeF_4 kristallen (1962).

Het synthesewerk aan edelgassen lijkt chemische *spielerei*, maar het heeft inmiddels geleid tot daadwerkelijke toepassingen. XeF_2 wordt bijvoorbeeld in syntheses ingezet als sterke oxidator, net als andere xenonverbindingen. Grootschalig is het allemaal niet, maar de mythe van de onaantastbare edelgassen is voorgoed naar het rijk der fabelen verwezen. |



verschillende cellulaire afbraakprocessen, waardoor schade aan onder meer zenuwcellen wordt voorkomen. Dit verklaart wellicht voor een deel waarom xenon veel minder neurologische bijwerkingen veroorzaakt.

De hoge kosten van xenon belemmeren vooralsnog grootschalige toepassing. Daarom staat de ontwikkeling van gesloten circuits, waardoor je xenon terugwint, sterk in de belangstelling. Nadat Duitsland in 2005 als eerste Westerse land toestemming gaf voor het gebruik van xenon in de anesthesie wordt die toepassing serieus opgepakt.

BESCHERMEND

Door argon als plasma – deels geïoniseerd gas – in te zetten, kun je interne bloedingen stoppen, bijvoorbeeld nadat darmpoliepen zijn verwijderd of na andere chirurgische ingrepen. De techniek staat bekend als APC, argonplasmacoagulatie. Het elektrisch geleidende argonplasma zorgt voor een lokale verhitting van het te behandelen weefsel. Hierdoor denaturiseren eiwitten, waardoor de bloeding stopt. APC is daarnaast in te zetten bij de behandeling van slokdarmkanker. Door het tumorweefsel flink te verhitten, verdampt het weefselvocht en valt het weefsel uit elkaar. Die vernietigende werking staat in schril contrast met de beschermende eigenschappen die ook aan argon worden toegedicht.

Zowel argon als xenon hebben een gunstig effect op het voorkomen van schade aan weefsels en organen na slechte doorbloeding door een hart- of herseninfarct. In verschillende (diermodel)studies is aangetoond dat de gassen een beschermende werking hebben op onder meer hart-, nier- en hersenweefsel en zenuwcellen. Argon bindt niet aan de NMDA-receptor zoals xenon. Wat in ieder geval een rol lijkt te spelen is dat zowel argon als xenon binden aan receptoren die apoptose – geprogrammeerde celdood – verhinderen. |

Label van Trimix met 14% zuurstof, 58% helium en 28% stikstof. 90m is de maximale diepte voor dit mengsel. Voor duikers die op grote diepten moeten werken bestaan verschillende mengsels van zuurstof, stikstof, helium en soms ook argon om veilig en gemakkelijk te kunnen ademen.

Meer weten

AANBEVOLEN LITERATUUR

- D.F. Shriver, P.W. Atkins, C.H. Langford, *Inorganic Chemistry*, 1990, Oxford University Press.
- M. van Zundert, Helium niet langer een bijproduct, *C2W12*, 5 juli 2013.
- W.H. Brock, *The Fontana History of Chemistry*, 1992, Fontana Press.
- P.D. Harris, R. Barnes, The uses of helium and xenon in current clinical practice, *Anaesthesia* (2008) 63:284-293.
- S. Spaggiari et al., Antiapoptotic activity of argon and xenon, *Cell Cycle* (2013) 12:16 2636-2642.
- K. Harris *et al.*, Neuroprotection against traumatic brain injury by xenon but not argon, is mediated by inhibition at the NMDA receptor glycine site, *Anesthesiology* (2013) e-pub 17 July.
- *Chemische Feitelijkheden* 273, Lachgas

AANBEVOLEN WEBSITES

- www.iupac.org
- www.medicalgasresearch.com
- www.periodieksysteem.com
- www.rivm.nl

VOOR OP SCHOOL

1. Waardoor stijgt een ballon gevuld met helium in de atmosfeer?
2. Edelgassen zijn niet giftig. Maar ze kunnen wel verstikkend werken. Leg uit.
3. Wanneer komt de verstikkende werking van argon goed van pas?
4. Leg uit waardoor edelgassen zeer lage kookpunten hebben.
5. Kleuren van edelgassen zijn gebaseerd op absorptie- en emissiespectra. Hoe kan dat?
6. Waardoor levert een zuurstof/heliummengsel geen caissonziekte op bij diepzeeduikers en gewone lucht wel?

VOOR EEN PERFECTE LAS

Argon wordt gebruikt om metalen te beschermen tijdens het lassen.

7. Geef de vergelijking voor het radioactief verval van radon. Wat is de halfwaardetijd?
8. Leg met (diffusie) evenwichtsvergelijkingen uit waardoor verwijdering van CO_2 via de uitademing efficiënter gaat met een zuurstof-heliummengsel dan met lucht.
9. Geef de evenwichtsvergelijking waaruit blijkt dat meer CO_2 in het bloed tot verzuring leidt (lagere pH).
10. Waarom is fluor een geschikte bindingspartner in de exotische edelgasverbindingen?

COLOFON

Chemische Feitelijkheden: actuele encyclopedie over moleculen, mensen, materialen en milieu. Losbladige uitgave van de KNCV, verschijnt driemaal per jaar met in totaal tien onderwerpen.

Redactie:
Corry van Driel (C2W), Franny Scholte (C2W), Gerard Stout (NHL Hogeschool)

Redactie en realisatie:
Bèta Publishers, tel. 070-262 91 00
info@betapublishers.nl

Fotoverantwoording:
Foto's zonder bronvermelding zijn afkomstig van www.dreamstime.com

Opmaak: F.Koeman DTP Services
f.koeman@casema.nl

Basisontwerp: Menno Landstra

Uitgever:
Sijmen Philips, Bèta Publishers
Postbus 19949, 2500 CX Den Haag
tel. 070-26 29 100, info@betapublishers.nl

Abonnementen:
Abonnementenland, Antwoordnummer 1822
1910 VB Uitgeest
tel. 0900-226 52 63 (€ 0,10/minuut)
klantenservice@aboland.nl
Abonnementen kunnen elk gewenst moment ingaan. Wij hanteren de opzegregels uit het verbintenissenrecht. Wij gaan ervan uit dat Chemische Feitelijkheden altijd wordt ontvangen uit hoofde van het beroep. Hierdoor wordt het abonnement automatisch met een jaar verlengd tenzij 2 maanden vóór de einddatum een opzegging is ontvangen.

Een abonnement op Chemische Feitelijkheden geeft via de website toegang tot tien nieuwe edities per jaar en het totale online archief. Daarnaast ontvangen abonnees in drie zendingen per jaar de losbladige edities.

Tarieven vanaf 2014
Voor particulieren:
Online toegang met inlogcode en papieren editie (inclusief verzamelmap): € 83,50*.
Leden van KNCV, KVCV en NVON krijgen € 10,- korting.
Voor bedrijven en (onderwijs)instellingen:
Onbeperkt toegang tot de digitale edities op basis van IP -adres en papieren editie in drievoud (inclusief verzamelmappen): € 250,-*.
Losse nummers: € 9.95* per stuk te bestellen bij Abonnementenland.
*Bij betaling per acceptgiro wordt € 2,95 extra in rekening gebracht.

EDELGASSEN

editie 72
nummer 300
december 2013

Met dank aan:
- Zie aanbevolen literatuur, eerste titel.

ISSN 0168-3349