

CHEMIE

HETTY HELSMOORTEL

CHEMIE

**DE MEEST
VERRASSENDE
VERHALEN UIT
DE MOOISTE TAK
VAN DE WETENSCHAP**



**BORGERHOFF
& LAMBERIGTS**

INHOUD

DE MOOIESTE TAK VAN DE WETENSCHAP

11

EEN VALSE GUGGENHEIM

15

DE LANGHARIGE RUS

22

PROTONEN, NEUTRONEN EN ELEKTRONEN

27

MAGISCH EILAND

31

DOOD IN HET LABO

33

GEVEN EN NEMEN

41

CHEMIE

NEGEN ATOMEN IJZER	46
EXISTENTIËLE CRISIS	50
MOETEN WE DAT KENNEN VOOR HET EXAMEN?	55
BAKELIETEN BILJARTBALLEN	61
DIAMONDS AND PFAS ARE FOREVER	67
NA REGEN KOMT PETRICHOR	73
VUURWERK, FLUO EN NEON	76
LIJNEN IN DE ZON	81
HELIUM IS GOUD WAARD	84
MIJNBOUW IN DE STAD	88

INHOUD

DUWEN EN TREKKEN	93
COSMETISCH GIF	98
DRUUUUUGS!	100
BREAKING BAD	103
SOFTENON	108
NANOCAR	112
DE STEEN DER WIJZEN	115
ONTSTAAN VAN HET LEVEN	121
DE GROTE ZUURSTOFCRISIS	127
TRILLENDE GASSEN	130

CHEMIE

MARSMETHAAN
134

VIJANDEN EN BONDGENOTEN
138

ILYA PRIGOGINE
146

RADIUM GIRLS
150

'NOTHING IN LIFE IS TO BE FEARED, IT IS ONLY TO BE UNDERSTOOD'
153

KNALLENDE CHEMIE
156

DE OORLOGSMISDADIGER DIE DE WERELD REDDE VAN DE HONGERSNOOD
163

VAN WAPEN TOT WONDERMIDDEL
168

WIE IS DE MOL?
177

OLYMPISCHE MOLECULE
180

INHOUD

VAN POTLOOD TOT DIAMANT
182

HET OUDSTE SCHEIKUNDELABO TER WERELD
186

DE VERVUILENDSTE PERSOON OP AARDE
188

DE MAGIE VAN MAILLARD
194

CRISPR
197

KLEURENPRACHT
201

DE SMAAK VAN KERSTMIS
205

ALLES WAS CHEMIE
208

VAN WATERSTOF TOT ORGANESSON
210

DE MOOIESTE TAK VAN DE WETENSCHAP

De warme nazomer van 2003 liep op zijn laatste benen, en ik moest een keuze maken die de rest van mijn leven zou bepalen. Allee ja, dat is toch wat je denkt wanneer je op je zeventiende een studierichting kiest. Ik heb dan ook lang getwijfeld.

De hele zomervakantie zwiepte mijn goesting heen en weer tussen Germaanse talen en chemie. Het laatste duwtje in een van beide richtingen is geen rationele keuze geweest, maar een emotionele. Al besef je dat pas jaren later. Ik had in het middelbaar namelijk best een goeie klik met mijn leraar chemie. Worstelend met een puberbrein dat alle kanten op schoot, slaagde hij erin om orde en structuur aan te brengen. Op heel veel verschillende vlakken. Het was misschien wel de rust waar ik zo krampachtig naar op zoek was.

En dus zette ik eind september in een gigantisch Gents universiteitsgebouw een kruisje op een blad naast de woorden 'kandidatuur chemie'. Ik kreeg een studentenkaart en een nieuw leven. Ik ben erin gedoken, en er is een wereld voor mij opengegaan waarvan ik niet eens wist dat ze bestond.

Na twee jaar moest ik een keuze maken tussen drie mogelijke licentiaatsopleidingen: chemie, biochemie of biotechnologie. Ik herinner me nog een sessie op de eerste verdieping van gebouw S4 op de Sterre, waar professoren van elke opleiding de beste pitch van hun leven gaven om ons voor zich te winnen. Ik raakte meteen bevangen door de nieuwe mogelijkheden van

DNA, genetica en ziektes bestuderen op cellulair niveau. En dus koos ik voor biotechnologie. Het is daar en dan dat ik de chemie heb losgelaten.

Er volgde een grootste onderscheiding, een intermezzo aan de toneelschool in Brussel, een doctoraat rond kinderkanker en een postdoctoraat over ziektes opsporen in het bloed aan de hand van rondzwevende stukjes genetische informatie. Na afloop bleek ik meer te branden voor het vertellen van verhalen over wetenschap dan voor zelf onderzoek doen. En zo ben ik hier beland. Als wetenschapswatcher met een goedgevulde agenda.

Binnen de Nerdland-boekenreeks was al lang sprake van een boek over chemie. Alleen had ik daar eigenlijk nooit mezelf als auteur aan gekoppeld. Tot ik op een bepaald moment besloot de uitdaging aan te gaan. En wat ben ik daar blij om! Want er is mij tijdens het schrijven van dit boek iets totaal onverwachts overkomen: ik heb mijn liefde voor chemie herontdekt. Ik heb weer het enthousiasme, de verwondering, hoop en passie gevoeld voor het vak waar ik ooit verliefd op werd.

In wat volgt heb ik de mooiste verhalen uit de chemie proberen te verzamelen. Dit is geen handboek. Het is geen cursus waarin elke term uit de scheikunde met strikte definities uit de doeken wordt gedaan. Nee, het is een persoonlijke selectie van verhalen. Over echte mensen en zotte gebeurtenissen, aan de hand waarvan ik op een intuïtieve manier een aantal concepten uit de mooiste tak van de wetenschap wil uitleggen.

Het is mijn poging om de liefde die ik voel voor chemie aan jou door te geven. Ik hoop dat je ervan geniet.

CHEMISTRY OUGHT TO BE NOT
FOR CHEMISTS ALONE.

— MIGUEL DE UNAMUNO

EEN VALSE GUGGENHEIM

Nadat hij heel wat vrouwen en kinderen in reddingsloepen had geholpen, keerde een steenrijke Amerikaanse zakenman op 15 april 1912 terug naar zijn kajuit. Hij hing zijn zwemvest en natte trui aan de haak en trok zijn mooiste pak aan. Later die dag hoorde iemand hem in het gewoel nog zeggen: 'Ik heb me netjes uitgedost en ben bereid om als gentleman te sterven.' Een reddingsvest paste wellicht niet in dat plaatje. De miljonair kwam net als ruim 1500 anderen bij de scheepsramp met de Titanic om het leven. Zijn lichaam werd nooit teruggevonden.

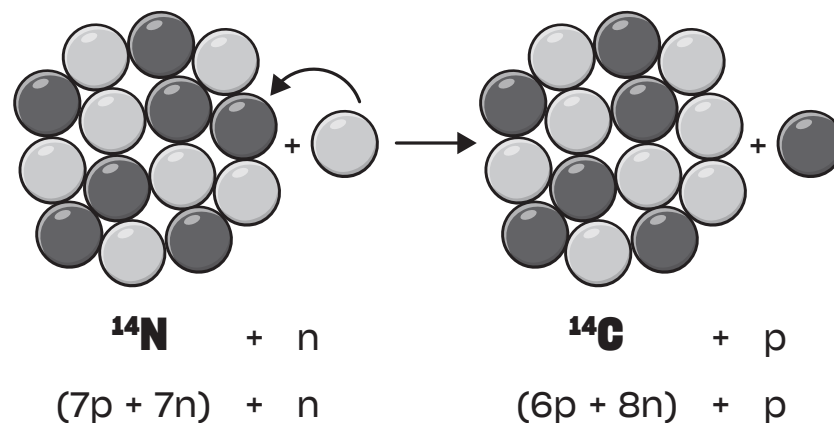
Zeven jaar later erft een van zijn dochters op haar 21ste verjaardag een deel van haar vaders fortuin. Zo werd Peggy Guggenheim op 26 augustus 1919 in één klap 2,5 miljoen dollar rijker. Ze gebruikte het geld om tijdens haar leven een enorme kunstverzameling aan te leggen, van Picasso over Miró tot Dalí. Eind jaren zestig voegde ze het schilderij *Constrast of Forms* van de Franse kubist Fernand Léger aan haar collectie toe. Kort nadien rezen echter voor het eerst vermoedens dat het kunstwerk weleens vals zou kunnen zijn. Alleen kon dat pas een paar jaar geleden onomstotelijk bewezen worden, met dank aan de kernproeven tijdens de Koude Oorlog en de bijzondere chemie van het element koolstof.

Om de ouderdom van voorwerpen te bepalen, wordt namelijk regelmatig gebruikgemaakt van **C14-datering of koolstofdatering**. Aan de hand van de hoeveelheid radioactief koolstof in een staal kan men immers een inschatting van de leeftijd van een object maken. Maar hoe werkt dit procedé precies? En hoe komt radioactief koolstof in schilderijen, in de ijsmummie Ötzi of in de Dode Zeerollen terecht?

Dat zit zo. De aarde is constant onderhevig aan kosmische straling uit de ruimte, die allerlei hoogenergetische deeltjes bevat. Wanneer die deeltjes met gigantische snelheden botsen op de atomen en moleculen in onze atmosfeer, kunnen er kernreacties ontstaan waarbij **neutronen** vrijkomen. Neutronen zijn subatomaire deeltjes zonder elektrische lading die normaal in het binnenste van atomen zitten. Maar nadat ze losgeslagen worden, is de kans groot dat neutronen op een van de vele stikstofatomen stoten in onze atmosfeer, die immers voor 78% uit stikstofgas bestaat. En dan gebeurt er iets bijzonders.

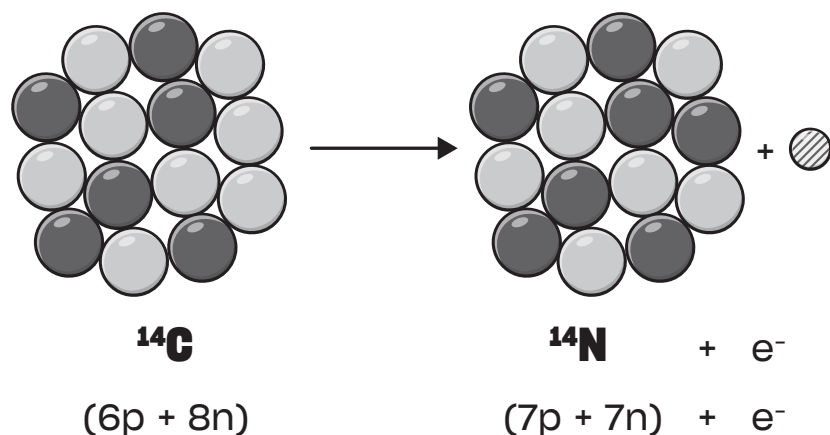
We duiken in dit eerste verhaal al meteen de atoomkern in, maar dat is niets om schrik van te hebben. Het enige wat je op dit moment moet weten, is dat atomen een kern hebben, waarin zowel positief geladen protonen als neutrale neutronen zitten. Stikstofatomen, bijvoorbeeld, hebben zeven protonen en zeven neutronen in hun kern.

Wanneer een losgeslagen neutron in de atmosfeer botst met een stikstofatoom, is het in staat om een proton weg te duwen uit de atoomkern en zelf die plaats in te nemen. Op de afbeelding hiernaast is dat duidelijk te zien. Dit resulteert in een atoomkern met één proton minder en één neutron meer, want ze hebben van plaats gewisseld. Met andere woorden: er zitten nu zes protonen en acht neutronen in de kern. Alleen is dit overgebleven atoom nu geen stikstofatoom meer, maar wel een koolstofatoom. Het is namelijk zo dat het **aantal protonen** in de kern bepaalt om welke atoomsoort het gaat: koolstofatomen hebben per definitie zes protonen in hun kern, stikstofatomen zeven. Waterstofatomen hebben één proton, zuurstofatomen acht enzovoort. Het **aantal neutronen** is daarentegen niet doorslaggevend voor de identiteit van een atoom. Zo bestaan er koolstofatomen met zes neutronen, met zeven neutronen en zelfs met acht neutronen. Dit zijn allemaal **isotopen** van koolstof: ze hebben hetzelfde aantal protonen, maar een verschillend aantal neutronen.

 ^{14}N ATOOM WORDT ^{14}C ATOOM

Een stikstofatoom wordt een radioactief koolstofatoom, door botsing met een neutron. De lichte bollen zijn neutronen, de donkere protonen.

Het atoom dat gevormd wordt in de atmosfeer is dus een koolstofatoom met in totaal 14 deeltjes in de kern: 6 protonen en 8 neutronen. Dit koolstof-14 of ^{14}C is echter een **instabiel** isotoop van het alomtegenwoordige en erg stabiele koolstof-12, dat 6 protonen en 6 neutronen bevat. De isotoop is bovendien **radioactief**. Een stof is radioactief als ze vervallende instabiele atoomkernen heeft die deeltjes uitzenden. En dat is hier exact het geval. Want om weer stabiel te worden, zet de koolstof-14-kern één neutron om in een proton plus een elektron, om vervolgens dat elektron uit te stoten. Elektronen zijn kleine negatief geladen deeltjes, ik kom er later uitgebreid op terug. Het resultaat? De stof zendt elektronenstraling uit, wat het geheel radioactief maakt. En er blijft na afloop een stabiel atoom over met 7 protonen en 7 neutronen: een stikstofatoom. De afbeelding op de volgende pagina illustreert dat proces.

^{14}C ATOOM WORDT ^{14}N ATOOM

Radioactief koolstof-14 vervalt tot het veel stabielere stikstof door een neutron om te zetten in een proton en een elektron.

Terug naar de bewoonde wereld dan. Want voordat de radioactieve koolstof weer vervalt tot stikstof, komt ze eerst in planten, dieren en mensen terecht. Radioactief koolstof-14 reageert in de atmosfeer immers onmiddellijk met zuurstof, waarbij radioactief koolstofdioxide (CO_2) ontstaat. Dat wordt opgenomen door planten via fotosynthese, die de koolstof-14 daarna inbouwen in hun biomassa. Hierdoor krijgen dieren die van die planten eten de isotoop ook binnen, en vervolgens de dieren die van die dieren leven enzovoort. Er wordt daarom aangenomen dat de verhouding tussen koolstof-14 en niet-radioactief koolstof in de atmosfeer gelijk is aan de verhouding in levende wezens. Die ratio is trouwens zeer laag: amper 0,0000000001% van alle koolstofatomen is koolstof-14.

De tijd die verstrijkt voordat in een bepaald staal de helft van al de radioactieve koolstof is vervallen tot niet-radioactief stikstof, bedraagt ongeveer 5700 jaar. Dat noemen we de **halfwaardetijd** van koolstof-14. Na nog eens 5700 jaar is ook de helft van de resterende helft vervallen, en blijft nog slechts een vierde van de oorspronkelijke hoeveelheid radioactiviteit over.

Na 57.000 jaar rest er nog amper een duizendste. Koolstofdatering werkt daarom in theorie enkel voor materiaal dat maximaal 60.000 jaar oud is. In de praktijk wordt de foutenmarge voor stalen tussen 40.000 en 60.000 jaar al te groot om werkbaar te zijn. In fossielen van dinosaurussen zit bijvoorbeeld helemaal geen meetbare hoeveelheid koolstof-14 meer.

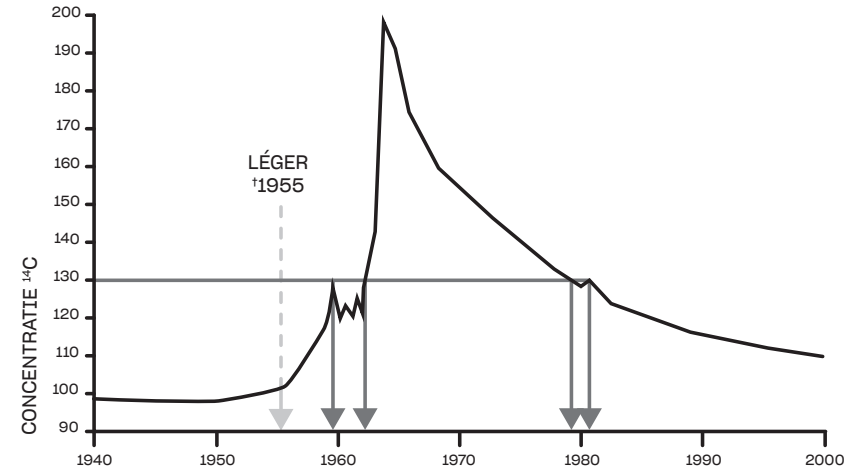
Omdat er onder invloed van kosmische stralen voortdurend koolstof-14 wordt bijgemaakt, is de totale hoeveelheid tijdens het leven van wezens vrij stabiel. Alles wat in de loop van het leven vervalt, wordt immers ook weer aangevuld. Na de dood wordt echter geen nieuw koolstof-14 meer toegevoegd, waardoor het enkel nog kan vervallen. Exact dat principe ligt aan de basis van koolstofdatering. Als men wil nagaan hoe oud organisch materiaal is, moet men gewoon meten hoeveel koolstof-14 er nog aanwezig is. Op basis van de halfwaardetijd kan men dan terugrekenen naar hoeveel radioactief koolstof er oorspronkelijk in het staal gezeten moet hebben, en kan men de **ouderdom van het voorwerp** bepalen. Bedenker Willard Libby kreeg er in 1960 de Nobelprijs voor de Scheikunde voor.

Voor dat terugrekenen bestaan heel wat tabellen. Want de hoeveelheid koolstof-14 in de atmosfeer – en dus ook in levende wezens op het moment dat ze stierven – was in de loop van de geschiedenis niet helemaal constant. Zo waren er de afgelopen 50.000 jaar regelmatig variaties in zonnewinden, die de intensiteit van de kosmische straling beïnvloedden die nodig is voor het omzetten van stikstof in koolstof-14 in de atmosfeer. Maar ook de mens heeft invloed. Door verbranding van **fossiele brandstoffen** komt bijvoorbeeld veel oude koolstof in de atmosfeer terecht, die amper koolstof-14 bevat. Omdat de tijd die nodig is om biologische materialen om te zetten in fossiele brandstoffen aanzienlijk langer is dan de tijd voor koolstof-14 om onder de detecteerbare niveaus te vervallen, bevatten fossiele brandstoffen bijna geen ^{14}C . Hun verbranding door menselijke activiteit verdunt dus de totale hoeveelheid radioactief koolstof. Precies om die variaties in atmosferisch koolstof-14 door de tijd heen op te vangen, zijn tabellen opgesteld voor kalibratie. Ze werken op basis van stalen die zowel met de C14-methode als met andere methoden konden gedateerd worden. Uit jaarringen van bomen kan je bijvoorbeeld vaak exacte jaartallen afleiden, die je als ijkpunt kan gebruiken.

Menselijke activiteit kan trouwens ook het omgekeerde effect hebben. De **Koude Oorlog** en haar bovengrondse kernproeven in de jaren vijftig en zestig deden de concentratie koolstof-14 zelfs tijdelijk verdubbelen! Bij die proeven kwamen zodanig veel neutronen vrij, die vervolgens in botsing kwamen met de stikstofatomen in de atmosfeer, dat plots veel meer radioactief koolstof werd gevormd dan normaal. Inmiddels hebben de atmosferische ^{14}C -niveaus bijna opnieuw de prenucleaire niveaus bereikt, maar van die kortstondige krachtige piek in koolstof-14 wordt de laatste jaren gretig gebruik gemaakt voor ouderdomsbepaling. De duidelijke en snel veranderende hoeveelheid radioactief koolstof in de afgelopen zestig jaar maakt datering zelfs **tot op één jaar nauwkeurig** mogelijk.

En dat kwam ook de collectie van Peggy Guggenheim ten goede. In 2014 wisten onderzoekers namelijk een **stukje schilderdoek** van het betwiste *Contrast of Forms* te bemachtigen. Dat doek was de sleutel tot succes, want het was gemaakt uit katoenvezels. Deze vezels worden uiteraard gewonnen uit planten, die meer radioactief koolstof inbouwen naarmate er meer koolstof-14 in de lucht zit. Een katoenplant die geoogst is na de kernproeven in de jaren vijftig en zestig, leidt dus tot een schilderdoek met veel meer koolstof-14 dan in de periode ervoor. Op de afbeelding hiernaast is de tijdelijke verhoging in atmosferisch ^{14}C midden jaren zestig goed te zien. Deze piek wordt ook wel de *bomb peak* of bompiek genoemd.

Door te bepalen hoeveel koolstof-14 er in het katoenen canvas van Fernand Léger zat en de resultaten naast de metingen sinds 1940 te leggen, konden onderzoekers exact bepalen wanneer de katoenplanten geoogst waren. De gemeten dosis koolstof-14 in de katoenvezels was op deze aardbol de voorbije eeuwen enkel mogelijk in de jaren 1959, 1962, 1979 of 1980. De laatste twee jaartallen konden de wetenschappers uitsluiten, aangezien het schilderij toen al toebehoorde aan Peggy Guggenheim. Het door de schilder gebruikte canvas werd dus met zekerheid vervaardigd uit planten geoogst in 1959 of 1962. Daarom kan het kunstwerk onmogelijk origineel zijn, want Léger stierf in 1955...



Bekijk hoeveel koolstof-14 zich in het canvas bevindt en zoek vervolgens in de bompiek het jaar dat bij de overeenstemmende hoeveelheid hoort.

De *bomb peak*-methode werd intussen ook al gebruikt om het ivoor van Afrikaanse olifanten te dateren. Uit een recente studie bleek dat heel wat slagtanden een pak later werden gestroopt dan 1989, het jaar dat de handel in olifanten en afgeleide producten volledig verboden werd. Dezelfde techniek is ook al ingezet om het oorspronkelijke productiejaar van Schotse whisky te bepalen, iets wat vaak van groot belang is voor kenners en verzamelaars. Zo werden onlangs allerlei whisky's onderzocht waarvan werd beweerd dat ze tot 150 jaar oud waren. Sommige bleken echt te zijn, maar andere waren overduidelijk veel recentere vervalsingen. Of waartoe een beetje kennis van chemie allemaal kan leiden. Schol!

DE LANG- HARIGE RUS

De scheikunde was in de tweede helft van de negentiende eeuw een beetje een rommelboel. De alchemisten hadden de dingen niet bepaald gestructureerd achtergelaten, zoals we later nog zullen zien. En dus was iedereen bijzonder blij met de komst van een in 1834 in West-Siberië geboren man met lang haar en een lange baard, die maar één keer per jaar naar de kapper ging. Hij slaagde er namelijk in om een tabel te construeren waarin alle op dat moment gekende elementen op een logische manier gerangschikt konden worden. Die tabel blijkt meer dan 150 jaar later nog steeds relevant en hangt daarom in elk scheikundelokaal. Inderdaad, de **tabel van Mendelejev!**

De oorspronkelijke tabel van Dmitri Mendelejev zag er toen nog niet uit zoals wij die vandaag kennen. Rond 1860 waren slechts een vijftigtal elementen bekend, en elk jaar werd ongeveer één nieuw element ontdekt. Maar het ordenen van die elementen zonder fundamentele kennis over hoe atomen zijn opgebouwd, was geen lachertje. Toch had de Brit John Newlands een paar jaar vóór Mendelejev iets opvallends gemerkt: als hij de gekende elementen rangschikte op basis van hun massa, leken ze om de acht plaatsen eigenschappen gemeen te hebben. Hij noemde dit ‘**de wet van de octaven**’, naar het klavier van een piano. De wereld bleek echter niet klaar te zijn voor zijn ideeën en hij werd er overal mee uitgelachen. Sommigen vroegen hem zelfs spottend of hij zijn elementen ook melodietjes kon laten spelen. Diverse onderzoekers probeerden in diezelfde periode om de elementen op andere manieren te ordenen. Zo had de Duitser Johann Wolfgang Döbereiner het idee opgevat dat elementen telkens **per drie** voorkwamen. Hij vond immers verwantschappen tussen lithium (Li), natrium (Na) en kalium (K). Of tussen calcium (Ca), strontium (Sr) en barium (Ba). Als we de moderne tabel van

Mendelejev bekijken, zien we dat die elementen allemaal netjes onder elkaar staan en dat die trio's dus niet zo absurd waren. Toen Mendelejev in 1869 opnieuw met een verdeling op basis van achtvouden kwam, werd er deze keer niet gelachen. Zoals vaak in de wetenschap was Mendelejev trouwens niet de enige die op het juiste spoor zat. Want naast Mendelejev en Newlands was ook de Duitser Julius Meyer met een soortgelijke indeling bezig. Gelijktijdige ontdekkingen zijn niet abnormaal in de wetenschap. Zelfs de evolutietheorie kreeg min of meer op hetzelfde moment vorm in het hoofd van zowel Charles Darwin als Alfred Russel Wallace. Simultane ideeën zijn vaak het gevolg van kennisuitwisseling tussen onderzoekers, waardoor meerdere mensen tegelijk aan de slag gaan met bestaande concepten en feiten.

De tabel van Mendelejev bevat zowel rijen als kolommen, zoals het een goede tabel betaamt. In de kolommen, ook wel groepen genoemd, bevinden zich allerlei elementen met gelijkaardige chemische eigenschappen onder elkaar. In de rijen (of periodes) lopen ze op via stijgend aantal protonen in de kern, al moest het proton toen nog ontdekt worden. Omdat de eigenschappen van elementen zich periodiek herhalen, namelijk in elke volgende rij, wordt de tabel soms ook het ‘periodiek systeem’ genoemd. Mendelejev werkte op basis van atoommassa, wat inderdaad verwant is (maar niet gelijk is) aan het aantal protonen in de kern van een atoom. Er wordt weleens gezegd dat hij zijn tabel gedroomd zou hebben. Een andere versie van het verhaal is dat hij zodanig verslaafd was aan het kaartspelletje patience, waarbij speelkaarten netjes van groot naar klein onder elkaar geordend moeten worden, dat hij op de trein hetzelfde probeerde met kaartjes waarop hij de namen van alle bekende elementen had geschreven.

In de tijd van Mendelejev kende men 63 elementen. Zijn allergrootste verdienste, een geniaal inzicht dat zijn tijdgenoten niet hadden, was dat hij zijn tabel heeft durven publiceren met een **aantal gaten** erin – zoals je kunt zien op de afbeelding uit 1871. Hij had als wetenschapper de moed om toe te geven dat simpelweg nog niet alles geweten was. Op basis van de lege plaatsen kon Mendelejev zelfs perfect voorspellen welke soort element met welke eigenschappen waar precies zou moeten terechtkomen zodra het ontdekt werd. En hij kreeg gelijk, want jaren later werden gallium (Ga), germanium