

Het Periodieke Systeem der Elementen

Het is 17 februari 1869 in een besneeuwd St. Petersburg. In een nogal rommelig bureau zit een ruig behaarde man achter zijn schrijftafel, peinzend door zijn baard wrijvend, over een zee van kaarten heen gebogen. Niemand weet op dit moment dat hij de uitverkorene is, die op het punt staat de hoeksteen van de moderne scheikunde te leggen – het Periodieke Systeem der Elementen. Maar wie is deze hypnotische figuur, en wat betekenen die chaotisch verspreide kaarten? Hoe lang zit hij daar al, en wat speelt er zich allemaal af in zijn hoofd? In dit artikel wordt de ontdekkingsgeschiedenis van het Periodieke Systeem op een chronologische en correcte wijze voorgesteld, zullen vragen worden opgehelderd en zal blijken hoe geniaal deze persoon, Dmitri Ivanovich Mendeleev genaamd, wel niet moet zijn geweest.

Inleiding

Die ochtend (volgens de toen nog geldende Juliaanse kalender), had Mendeleev twee brieven gekregen van A.I. Khodnev, de secretaris van de Vrijwillige Economische Coöperatie van Tver.^{1,2} Hierin stonden de laatste afspraken betreffende de inspectietocht langs de kaasmakerijen die Mendeleev diezelfde dag nog zou ondernemen. Hij zou onmiddellijk na het ontbijt de trein vanuit het Moskoustation van St. Petersburg nemen om pas na enkele dagen terug huiswaarts te keren.² Nog snel nam hij deze brieven door, maar Mendeleev's gedachten dwaalden steeds weer af naar zijn *Grondslagen der Chemie*. Hij worstelde immers nog steeds met de vraag omtrent welke groep elementen hij zou kiezen voor het vervolg van zijn boek.³

De Grondslagen der Chemie

Anderhalf jaar eerder, tijdens de oktobermaand van 1867, had A.A. Voskresenskii, professor scheikunde aan de universiteit van St. Petersburg, besloten om zijn beste leerling, Dmitri Ivanovich Mendeleev, uit te roepen tot professor. Hij voelde dat het tijd was om op pensioen te gaan en wist dat Mendeleev een goede opvolger zou worden in het doceren van het vak anorganische scheikunde.⁴ Maar Mendeleev, die deze kans met open armen had aangegrepen, was er al gauw achter gekomen dat dit vak uit niet veel meer bestond dan een soort van verwarrende opsomming van allerlei losstaande technische en wetenschappelijke feitelijkheden. De structuur was duidelijk zoek. En dus leek het Mendeleev geen slecht idee om op zoek te gaan naar een goed leerboek dat hij en zijn

wetenschapsstudenten zouden kunnen gebruiken. Na lang zoeken had hij twee Russische teksten gevonden die aan zijn eisen voldeden. Maar beiden handelden over de moderne *organische* scheikunde (in plaats van de *anorganische*). Voor de rest waren er enkel vertalingen van West-Europese teksten te vinden met het nadeel dat ze reeds fel verouderd waren. Zo ontbraken de nieuwe ideeën omtrent het atoombegrip, die het bepalen van meer nauwkeurige atoommassa's mogelijk maakten. Ook de nieuwe elementen, die Bunsen en Kirchhoff door spectroscopie hadden ontdekt, waren nog niet in de boeken opgenomen.⁴

Er zat voor Mendeleev dus niets anders op dan plaats te nemen achter zijn schrijftafel en van start te gaan met het schrijven van een eigen werk, dat hij de *Grondslagen der Chemie (Osnovy khimii)* zou titelen. Het boek, bestaande uit twee volumes, zou een overdonderend succes kennen en over de hele wereld worden vertaald.⁵

Het eerste deel van de Grondslagen werd gewijd aan de behandeling van vaak voorkomende verbindingen – water, lucht, koolstofverbindingen en keukenzout. Op deze manier werden de fysische en chemische eigenschappen van de zogenaamde *organogenen* (de elementen H, O, N, en C) reeds aangehaald.⁶ Hoofdstuk 11 werd gewijd aan de halogenen (Cl, Br, I, F) en besloot het eerste deel van zijn werk, dat eind 1868 klaar was om naar de drukker te worden gestuurd.⁶⁻⁸

Vermits halogenen gemakkelijk zouten vormen met de alkalimetalen handelden hoofdstuk 12 en 13, de eerste hoofdstukken van zijn tweede volume, over deze groep elementen.^{8,9} Aanbeland aan het einde

van deze hoofdstukken, en weer twee maanden verder, rees nu de vraag met welke elementen hij zou verdergaan.¹⁰ Het was met deze prangende vraag dat Mendeleev de 17^e februari 1869 aan de ontbijttafel zat, nog niet goed beseffende dat deze dag, vanuit historisch standpunt gezien, één van de meest belangrijke dagen uit de wetenschapsgeschiedenis zou worden. Tegen de avond zou hij immers zijn eerste versie van het Periodieke Systeem hebben neergeschreven en zou daarmee de hoeksteen van de moderne scheikunde zijn gelegd.

Het moet rond de vroege ochtenduren zijn geweest dat Mendeleev een plotse ingeving kreeg en in volle haast en enthousiasme, de brieven van Khodnev nog in zijn hand houdende, naar zijn studeerkamer is gesnel. Op de achterkant van één van de brieven schreef hij een lijstje neer van enkele elementen, geordend volgens toenemende atoommassa.^{1,2}

Het Systeem

In die tijd kenden de scheikundigen 64 elementen. Men vond ze per toeval en men wist ook niet hoeveel er nog te vinden waren.⁵ Mendeleev die zijn eerste volume reeds naar de drukker had gestuurd, had echter nog maar 8 van de 64 elementen besproken en was dus verplicht om de resterende 56 (!) elementen te behandelen in zijn tweede volume.⁴ Hij beseftte maar al te goed hoe enorm dit aantal was, en hoe moeilijk het zou worden om dit alles in één volume besproken te krijgen. Daarenboven moest hij ervoor zorgen dat de opeenvolgende behandeling van de elementen op een logische wijze zou gebeuren. Zo niet, dan zou hij hervallen in het opsommen van feiten zoals Voskresenskii destijds had gedaan. Ten tijde van Voskresenskii waren de meeste scheikundigen er immers nog steeds van overtuigd dat er helemaal geen verband bestond tussen de verschillende elementen. Ze waren van de mening dat men niet anders kon dan opsommend te werk te gaan in het bespreken van deze elementen. Gelukkig voelde Mendeleev, in tegenstelling tot zovele anderen, wel een drang naar het zoeken van een classificatiesysteem. “Mendeleev was een man die nergens wanorde en chaos kon verdragen.” zei Baïkov. “Hij was ervan overtuigd dat chaos niet te wijten was aan de natuur, maar net aan onze onvoldoende kennis van de natuur.”⁵

De enige vorm van classificeren die voorheen gehanteerd was geweest, bestond uit het groeperen van de elementen met gelijkaardige fysische en chemische eigenschappen in een hele resem kleine, zogenaamde ‘natuurlijke groepen’. Zo kreeg men bijvoorbeeld de groep van de alkalimetalen, waarin alle metalen terecht kwamen die hevig reageerden met water. Zoals Kedrov zei, “stond de overstelpende meerderheid van scheikundigen uit die tijd nog maar aan het eerste niveau van classificeren. Hierbij ging men de elementen indelen in natuurlijke groepen

(‘specifiek’) zonder deze met elkaar in verband te brengen tot één groot geheel. Het tweede niveau van classificeren bestond uit het blootleggen van de algemene wet die alle elementen met elkaar in verband bracht (‘algemeen’). Ze bestond, met andere woorden, uit het in verband brengen van de groepen waarin de elementen reeds waren ondergebracht.”^{3,10,11} Het is nu net deze stap (van het eerste naar het tweede niveau) die Mendeleev als eerste zou zetten.

“Het is in de vergelijking van sterk verschillende elementen dat, volgens mij, het verschil schuilt tussen mijn systeem en deze van mijn voorgangers.” zo wist Mendeleev te vertellen. “Op enkele uitzonderingen na, heb ik dezelfde groepen van analoge elementen overgenomen (specifiek, niveau 1), maar ik heb me voorgenomen om het verband tussen deze groepen te bestuderen (algemeen, niveau 2).”⁵ De vraag die onmiddellijk bij hem opkwam, was natuurlijk hoe hij dit kon doen. Op welke manier kon hij de natuurlijke groepen in relatie brengen met elkaar? Steunen op de chemische en fysische eigenschappen van de elementen was al geen optie. Immers, *binnen* een groep waren de eigenschappen van de elementen wel gelijkaardig, maar *tussen* de groepen verschilden de chemische eigenschappen te sterk om er enig verband in te zien. Het ging soms zelfs zo ver dat één en hetzelfde element ‘enorme variaties in eigenschappen kon vertonen, afhankelijk van de staat waarin het op dat moment verkeerde’ zei Mendeleev.⁵ “Het is in dit opzicht voldoende te verwijzen naar het gedrag van grafiet versus diamant (twee verschillende vormen van koolstof), of normale fosfor versus rode fosfor. (...) Eigenschappen zoals de optische eigenschappen, en zelfs de elektrische of magnetische (stuk voor stuk chemische en fysische eigenschappen), konden dus duidelijk niet dienen als de basis voor het systeem.”⁵

Hoe dan ook, van één punt was Mendeleev toch al zeker – hij moest op zoek gaan naar een *numerieke* eigenschap. Ter illustratie kan men zich het ordenen van lottoballen voorstellen. De scheikundigen voor Mendeleev zijn tijd, zouden gekeken hebben naar de chemische en fysische eigenschappen (grootte, vorm, of kleur), en zouden de ballen waarschijnlijk hebben geordend op basis van hun kleur. Hierdoor zou men dan verschillende (‘natuurlijke’) groepen van identiek gekleurde ballen hebben gekregen. Maar hoe zou men nu *alle* ballen met elkaar in verband kunnen brengen? Steunen op kleur, vorm of grootte zou hier geen optie zijn geweest. Het nummer dat elke bal draagt echter wel. Zo zou je alle ballen naast elkaar kunnen leggen, volgens toenemende waarde. Dit is waar Mendeleev naar op zoek was – een numerieke waarde die van element tot element zou verschillen, maar die, onafhankelijk van de toestand van het element (of het nu grafiet of diamant was), toch constant zou blijven. Volgens Mendeleev was er ‘in dit opzicht maar één numerieke waarde gekend, en dit was de atoommassa van het element.’ Het was omwille van deze reden dat hij geprobeerd heeft om het systeem te baseren op de grootte van de atoommassa’s van de elementen.^{4,5,12}

Want ‘elk systeem dat gebaseerd is op nauwkeurig bepaalde waarden’, ging Mendeleev verder, ‘verdient de voorkeur te krijgen boven andere systemen die deze numerieke basis niet hebben, omdat er op die manier maar weinig ruimte overblijft voor willekeur’.⁵

Het moet dit nieuwe inzicht zijn geweest dat tot Mendeleev is gekomen toen hij de elementen volgens toenemende atoommassa’s neerpente op de achterkant van Khodnev’s brief. (Fig. 1)

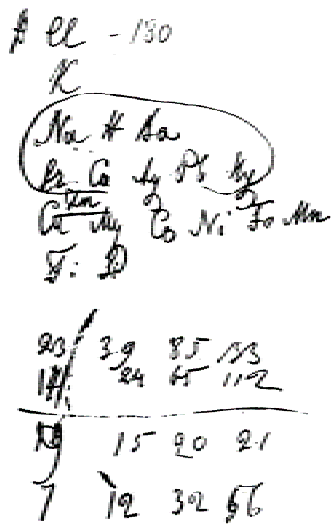


Fig 1 – Achterkant van de brief, gestuurd door A.I. Khodnev op 17 februari 1869.¹³

Bij het vergelijken van de elementen stootte hij echter al gauw op enkele problemen. Enerzijds waren er teveel elementen en dus teveel atoommassa’s om deze één voor één met elkaar te vergelijken in de hoop op enige systematiek te stoten. En anderzijds waren ook nog niet alle elementen ontdekt waardoor het soms moeilijk was om lokale patronen te zien. Mendeleev besloot zich daarom op de meest bekende groepen van elementen te concentreren om deze dan vervolgens met elkaar te vergelijken (en ze in verband te brengen met elkaar, hetgeen hem al gauw zou onderscheiden van de andere scheikundigen uit zijn tijd, zoals we eerder al hadden gezien – algemeen versus specifiek). Door het kleinere aantal mogelijke vergelijkingen werd het werk drastisch verlicht en dit zou al gauw leiden tot een eerste grote doorbraak.¹⁴

Gewapend met pluim en inkt, nam Mendeleev een tweede stuk papier waarop twee onvolledige pogingen zouden terechtkomen. (Fig. 2)¹ Eerst werden de elementen die behoorden tot de alkalimetalen onder de loep genomen. Vermits hij een sterk vermoeden had dat de sleutel tot het Periodieke Systeem bestond uit het gebruik maken van atoommassa’s, schreef hij de alkalimetalen neer volgens toenemende atoommassa. Hieronder kwam dan, eveneens volgens toenemende atoommassa, de reeks elementen van de klasse der halogenen.^{4,5}

<i>Li</i>	<i>Na</i>	<i>K</i>	<i>Rb</i>	<i>Cs</i>
7	23	39	85,4	133
	<i>F</i>	<i>Cl</i>	<i>Br</i>	<i>I</i>
	19	35,5	80	127

Mendeleev kon zijn ogen niet geloven. Door de alkalimetalen en halogenen op bovenstaande manier neer te schrijven, was het hem immers meteen opgevallen dat de atoommassa’s van twee boven elkaar liggende elementen zeer dicht bij elkaar lagen. De atoommassa’s van de elementen die vanuit een chemisch standpunt zo verschillend waren (Na-F, K-Cl, Rb-Br, en Cs-I – alkalimetaal versus halogeen), bleken dus maar in enkele eenheden te verschillen.

Na deze vaststelling zou het niet zo moeilijk meer mogen zijn om alle andere elementen toe te voegen aan deze embryonale vorm van wat in de toekomst het Periodieke Systeem zou worden.¹⁵ Zo konden de resterende ‘natuurlijke’ groepen boven (aardalkalimetalen) en onder (zuurstof- en stikstofgroep)² de reeds aanwezige rijen geplaatst worden.

	<i>Mg</i>	<i>Ca</i>	<i>Sr</i>	<i>Ba</i>
	24	40	87,6	137
<i>Li</i>	<i>Na</i>	<i>K</i>	<i>Rb</i>	<i>Cs</i>
7	23	39	85,4	133
	<i>F</i>	<i>Cl</i>	<i>Br</i>	<i>I</i>
	19	35,5	80	127
	<i>O</i>	<i>S</i>	<i>Se</i>	<i>Te</i>
	16	32	79,4	128
	<i>N</i>	<i>P</i>	<i>As</i>	<i>Sb</i>
	14	31	75	122

Het was trouwens in het analyseren van deze tot stand gebrachte classificatie der elementen dat Mendeleev de *periodieke wet* ontdekte. Toen hij de elementen van links onder naar rechtsboven begon af te lezen merkte hij namelijk het volgende op – de eerste kolom (afgelezen van onder naar boven) gaf een reeks van elementen volgens toenemende atoommassa (N – O – F – Na – Mg), maar die stuk voor stuk sterk verschillend waren van elkaar (behoorden tot andere ‘natuurlijke’ groepen). Aangekomen aan het eind van de eerste kolom, sprong hij naar de tweede kolom waar hij een analoge reeks elementen verkreeg (P – S – Cl – K – Ca), opnieuw volgens toenemende massa, maar elk behorende tot een andere ‘natuurlijke’ groep. Het straffe hieraan was dat “met de toename van de atoommassa’s, de elementen eerst nieuwe, variërende chemische en fysische eigenschappen hadden, die in een nieuwe periode, in een volgende kolom en in een nieuwe reeks van elementen, herhaald werden *in dezelfde orde als deze van de vorige serie*”⁵ Volgens Mendeleev was “het omwille van deze reden dat de periodieke wet op de volgende manier kon worden geformuleerd: *de eigenschappen van de elementen zijn in een periodieke afhankelijkheid van hun atoommassa’s.*”⁵

Bezoek

“Hoewel de initieel geselecteerde methode voor de bouw van de tabel der elementen aanvankelijk succesvol was, bleek het successief plaatsen van de elementen ontoepasbaar voor de hele set.” zei Kedrov.^{3,10} “Terwijl Mendeleev zich op de gekende elementen concentreerde (behorende tot de ‘natuurlijke’ groepen), namen ze allemaal, **op enkele uitzonderingen na**, hun plaats in in de tabel.” Eén van de uitzonderingen was bijvoorbeeld het koppel jood (I – 127) - telluur (Te – 128). Normaal gezien zou je in de reeks Sb – Te – I – Cs – Ba verwachten dat de atoommassa’s geleidelijk aan zouden toenemen. Toch merk je dat de atoommassa van telluur groter is dan deze van jood (in plaats van kleiner).¹ Maar deze uitzonderingen ‘waren klein in aantal en verduisterden het volledige beeld van de classificatie der elementen niet.’^{3,10} Zelfs met de uitzonderingen had Mendeleev de **periodieke wet** kunnen afleiden en wist hij hoe de andere elementen moesten worden toegevoegd aan zijn tabel.

“Maar wanneer Mendeleev probeerde om de weinig bestudeerde elementen in de tabel op te nemen, werd het aantal noodzakelijke verbeteringen, verplaatsingen en deleties zo groot dat het begon te interfereren met de vooruitgang van de ontdekking.”^{3,10} Je moet weten dat er op deze minder gekende elementen nog maar weinig onderzoek was verricht. Mendeleev wist dus niet veel over deze elementen. Veel van de informatie waarover hij beschikte bleek zelfs fout te zijn en Mendeleev heeft herhaaldelijke keren atoommassa’s moeten verbeteren. Dit alles maakte dat hij steeds meer verbeteringen begon aan te brengen in zijn tabel tot die op den duur zo onoverzichtelijk was geworden dat hij verplicht was om opnieuw te beginnen.

“Het steeds opnieuw herschrijven van de tabel was echter onmogelijk. Dit zou zo veel tijd hebben ingenomen dat de vervollediging van het hele werk in **één enkele dag** onmogelijk kan hebben plaats gegrepen (aangezien hij nog steeds zou vertrekken naar de kaasmakerijen). (...) Deze omstandigheid limiteerde dus de tijd die hij kon vrijmaken voor het oplossen van het probleem (...). Mendeleev volbracht, met andere woorden, de ontdekking van de periodieke wet onder omstandigheden van uiterst strenge **Zeitnot** (tijdsdruk) (...). De algemene psychologische toestand van Mendeleev op de dag van de ontdekking kan vergeleken worden met de toestand van een

¹ Aanvankelijk had Mendeleev deze twee elementen in omgekeerde volgorde geplaatst, ter behoud van de algemene stijging der atoommassa’s. Hierdoor kwam telluur echter in de groep der halogenen terecht, vlak na broom. Mendeleev wist hoe zeer de eigenschappen van telluur verschilden met deze van de halogenen en besefte al gauw dat het jood was die op die plaats behoorde. Door de twee elementen met elkaar van plaats te verwisselen kwam jood, een element met eigenschappen gelijkaardig aan deze van de andere halogenen, achter broom terecht, zoals het hoort.²⁰

schaakmeester, gegrepen in het prille begin van het spel door **Zeitnot**, maar ten koste van alles en ondanks de ongunstige omstandigheden, strevende naar de overwinning.”^{3,10}

Het moet rond deze periode zijn geweest dat A.A. Inostrantsev, een goede vriend des huizes, op bezoek kwam. Bij het binnenstappen in de studeerkamer trof hij Mendeleev aan in een sombere, gedepimeerde toestand.^{1,2} Volgens Inostrantsev “begon Mendeleev te spreken over (...) het Periodieke Systeem der Elementen. Maar op dit moment was de tabel nog steeds niet vervolledigd. ‘Het is allemaal gevormd in mijn hoofd,’ zei Mendeleev bitter, ‘maar ik kan het niet in tabelvorm uitdrukken.’ (...) Mendeleev zelf (...) schreef in zijn dagboek dat hij na een periode van enthousiasme in een plotse malaise, of zelfs diepe depressie, kon vallen. Hij had zelfs gemerkt dat hij soms op het punt stond in tranen uit te barsten.”^{3,10}

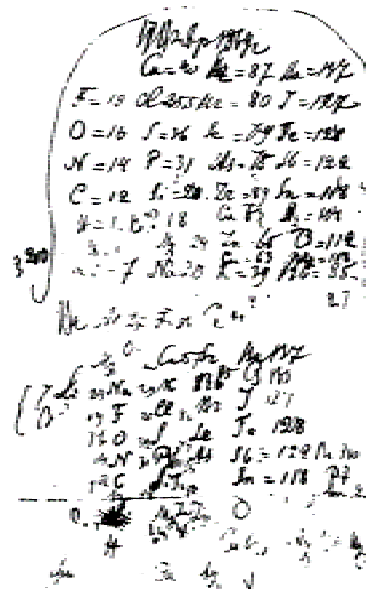


Fig 2 – Twee onvolledige versies van het toekomstige Periodieke Systeem der Elementen.¹³

Scheikundig Solitair

Men kan de alsmaar groter wordende frustratie en agitatie bijna voelen wanneer men kijkt naar het steeds toenemende gekrabbel van zijn handschrift. Volgens Kedrov vereiste ‘de **Zeitnot** (...) het vinden van een meer geschikte methode om snel tot de vervollediging te komen van’ zijn Periodieke Systeem der Elementen.^{3,10} En toen, als een donderslag bij heldere hemel, werd Mendeleev getroffen door een lumineus idee. Hij trok zijn bureaulade in alle hevigheid open, nam er een pak blanco kaarten uit en begon ze gehaast vol te schrijven. Op elke kaart kwam een ander element, samen met zijn belangrijkste fysische en chemische eigenschappen. Even later zat Mendeleev over een warboel gebogen van maar liefst 64 verschillende kaarten.^{1,2} “Wat men

ook zoekt,” zei Mendeleev, “al zijn het paddenstoelen, of een afhankelijkheid, dit kan maar gebeuren door te kijken en uit te proberen.”⁵ Aldus begon Mendeleev de kaarten op een tweedimensionale wijze te ordenen – één dimensie voor de ordening van de atoommassa’s, en een andere voor de analoge scheikundige eigenschappen.¹⁴

“Het idee om kaarten te gebruiken zou bij Mendeleev zijn opgekomen door zijn liefde voor het kaartspel *patience*” suggereert Kedrov.^{10,16} Op zijn lange treinreizen had Mendeleev de gewoonte zich bezig te houden met het spelletje *patience*.² Hiertoe draaide hij de grondig geschudde kaarten drie bij drie om en legde ze wanneer mogelijk neer op de daarvoor voorziene stapeltjes. Het resultaat was dat de kaarten in een afnemende reeks, van koning tot aas, en per kleur werden geordend, net zoals hij de elementen nu per groep en volgens afnemende atoommassa had geordend. “De analogie met de verdeling van de elementen blijkt bijna compleet te zijn,” gaat Kedrov verder, “op het moment dat hij de kaarten is gaan gebruiken, waren er reeds twee onvolledige tabellen van elementen neergeschreven op papier (Fig. 2), en hierin was reeds een duidelijke distributie van de elementen in twee dimensies zichtbaar : horizontaal, volgens hun algemene scheikundige eigenschappen of scheikundige gelijkenissen (wat overeenkomt met het ordenen van de speelkaarten volgens hun kleur), en verticaal, volgens de dicht bij elkaar liggende atoommassa’s (wat overeenkomt met het ordenen van de speelkaarten volgens hun waarde). Het overgaan van het neerschrijven van tabellen op papier naar de voorlopige verdeling van de elementen op kaarten zoals in *patience* vereiste nog maar één ding – het in verband brengen van de taak om de elementen in een tabel te ordenen met de taak van het spelen van *patience*.”^{10,16}

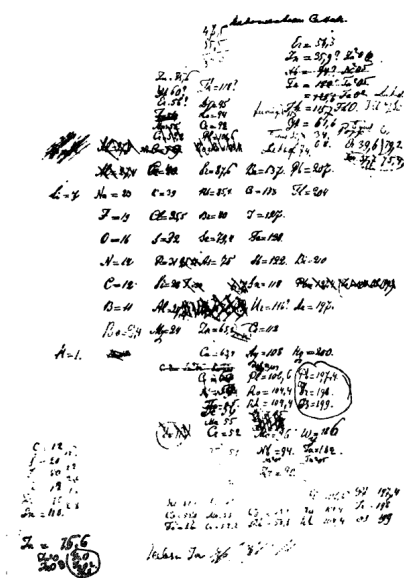


Fig. 3 – De eerste ruwe kladversie van het Periodieke Systeem der Elementen.¹⁵

Mendeleev had de paardenslee die hem naar het Moskoustation zou brengen al eenmaal teruggestuurd en gevraagd tegen de middag terug te komen, maar de gewonnen uren waren al gauw verstreken. Niet veel later stond de slede weer voor de deur en moest Mendeleev een beslissing nemen.² Maar hij stond aan de voet van een veel te belangrijke ontsluiting om nu op te geven. “Onzeker over vele dingen die nog niet duidelijk waren, heb ik echter geen enkel moment getwijfeld aan het algemene belang van mijn conclusie, aangezien het onmogelijk is om toe te geven dat het hier om een toeval gaat.” zei Mendeleev.⁵ ‘Zich, volgens bepaalde commentatoren, bewust van de klingelende bellen van de slede die langzaam verdween in de mistige, besneeuwde verte,’ zoals Strathern zo mooi verwoord heeft,² boog Mendeleev zich opnieuw over de voor zich uitgespreide kaartenzee en al gauw groeide deze chaos uit tot ‘het algemene beeld van het toekomstige systeem van de elementen in z’n volledigheid’.^{3,10}

De Droom

Mendeleev schreef deze combinatie van kaarten over op een nieuw blad papier (Fig. 3) en bracht nog vele numerieke correcties en doorhalingen aan. Bij het bestuderen van deze kladversie merkt men alsook de ordening van de elementen in kolommen, volgens afnemende atoommassa.¹ Volgens Inostrantsev was Mendeleev “gedurende drie dagen en drie nachten niet één keer gaan slapen, maar had hij doorgewerkt aan zijn schrijftafel en geprobeerd de resultaten van zijn mentale constructies in de tabel te krijgen (...). Uiteindelijk, lijdende aan een ongelooflijke vermoeidheid, ging Mendeleev liggen en viel onmiddellijk in een diepe slaap. Later vertelde hij verschillende keren aan Inostrantsev : ‘Ik zag in een droom een tabel waar alle elementen op hun vereiste plaatsen vielen. Toen ik wakker werd, schreef ik het onmiddellijk neer op een stuk papier – slechts op één plaats bleek er later een correctie nodig te zijn.’ (...) Inostrantsev wees ook op de mogelijkheid dat dit stukje papier nog bewaard was gebleven.”^{1,10,17}

Volgens Kedrov “bevestigde het vinden van het archiefmateriaal niet alleen deze vroegere gissing, maar liet dit ook toe om Inostrantsev’s verslag te testen op zijn nauwkeurigheid. De beschikbare data op deze materialen tonen aan dat de volledige ontdekking (...) volbracht is geweest in juist één dag – februari 17, 1869. Daarom blijkt het verslag van drie slapeloze nachten nogal zwaar overdreven. Maar welke tabel had Mendeleev in gedachte toen hij zei dat ‘de elementen op hun vereiste plaatsen vielen’? Het kunnen in geen geval de nota’s zijn geweest (...), aangezien er hierin numerieke correcties staan, terwijl volgens Inostrantsev, in de tabel van Mendeleev’s droom, ‘in maar één plaats later een correctie bleek nodig te zijn.’ Er is aan deze voorwaarde voldaan in

de mooie kopij van de nota's die naar de drukker was verstuurd. (Fig. 4) Hierop is later slechts één correctie aangebracht. Indien dit zo is, dan zal het vergelijken van beide tabellen – de nota's en de kopij, verzonden naar de drukker – toelaten om te beslissen wat de zin 'vallen op hun vereiste plaatsen' betekent. In de nota's zijn de elementen in verticale kolommen geordend, volgens *afnemende* atoommassa. (...) Maar deze ordening vertoont de continuïteit niet van de hele serie (...) De continuïteit zou behouden blijven tijdens het lezen van onderen naar boven, maar zoiets doet men niet." 10,17 De befaamde historicus, Kedrov, kaart hier duidelijk het probleem van de nota's aan. Indien men de hele reeks elementen in de tabel zou willen lezen volgens steeds toenemende atoommassa, dan zou men, zoals vroeger reeds aangehaald is geweest, moeten lezen van linksonder naar rechtsboven. In onze westerse wereld is het echter de gewoonte om van boven naar onder te lezen. "Mendeleev kon het feit dus niet negeren dat de vorm van zijn tabel de *periodieke wet* niet helemaal succesvol voorstelde in een wijze waarop ze in één blik kan worden opgevangen. De wet die zegt (zoals Mendeleev ze geformuleerd had in het schrijven van het artikel waar hij voor de eerste keer over zijn ontdekking sprak) dat 'de elementen, geordend volgens de grootte van hun atoommassa's, een duidelijke periodiciteit vertonen wat betreft hun eigenschappen'

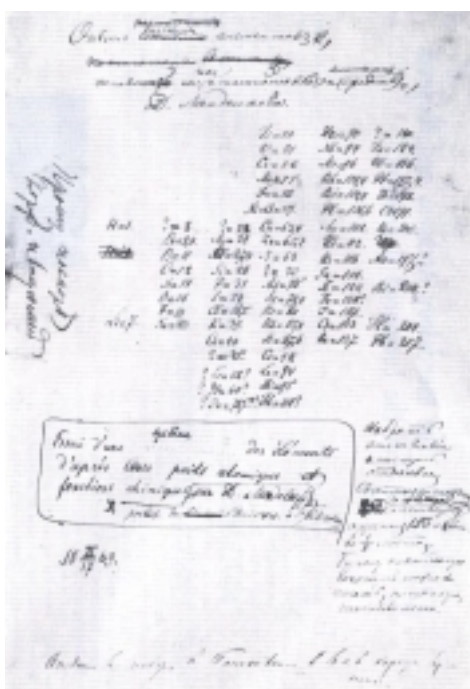


Fig 4 – Kopij van de allereerste versie van het *Periodieke Systeem der Elementen* dat naar de drukker werd gestuurd op 17 februari 1869. 19

We kunnen veronderstellen dat, nadat hij het spel van patience beëindigd had en de sterke drang tot rust voelde, Mendeleev de beslissing over de vorm van de voorstelling van zijn systeem uitstelde, en ging rusten met het idee om dit later te bedenken (...). In dit

geval zou hij gedroomd kunnen hebben van een tabel waarin 'de elementen op hun vereiste plaatsen vielen', dat is, in kolommen die benedenwaarts lezen volgens *toenemende* eerder dan afnemende atoommassa. Toen hij wakker werd, schreef hij hetgeen hij in de droom gezien had neer. Dit was de mooie kopij van de tabel die hij naar de drukker verzond." (Fig. 4) 10,17 In totaal zouden er van deze kopij zo'n 200 pamfletten (Fig. 5) verstuurd worden – 150 in het Russisch en 50 in het Frans – naar de meest befaamde scheikundigen uit die tijd. 18,19 Hiermee was de hoeksteen definitief gelegd. □

Thyssen Pieter

ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ.

ОСНОВАННОЙ НА ИХЪ АТОМНОМЪ ВѢСѢ И ХИМИЧЕСКОМЪ СХОДСТВѢ.

	Ti = 50	Zr = 90	? = 180.		
	V = 51	Nb = 94	Ta = 182.		
	Cr = 52	Mo = 96	W = 186.		
	Mn = 55	Rh = 104,4	Pt = 197,4.		
	Fe = 56	Ru = 104,4	Ir = 198.		
	Ni = 59	Pd = 106,6	O = 199.		
H = 1	Cu = 63,4	Ag = 108	Hg = 200.		
Be = 9,4	Mg = 24	Zn = 65,2	Cd = 112		
B = 11	Al = 27,1	? = 68	U = 116	Au = 197?	
C = 12	Si = 28	? = 70	Sn = 118		
N = 14	P = 31	As = 75	Sb = 122	Bi = 210?	
O = 16	S = 32	Se = 79,4	Te = 128?		
F = 19	Cl = 35,6	Br = 80	I = 127		
Li = 7	Na = 23	K = 39	Rb = 85,4	Cs = 133	Tl = 204.
		Ca = 40	Sr = 87,6	Ba = 137	Pb = 207.
		? = 45	Ce = 92		
		? Er = 56	La = 94		
		? Yt = 60	Di = 95		
		? In = 75,6	Th = 118?		

Д. Менделѣевъ

Fig 5 – Pamflet van het *Periodieke Systeem der Elementen*, verstuurd naar de meest befaamde scheikundigen uit die tijd.

Referenties

- Trimble RF. Mendeleev's discovery of the periodic law. J Chem Educ 1981;58:28.
- Strathern P. Mendelejev. In: Mendelejevs droom: de speurtocht naar de elementen. Amsterdam: Uitgeverij Contact; 2000. p. 289-313.
- Engeström Y. Learning by expanding: an activity-theoretical approach to developmental research. Helsinki: Orienta-Konsultit Oy; 1987. p. 213-21.
- Gordin MD. Elements of the system. In: A well-ordered thing: Dmitrii Mendeleev and the shadow of the periodic table. New York: Basic Books; 2004. p. 13-45.
- Pissarjevski O. La science russe et ses hommes: Dmitri Ivanovitch Mendeleev: sa vie et son oeuvre. Moscou: Editions en langues étrangères; 1955.
- Bensaude-Vincent B. Mendeleev's periodic system of chemical elements. Br J Hist Sci 1986;19:3-17.
- Masanori K. D.I. Mendeleev's concept of chemical elements and the principles of chemistry. Bull Hist Chem 2002;27(1):4-17.

8. Kedrov BM. Mendeleev, Dmitri Ivanovich. In: Gillispie CC, editor. Dictionary of scientific biography. New York: Scribner (published under the auspices of the American Council of Learned Societies); 1970-1990. p. 286-95 (vol 10).
9. Brock WH. Principles of Chemistry. In: Porter R. The Norton history of chemistry. New York (NY): W.W. Norton & Company; 1992. p. 311-54. (The Norton history of science).
10. Kedrov BM. On the question of the psychology of scientific creativity (On the occasion of the discovery by D. I. Mendeleev of the periodic law). *Sov Psychol* 1966-67;5:18-37.
11. Kedrov BM. Zur Theorie der wissenschaftlichen Entdeckung. In: Kröber G, Lorf M. (Hrg.) *Wissenschaftliches Schöpfungstum*. Berlin: Akademie-Verlag; 1972. p. 34-116.
12. Mendeleev DI. Sootnoshenie svoystv s atomnym vesom elementov. *ZhRFKho* 1869;1(2-3):60-77. reprinted in Mendeleev DI. *Periodicheski zakon*. Klassiki nauki, 16.
13. Cassebaum H, Kauffman GB. The periodic system of chemical elements: the search for its discoverer. *Isis* 1971;62:314-27.
14. Akin Ö. On the process of creativity in puzzles, inventions and design. *Autom Construct* 1998;7(2):123-138.
15. Kolodkine P. Découverte de la loi périodique. In: Ahrweiler J, editor. *Dmitri Mendéléïev et la loi périodique*. Parijs: Édition Pierre Seghers; 1963. p. 67-85. (Savants du monde entier)
16. Hoffmann M. Problems with Peirce's concept of abduction. *Found Sci* 2000;4(3):289-90.
17. Baylor GW. What do we really know about Mendeleev's dream of the periodic table? A note on dreams of scientific problem solving. *Dreaming* 2001;11(2):89-92.
18. Brooks NM. Developing the periodic law: Mendeleev's work during 1869-1871. *Found Sci* 2002;4(2): p. 127-47.
19. Krotikov VA. The Mendeleev archives and museum of the Leningrad university. *J Chem Educ* 1960;37(12):625-28.
20. Gribbin J. The development of the periodic table, by Mendeleev and others. In: *Science : A History 1543 – 2001*. Engeland: Penguin Books; 2002. p. 379
25. Mendeleev DI. On the history of the periodic law. In: Jensen WB. *Mendeleev on the periodic law; selected writings, 1869-1905*. Mineola: Dover Publications, inc.; 2002. p. 142-51.
26. Mendeleev DI. The periodic law of the chemical elements. In: Jensen WB. *Mendeleev on the periodic law; selected writings, 1869-1905*. Mineola: Dover Publications, inc.; 2002. p. 162-88.
27. Mendeleev DI. How I discovered the periodic system of elements. In: Jensen WB. *Mendeleev on the periodic law; selected writings, 1869-1905*. Mineola: Dover Publications, inc.; 2002. p. 192-226.
28. Mendeleev DI. The grouping of the elements and the periodic law. In: Jensen WB. *Mendeleev on the periodic law; selected writings, 1869-1905*. Mineola: Dover Publications, inc.; 2002. p. 253-314.
29. Mendeleev DI. The relation between the properties and atomic weight of the elements. In: Leicester HM, Klickstein HS. *A source book in chemistry, 1400 – 1900*. Cambridge: Harvard University Press; 1952. p. 439-442.
30. Mendeleev DI. *The principles of chemistry*. New York: P. F. Collier and Son; 1901. (A library of universal literature in four parts. Comprising science, biography, fiction and the great orations. Part one-science; Vol 25-28).

Werken over Dmitri Ivanovich Mendeleev

Bibliografie

Werken van Dmitri Ivanovich Mendeleev

21. Mendeleev DI. On the relation of the properties to the atomic weights of the elements. In: Jensen WB. *Mendeleev on the periodic law; selected writings, 1869-1905*. Mineola: Dover Publications, inc.; 2002. p. 16-7.
22. Mendeleev DI. On the correlation between the properties of the elements and their atomic weights. In: Jensen WB. *Mendeleev on the periodic law; selected writings, 1869-1905*. Mineola: Dover Publications, inc.; 2002. p. 18-37.
23. Mendeleev DI. On the periodic regularity of the chemical elements. In: Jensen WB. *Mendeleev on the periodic law; selected writings, 1869-1905*. Mineola: Dover Publications, inc.; 2002. p. 38-109.
24. Mendeleev DI. The periodic law of the chemical elements. In: Jensen WB. *Mendeleev on the periodic law; selected writings, 1869-1905*. Mineola: Dover Publications, inc.; 2002. p. 138-41.
31. Balchin J. *Quantumsprongen – 100 wetenschappers die de wereld hebben veranderd*. Tweede druk. Rijswijk: Uitgeverij Elmar b.v.; 2004.
32. Barnes E. On Mendeleev's prediction: comment on Scerri and Worrall. *Stud Hist Phil Sci* 2005;36:801-812.
33. Brush SG. The Reception of Mendeleev's Periodic Law in America and Britain. *Isis* 1996;87:595-628.
34. Emsley J. Mendeleev's dream table. *New Sci* 1985;7:32-8.
35. Kedrov BM. Le 1^{er} mars 1869: jour de la découverte de la loi périodique par D.I. Mendéléev. *Cahiers d'histoire mondiale* 1960;6:644-56.
36. Kemp M. Mendeleev's Matrix. *Nature* 1998;393:527.
37. Masanori K. Social Background of the Discovery and the Reception of the Periodic Law of the Elements. *Ann NY Acad Sci* 2003;988:302-306.
38. Niaz M, Rodríguez MA, Brito A. An appraisal of Mendeleev's contribution to the development of the periodic table. *Stud Hist Phil Sci* 2004;35:271–282.
39. Reichen CA. Histoire de la chimie. In: Nitsche E, editor. *Découverte de la science*. Zwitserland: Editions Rencontre and Erik Nitsche International; 1962.
40. Rouvray DH. Turning the tables on Mendeleev. *Chem Brit* 1994;12:36-9.
41. Sacks O. Everything in its place : one mans love affair with the periodic table. *New York Times Mag* 1999;18:126-30.
42. Scerri ER, Edwards J. Bibliography of secondary sources on the periodic system of the chemical elements. *Found Chem* 2001;3:183-96.
43. Scerri ER, Worrall J. Prediction and the Periodic Table. *Stud Hist Phil Sci* 2001;32:407-452.
44. Spronsen JW. *The periodic system of chemical elements; a history of the first hundred years*. Amsterdam: Elsevier Publishing Company; 1969.