

Mendelevin määräsi

# Alkuaineiden ma

Kalevi Rantanen

■ Venäläinen kemisti Dmitri Mendelejev julkaisi 150 vuotta sitten taulukon, josta tuli alkuaineiden luokittelun perustuslaki ja tieteellisen väittelyn ehtymätön lähde. Juhlavuonna lakia ollaan päivittämässä ja taulukkoa taivuttamassa uusiin käyttöihin.



# rssijärjestyksen

A hand holding a smartphone against a blue background with a white network overlay of nodes and lines. The text 'rssijärjestyksen' is written in large, bold, pink letters across the top.

Alkuaineet ovat ihmiskunnan kaikki kaikessa. Ilman niitä meillä ei olisi esimerkiksi älypuhelimia, joiden valmistuksessa tarvitaan kymmeniä alkuaineita. >>>

Pixabay

**K**aikki alkoi alkuaineista. Yksi ihmiskunnan suurista saavutuksista on sen selvittäminen, että aineellisia perusyksiköitä on noin sata.

Saavutus toi kuitenkin mukanaan uuden ongelman. Muutaman kymmenenkin aineen luettelo on epämukavan pitkä. Jo parisataa vuotta on siksi haettu parasta tapaa ryhmitellä alkuaineet.

Saksalainen kemisti **Johan Wolfgan Döbereiner** tunnisti vuonna 1829 atomipainojen perusteella kolmen alkuaineen ryhmiä, triadeja. Esimerkiksi strontiumin atomipaino on suunnilleen kalsiumin ja bariumin atomipainojen keskiarvo.

Saksan Karlsruhessa vuonna 1860 järjestetty maailmanlaajuinen konferenssi teki tunnetuksi italialaisen kemistin **Stanislaon Cannizzaron** menetelmän alkuaineiden atomipainojen määrittämiseksi. Näin mahdollistui aineiden taulukointi. Kun alkuaineet saatiin riviin atomipainojen mukaan, alettiin tehdä uusia löytöjä.

Venäläinen **Dmitri Mendelejev** (1834–1907) julkaisi kuuluisan alkuainetaulukonsa vuonna 1869. Hänen käsialastaan voi tunnistaa nykyisen taulukon, vaikka muoto oli vielä erilai-

## 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 = 197,1.		
	Fe = 56	Rn = 104,4	Ir = 198.		
	Ni = Co = 59	Pi = 106,8	O = 199.		
H = 1	Cu = 63,4	Ag = 108	Hg = 200.		
Be = 9,1	Mg = 24	Zn = 65,2	Cd = 112		
B = 11	Al = 27,1	? = 68	Ur = 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 = 35,5	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

Mendelejevin alkuperäinen taulukko vuodelta 1869. Nykyiset pystyrit olivat vaakarivejä ja vaakarivit pystyrivejä.

## IUPAC Periodic Table of the Elements

Key:																																			
1 <b>H</b> hydrogen 1.008 [1.0078, 1.0082]		2 <b>He</b> helium 4.0026																																	
3 <b>Li</b> lithium 6.94 [6.938, 6.997]		4 <b>Be</b> beryllium 9.0122																																	
11 <b>Na</b> sodium 22.990		12 <b>Mg</b> magnesium 24.305 [24.304, 24.307]																																	
19 <b>K</b> potassium 39.098		20 <b>Ca</b> calcium 40.078(4)		21 <b>Sc</b> scandium 44.956		22 <b>Ti</b> titanium 47.867		23 <b>V</b> vanadium 50.942		24 <b>Cr</b> chromium 51.996		25 <b>Mn</b> manganese 54.938		26 <b>Fe</b> iron 55.845(2)		27 <b>Co</b> cobalt 58.933		28 <b>Ni</b> nickel 58.693		29 <b>Cu</b> copper 63.546(3)		30 <b>Zn</b> zinc 65.38(2)		31 <b>Ga</b> gallium 69.723		32 <b>Ge</b> germanium 72.630(8)		33 <b>As</b> arsenic 74.922		34 <b>Se</b> selenium 78.971(8)		35 <b>Br</b> bromine 79.904 [79.901, 79.907]		36 <b>Kr</b> krypton 83.798(2)	
37 <b>Rb</b> rubidium 85.468		38 <b>Sr</b> strontium 87.62		39 <b>Y</b> yttrium 88.906		40 <b>Zr</b> zirconium 91.224(2)		41 <b>Nb</b> niobium 92.906		42 <b>Mo</b> molybdenum 95.95		43 <b>Tc</b> technetium 101.07(2)		44 <b>Ru</b> ruthenium 101.07(2)		45 <b>Rh</b> rhodium 102.91		46 <b>Pd</b> palladium 106.42		47 <b>Ag</b> silver 107.87		48 <b>Cd</b> cadmium 112.41		49 <b>In</b> indium 114.82		50 <b>Sn</b> tin 118.71		51 <b>Sb</b> antimony 121.76		52 <b>Te</b> tellurium 127.60(3)		53 <b>I</b> iodine 126.90		54 <b>Xe</b> xenon 131.29	
55 <b>Cs</b> caesium 132.91		56 <b>Ba</b> barium 137.33		57-71 lanthanoids		72 <b>Hf</b> hafnium 178.49(2)		73 <b>Ta</b> tantalum 180.95		74 <b>W</b> tungsten 183.84		75 <b>Re</b> rhenium 186.21		76 <b>Os</b> osmium 190.23(3)		77 <b>Ir</b> iridium 192.22		78 <b>Pt</b> platinum 195.08		79 <b>Au</b> gold 196.97		80 <b>Hg</b> mercury 200.59		81 <b>Tl</b> thallium 204.38 [204.38, 204.39]		82 <b>Pb</b> lead 207.2		83 <b>Bi</b> bismuth 208.98		84 <b>Po</b> polonium		85 <b>At</b> astatine		86 <b>Rn</b> radon	
87 <b>Fr</b> francium		88 <b>Ra</b> radium		89-103 actinoids		104 <b>Rf</b> rutherfordium		105 <b>Db</b> dubnium		106 <b>Sg</b> seaborgium		107 <b>Bh</b> bohrium		108 <b>Hs</b> hassium		109 <b>Mt</b> meitnerium		110 <b>Ds</b> darmstadtium		111 <b>Rg</b> roentgenium		112 <b>Cn</b> copernicium		113 <b>Nh</b> nihonium		114 <b>Fl</b> flerovium		115 <b>Mc</b> moscovium		116 <b>Lv</b> livermorium		117 <b>Ts</b> tennessine		118 <b>Og</b> oganesson	
57 <b>La</b> lanthanum 138.91		58 <b>Ce</b> cerium 140.12		59 <b>Pr</b> praseodymium 140.91		60 <b>Nd</b> neodymium 144.24		61 <b>Pm</b> promethium 150.36(2)		62 <b>Sm</b> samarium 151.96		63 <b>Eu</b> europium 157.25(3)		64 <b>Gd</b> gadolinium 158.93		65 <b>Tb</b> terbium 162.50		66 <b>Dy</b> dysprosium 164.93		67 <b>Ho</b> holmium 167.26		68 <b>Er</b> erbium 168.93		69 <b>Tm</b> thulium 173.05		70 <b>Yb</b> ytterbium 174.97		71 <b>Lu</b> lutetium							
89 <b>Ac</b> actinium		90 <b>Th</b> thorium 232.04		91 <b>Pa</b> protactinium 231.04		92 <b>U</b> uranium 238.03		93 <b>Np</b> neptunium		94 <b>Pu</b> plutonium		95 <b>Am</b> americium		96 <b>Cm</b> curium		97 <b>Bk</b> berkelium		98 <b>Cf</b> californium		99 <b>Es</b> einsteinium		100 <b>Fm</b> fermium		101 <b>Md</b> mendelevium		102 <b>No</b> nobelium		103 <b>Lr</b> lawrencium							

For notes and updates to this table, see [www.iupac.org](http://www.iupac.org). This version is dated 1 December 2018.  
Copyright © 2018 IUPAC, the International Union of Pure and Applied Chemistry.

**Yleisimmän käytössä oleva alkuainetaulukko on kansainvälisen kemianjärjestön Iupac:n versio.**

nen. Nykyiset pystyivät olivat Mendelejevilla vaakarivejä ja vaakarivit pystyivejä.

Döbereinerin triadikolmikko strontium, kalsium ja barium sijoittui sittemmin Mendelejevin taulukon toiseen sarakkeeseen.

Mendelejevin järjestelmää on kehitetty eri suuntiin, ja siitä on rakennettu useita versioita. Sarakkeet ja pystyivät ovat laajasti tunnetuissa taulukoissa suunnilleen samat, mutta yksityiskohdista on monenlaisia käsityksiä.

Kansainvälisen kemianjärjestön Iupac'n työryhmä pohtii parhaillaan, miten päivittää alkuainetaulukkoa. Riippumatta siitä, millaisiin suosituksiin ryhmä päättyy, keskustelu jatkuu varmasti niiden jälkeenkin.

Mitkä alkuaineet kuuluvat kolmanteen ryhmään? Mihin helium pitäisi laittaa? Montako saraketta taulukossa pitäisi olla?

## Mendelejevin valttina tyhjät paikat

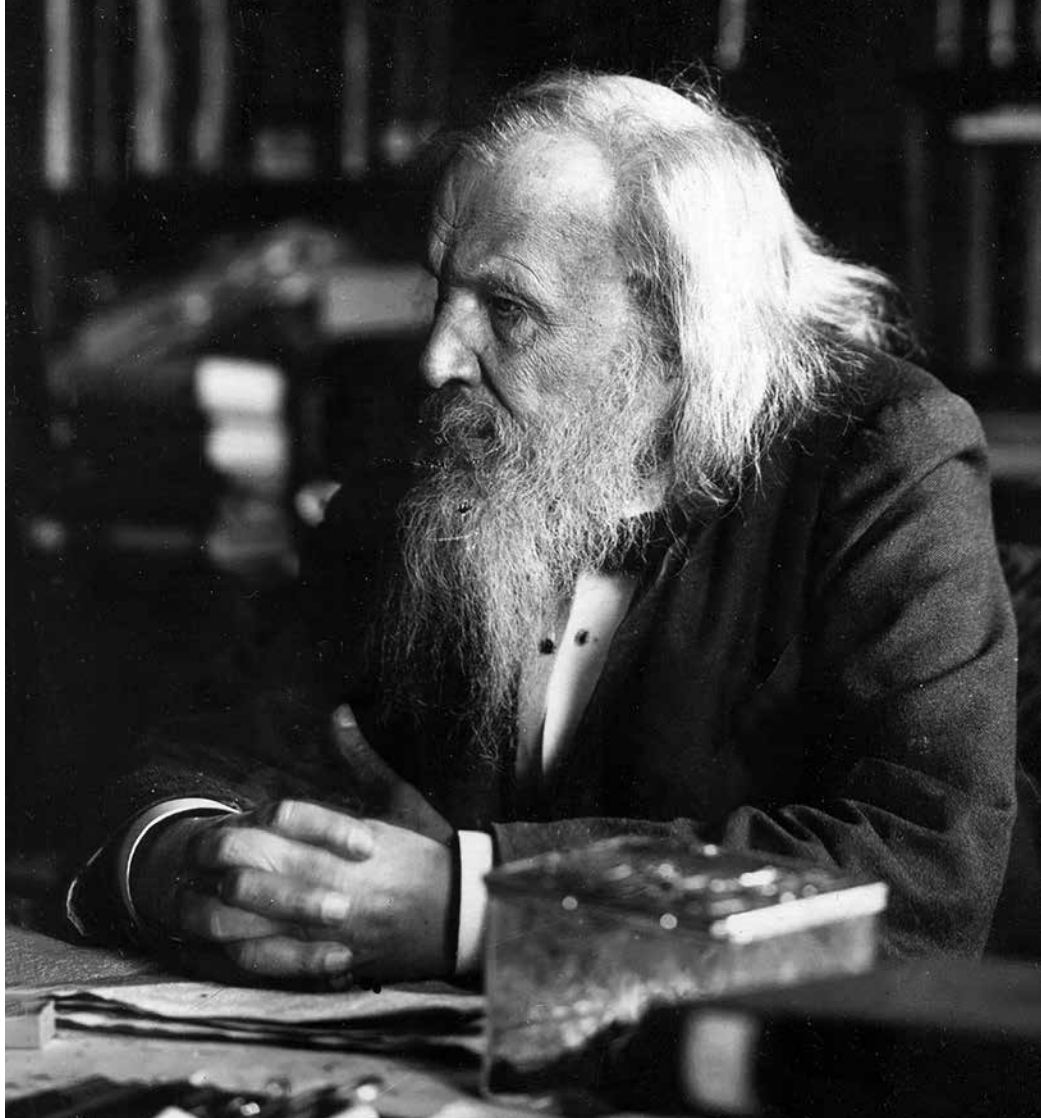
Dmitri Mendelejev sai etumatkaa omalle näkemykselleen jo julkaisuajankohdassa, mutta hänen taulukkonsa suurin valttikortti oli sen kolme tyhjää paikkaa. Ne venäläiskemisti jätti alkuaineille, joita ei vielä tunnettu, mutta joiden ominaisuudet taulukko ennusti.

Tyhjät paikat täyttyivät pian, kun löydettiin gallium vuonna 1875, skandium vuonna 1879 ja germanium vuonna 1886.

Painon mukainen järjestys auttoi jo paljon. Kemistit havaitsivat listassa jaksollisuutta. Litiumin jälkeen kahdeksas alkuaine on natrium. Mennään kahdeksan askelta eteenpäin. Vastaa tulee kalium.

Kaikki kolme ovat pehmeitä aineita, jotka reagoivat ärhäkästi veden kanssa. Ne ovat ensimmäisessä ryhmässä. Taulukossa ne ovat vasemmalla pystysarakkeessa päällekkäin. Jaksojen toisessa päässä ja taulukon oikealla laidalla on jalokaasuja, jotka reagoivat nihkeästi muiden aineiden kanssa.

Ensimmäisen taulukon jälkeen kemistit ja monet muutkin ovat käsitelleet Mendelejevin perintöä eri tavoin. Jotkut ovat rakentaneet hänen taulukonsa muunnoksia. Toiset ovat järjestäneet alkuaineita aivan eri tavalla. Yhdysvaltalainen kemianopettaja **Gary Katz** patentoi vuonna 1971 kolmiulotteisen taulukon, joka koos-



**Alkuaineiden jaksollisen järjestelmän isänä kunnioitetaan Pietarin yliopiston kemian professoria Dmitri Mendelejeviä, jonka taulukko näki päivänvalon tasan 150 vuotta sitten.**

tui sisäkkäisistä sylintereistä.

## ”Ainoa tärkeä kysymys on helium”

Muunlasiakin esityksiä riittää. Tieteenfilosofi **Eric Scerri** Los Angelesin yliopistosta on laskenut, että maailmassa on tehty yli tuhat ehdotusta alkuaineiden ryhmittelemiseksi.

Eric Scerri on itsekin laatinut oman alkuainetaulukonsa, joka on jälleen yksi uusi Mendelejevin taulukon muunnos.

Vuonna 2015 kuollut amerikkalaiskemisti **Henry Bent** totesi jo viime vuosisadalla, että erilaisista taulukoista kiistelemisen on tavallisesti ajanhukkaa. Ainoa tärkeä kysymys on hänen mielestään heliumin sijoittaminen.

Scerrin ehdotuksessa helium on yhdessä muiden inerttien kaasujen kanssa vasemmalla, toisessa ryhmässä neonin yläpuolella. Bentin mukaan oikea paikka on berylliumin yläpuolella.

Pittsburghin yliopiston fysikaali-

sen kemian professorina työskennellyt Bent esitti näkemykselleen useita perusteluja:

Ionisaatioenergia ja elektronegatiivisuus yhdistävät heliumin enemmän berylliumiin kuin neoniin, samoin triadisääntö, atomin rakenne, spektroskooppinen luokittelu sekä ryhmän ensimmäisen alkuaineen erityisyys.

## Mendelejev eteni kemia edellä

Alkuaineiden sijoittaminen taulukoon riippuu osin siitä, tehdäänkö valinta fysikaalisin vai kemiallisin perustein.

Dmitri Mendelejevin aikana fysikaalinen peruste oli atomipaino. Protonit ja elektronit olivat tuntemattomia, ja tutkijat kiistelivät jopa atomien olemassaolosta.

Aineiden kemiallisista ominaisuuksista oli sen sijaan kertynyt jo paljon tietoa. Näin venäläiskemisti päätyi kul-

» » »



kemaan kemia edellä.

Mendelejev sijoitti telluurin ennen jodia, vaikka järjestys olisi atomipainon mukaan ollut päinvastainen. Alkuaineen kyky muodostaa yhdisteitä muiden alkuaineiden kanssa ratkaisi.

Myöhemmin, kun protonit, elektronit, neutronit ja isotoopit löydettiin, saatiin selitys atomipainojen poikkeuksille. Samalla tarkennettiin tapaa numeroida alkuaineet. Jokaisen aineen järjestysnumero on nykyään sama kuin protonien lukumäärä atomin ytimessä.

## Hankala kolmas ryhmä

Elektronikuoren rakenne selvitettiin 1920-luvulla kvanttimekaniikan keinoin.

Elektronin todennäköistä rataa kuvattiin atomiorbitaalilla. Elektronit täyttivät orbitaalit tiettyjen sääntöjen mukaan. Täyttymisjärjestyksen mukaan alkuaineet ryhmiteltiin s-, d-, p- ja f-lohkoihin.

Ranskalainen insinööri, keksijä ja monien tieteiden harrastaja **Charles Janet** rakensi vuonna 1928 uuden taulukon, jossa on 32 pystyriviä. Lohkot ovat vasemmalta oikealle f, p, d ja s. Vety on oikealla ylhäällä heliumin vieressä.

Janetin taulukko jäi kuriositeetiksi, mutta kvanttimekaniikalla selitettiin aineiden ominaisuuksia Mendelejevin taulukossa.

Kaikkia ongelmakohtia uusi fysiikkakaan ei ole kyennyt selvittämään. Etenkin kolmannen ryhmän alkuaineiden valinnasta kiistellään yhä.

Matemaattinen kemisti **Guillermo Restrepo** Max Planck -instituutista on yhdessä työtoveriansa kanssa käynyt taulukon kimppuun laskennallisen kemian keinoin. Restrepon ryhmä analysoi noin 7 400 binääriyhdistettä eli molekyyliä, joissa on vain kaksi alkuainetta.

Alkuaineet A ja B he luokittelivat samankaltaisiksi, jos ne muodostivat binääriyhdistettä AC ja BC kolmannen alkuaineen C:n kanssa. Esimerkiksi kloori ja muut halogeenit kuuluvat samaan ryhmään, koska ne muodostavat yhdisteitä samankaltaisten alkuaineiden kanssa.

Tutkimus antoi valaistusta kolmannen ryhmän ja kuudennen rivin alkuaineen valintaan. Lantaani on lähempänä skandiumia ja yttriumia kuin lutetium.

## JAKSOLLISEN JÄRJESTELMÄN JUHLAVUOSI

YK on julistanut vuoden 2019 alkuaineiden jaksollisen järjestelmän kansainväliseksi vuodeksi (International Year of Periodic Table). Vuoden mittaan Mendelejevin taulukkoa juhlitaan maailmalla monin tavoin.

Suomalaisten Kemistien Seura järjesti 7. helmikuuta Jaksollinen järjestelmä -illan, jonka tallenne löytyy seuran 100-vuotista toimintaa juhlistavasta kemia100.fi-portaalista. Tilaisuudessa puhuivat professorit **Anu Hopia, Pekka Pyykkö, Anu Kankainen** ja **Timo Repo**.

LUE LISÄÄ JUHLAVUODESTA:

- [www.iypt2019.org](http://www.iypt2019.org)
- [www.euchems.eu/iypt2019](http://www.euchems.eu/iypt2019)
- [iupac.org/welcome-to-the-international-year-of-the-periodic-table](http://iupac.org/welcome-to-the-international-year-of-the-periodic-table)
- [www.acs.org](http://www.acs.org) > Students & Education > Explore Chemistry > Periodic Table of Elements

Sijoitetaan siis lantaani kuudennelle riville.

Sen sijaan jää epäselväksi, minkä pitäisi olla kolmannen ryhmän ja seitsemännän rivin alkuaine, aktinium vai lawrencium.

Skandiumilla ja yttriumilla on lantaanin kanssa kymmeniätuhansia samankaltaisia yhdisteitä. Aktiniumin kanssa niillä on "datapisteitä" vain 70 ja lawrenciumin kanssa alle 40. Valintaa aktiniumin ja lawrenciumin välillä on mahdollista tehdä näin pienellä datalla.

## "Taulukon valinta on ihmisoikeus"

Suomalainen kemisti, Helsingin yliopiston emeritusprofessori **Pekka Pyykkö** on samoilla linjoilla yhdysvaltalaisen kollegansa Henry Bentin kanssa. Pyykön mielestä alkuaineiden taulukoinnin oikeasta tavasta kiisteleminen on turhaa.

"Iupacilla ja Yhdysvaltain kemian

seuralla ACS:llä on täysi oikeus tehdä suosituksensa asiasta. Mutta olisi ihmisoikeuksien loukkaus pakottaa muut noudattamaan omaa suosikkijärjestelmää", hän ilmaisee.

Iupac ja ACS ovat pyrkineet rakentamaan tieteellistä konsensusta, toisinaan tulisten väittelyiden kautta.

"Kemistit ovat käyneet todellisia uskonsotia esimerkiksi siitä, mitkä alkuaineet kuuluvat kolmannen ryhmän kuudennelle ja seitsemännelle riville. Eli pitääkö sinne sijoittaa lantaani ja aktinium vai lutetium ja lawrencium", kertoo Pyykkö, jolla on oma ehdotuksensa.

"ACS ja kuninkaallinen kemianseura RSC haluavat lantanidien ja aktinidien lukumääräksi 14. Iupac on ainakin aikaisemmin kunnioittanut kemiallisia tosiseikkoja ja laskee 0–14", Pyykkö sanoo.

Pyykön mukaan kiista ratkeaa, jos nämä paikat jätetään tyhjiksi ja käytetään 15 paikan lantanidi- ja aktinidirivejä.

"Mahdollinen kauneusvirhe on ryhmään 3 jätettävä reikä. Lantanidit ja aktinidit voidaan tulkita sen täyttäväksi 'korkiksi'."

Heliumin Pyykkö haluaa pitää edelleen taulukon oikeassa laidassa.

"Helium on epäilemättä varsin jalo kaasu."

Kun mennään raskaisiin alkuaineisiin, on otettava käyttöön toinen modernin fysiikan järeistä työkaluista, suhteellisuusteoria. Raskaissa atomeissa elektronien vauhti kiihtyy niin, että myös suhteellisuusteoreettiset ilmiöt tulevat merkittäviksi.

Pekka Pyykkö on rakentanut jaksollista järjestelmää eteenpäin relativistisella kvanttimekaniikalla. Hänen taulukonsa ennakoivat elektronien orbitaaleja ja alkuaineiden ominaisuuksia aina numeroon 172 asti.

Pyykön vuonna 2011 julkaisema ehdotus elektronikonfiguraation ja jaksollisen järjestelmän väliselle yhteydelle alkuaineille 119–172 herätti suurta mielenkiintoa. Mallia on käsitelty viimeksi helmikuussa *Nature Chemistry* -lehdessä **Hiromitsu Haban** artikkelissa A new period in superheavy-element hunting.

Toistaiseksi raskain alkuaine, joka on

kyetty valmistamaan, on oganessium, jonka järjestysnumero on 118.

## Uutta sisältöä tuttuun taulukkoon

Relativistisella kvanttimekaniikalla voidaan ennakoida uusien alkuaineiden ominaisuuksia. Lisäksi sillä tuodaan uutta sisältöä tuttuun taulukkoon.

Miten selittää esimerkiksi kullan väri?

Pekka Pyykkö ja ranskalainen fyysikko **Jean-Paul Desclaux** osoittivat jo vuonna 1975, että relativistiset vaikutukset selittävät useimmat erot kullan ja hopean vety-yhdisteiden välillä.

Suhteellisuusteoria selittää myös värjä. Silmän aistima väri syntyy, kun aine imee ja heijastaa valoa.

Kulta-atomissa uloin elektroni kiittää nopeudella, joka on 58 prosenttia valon nopeudesta. Vauhti saa elektronin käyttäytymään ikään kuin sen massa olisi kasvanut. Energiatasojen etäisyydet atomissa muuttuvat.

Väri puolestaan riippuu fotonien kvanttiyhyyistä energiatasojen välillä. Siksi kulta-atomi imee useimmat värit ja heijastaa vain kullankeltaisen ulospäin.

Ilman suhteellisuusteoreettista vaikutusta kulta olisi hopean väristä. Hopea on oikeastaan ”epärelativistista kulta”. Molemmat aineet ovat samassa ryhmässä mutta eri jaksoissa. Kulta on huomattavasti hopeaa raskaampaa. Hopean atomimassa on 107 yksikköä, kullan 197.

Relativistisilla kvanttimekaanisilla laskelmilla pyritään ymmärtämään myös kultaklusterin toimintaa katalyyteinä. Bulkkikulta, jota näemme kultasormuksissa, on inerttiä, mutta nanokulta reagoi ärhäkästi.

Katalyysitutkimuksilla on paljon merkitystä esimerkiksi etsittäessä keinoja hävittää vahingollisia yhdisteitä.

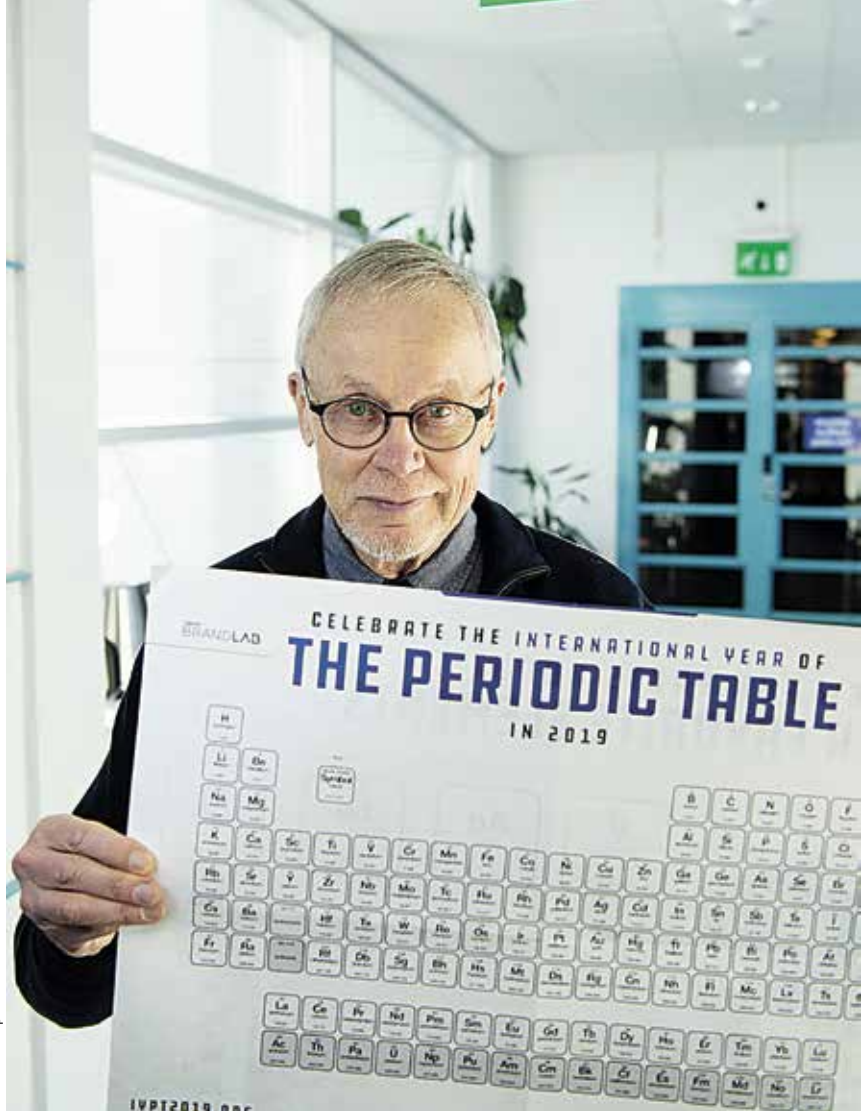
## Kuinka pitkälle voidaan jatkaa?

Näkyvin osa alkuainetaulukon liittyvästä tutkimuksesta on uusien alkuaineiden valmistaminen.

Dmitri Mendelejevin ensimmäisessä taulukossa oli yhteensä 60 alkuainetta. Nykyään tunnetaan jo 94 luonnollista ja 24 keinotekoisia alkuainetta.

Tutkijoiden keskuudessa esiintyy

>>>



Veikko Somerpuro

**Kulta on yksi emeritusprofessori Pekka Pyykön suosikkialkuaineista. ”Sillä on mielenkiintoinen elektronirakenne.”**

Period	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Orbital
1	1 H																	2 He	1s
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	2s2p
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar	3s3p
4	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	4s3d4p
5	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	5s4d5p
6	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	6s5d6p
7	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 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og	7s6d7p
8	119	120	121-	156	157	158	159	160	161	162	163	164	139	140	169	170	171	172	8s7d8p
9	165	166											167	168					9s9p
6	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				4f
7	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				5f
8	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155				6f
8	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	5g

Haba, H. Nature Chemistry 11, issue 2/2019.

**Pekka Pyykön ehdotus elektronikonfiguraation ja jaksollisen järjestelmän väliselle yhteydelle alkuaineille 119–172 julkaistiin alun perin vuonna 2011. Pyykön mallissa lantanidit ja aktanidit ovat 15 paikan riveissä.**

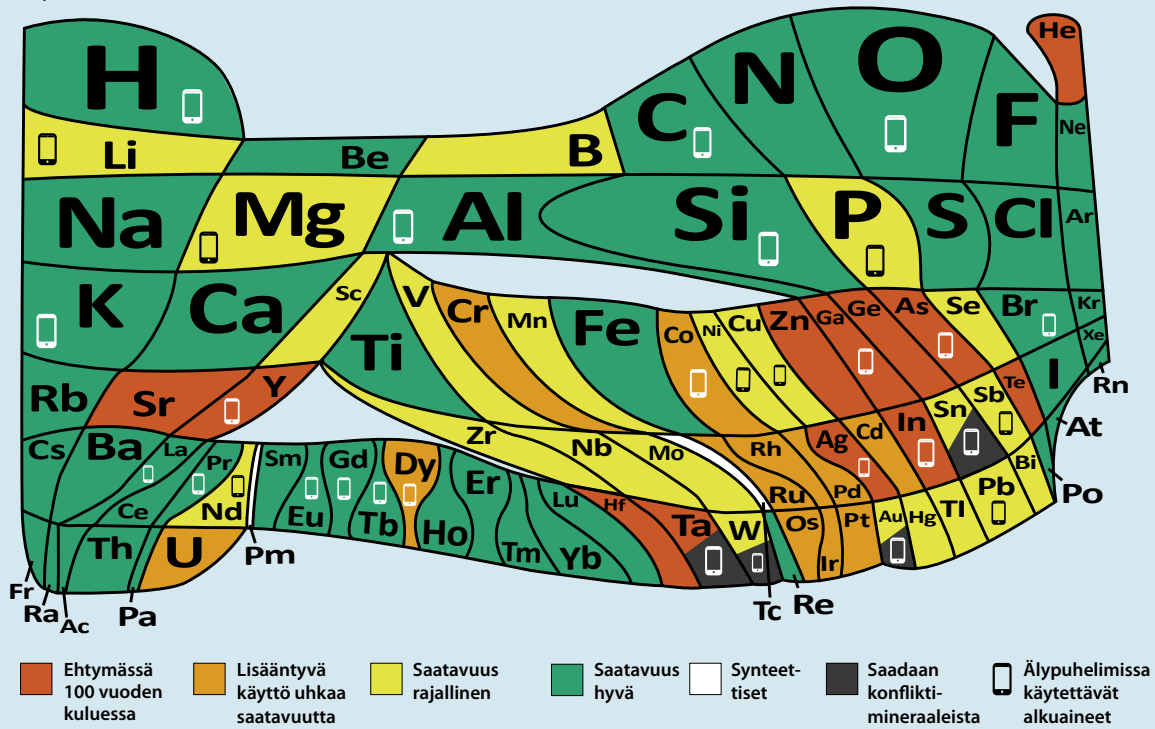


United Nations  
Educational, Scientific and  
Cultural Organization



International Year  
of the Periodic Table  
of Chemical Elements

## Kaikki koostuu 90:stä luonnon alkuaineesta. Paljonko niitä on saatavissa? Onko määrä riittävä?



Lue lisää ja pelaa videopeliä: <http://bit.ly/euchems-pt>



This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NoDerivs CC-BY-ND

**EuChemS**  
European Chemical Society

Alkuainetaulukko taipuu moneen. Euroopan kemianseurojen liiton Euchemsin tuore grafiikka havainnollistaa 90 alkuaineen yleisyyttä logaritmisella asteikolla. Punaisella merkityt ovat jo ehtymässä, oranssit uhanalaisia. Älypuhelimien tarvitaan kaikkiaan 31 alkuainetta.

»»»

erilaisia näkemyksiä yhä uusien alkuaineiden rakentamisen tarpeellisuudesta. Työstä ollaan kiinnostuneita etenkin Venäjällä. Kuuluisaan Dubnan tutkimuskeskukseen on hiljattain pystytetty uusi laitteisto, ”superraskaiden alkuaineiden tehdas”.

Viimeisimpänä syntynyt alkuaine 118, oganessium, nimettiin Dubnan tutkijan **Juri Oganessianin** kunniaksi. Tänä keväänä Dubnassa on tarkoitus aloittaa alkuaineiden 119 ja 120 valmistusyritykset.

Toinen tärkeä paikka raskaiden alkuaineiden tutkimuksessa on Lawrence Berkeleyn kansallinen laboratorio Kaliforniassa. Perinteistä huolimatta laboratorion raskaiden alkuaineiden ryhmän johtaja **Jacklyn Gates** suhtautuu uusiin suunnitelmiin epäileväisesti.

Gates pohtii *Science*-lehdessä, onko järkeä käyttää vuosia kiihdytinaikaa yhden atomin rakentamiseen. ”Mitä se kertoo?”, Gates kysyy.

Dubnan fyysikon **Aleksandr Karpovin** mukaan kertoo paljonkin. Ennusteita uusien alkuaineiden puoliintumisajoista ja muista ominaisuuksista voidaan testata valmistamalla niitä.

### Vieläkö kartalta löytyy uusia saaria?

Tietenkin tutkijoita houkuttelee myös vähäinen mutta vastustamattoman kiehtova mahdollisuus saada aikaan superraskas alkuaine, joka pysyy pitkään vakaana.

Pekka Pyykön taulukko ennakoi uusien alkuaineiden ominaisuuksia. Kuinka todennäköistä olisi tuottaa pysyviä superraskaita alkuaineita?

”Epätodennäköistä, mutta ei mahdollonta”, vastaa Pyykkö, joka puhui Suomalaisen Kemistien Seuran helmikuisessa Jaksollinen järjestelmä -illassa Helsingin yliopiston Tiedekulmassa.

Samassa tilaisuudessa puhunut Jy-

väskylän yliopiston ydinfyysikko **Anu Kankainen** täydentää vastausta kertomalla, että alkuaineen vakaus riippuu protonien ja neutronien yhteisvaikutuksesta.

Tutkijat ovat laskeneet niin sanottuja maagisia lukuja, joilla ydin mahdollisesti pysyy kasassa. Horisonttiin voi siten ilmestyä jälleen vakaita alkuaineita.

Kemistit ja fyysikot ovat kuin tutkimusmatkailijoita valtamerellä. He haluavat ehdottomasti varmistaa, puutuuko kartalta vielä saaria.

Haaveet uusista alkuaineista ja vakauden saaresta voivat toteutua tai olla toteutumatta. Selvää sen sijaan on, että jaksollinen järjestelmä säilyy tieteentekijöiden työkalupakissa. Taulukko on kuin kertotaulu: ei vielä yksinään riittävä, mutta ehdottoman välttämätön. □

Kirjoittaja on vapaa tiedetoimittaja.  
kalevi.rantanen@kolumbus.fi