

**ALKUAINEIDEN JAKSOLLINEN JÄRJESTELMÄ
OPPIMISEN TUKENA KEMIAN PERUSOPETUKSESSA**

Helsingin yliopisto

Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta

Kemian laitos

Kemian opettajankoulutusyksikkö

Pro gradu-tutkielma

Maiju Tuomisto

20.04. 2005

Ohjaajat: Maija Aksela ja Heikki Saarinen

HELSINGIN YLIOPISTO - HELSINGFORS UNIVERSITET

Tiedekunta/Osasto - Fakultet/Sektion - Faculty Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta		Laitos - Institution - Department Kemian laitos
Tekijä - Författare – Author Maiju Tuomisto		
Työn nimi - Arbetets titel - Title Alkuaineiden jaksollinen järjestelmä oppimisen tukena kemian perusopetuksessa		
Oppiaine – Läroämne - Subject Kemian opettajan suuntautumisvaihtoehto		
Työn laji - Arbetets art - Level Pro gradu - tutkielma	Aika – Datum - Month and year 20.04.2005	Sivumäärä – Sidoantal - Number of pages 95
Tiivistelmä - Referat – Abstract Alkuaineiden jaksollinen järjestelmä on tiivis taulukko, johon on pakattu pieneen tilaan paljon alkuaineita ja niiden välisiä reaktioita koskevaa tietoa. Alkuaineiden jaksollisen järjestelmän käyttötaito on tärkeää jo perusopetuksessa. Kemian perusopetuksen yhdeksi keskeiseksi tavoitteeksi on määritelty alkuaineiden ja yhdisteiden ominaisuuksien ja rakenteiden selittäminen atomimallin tai jaksollisen järjestelmän avulla. Kemian opettajan on ymmärrettävä käyttämänsä alkuaineiden jaksollisen järjestelmän mallin historiallinen tausta. Tämän pro gradu-tutkielman tavoitteena oli perehtyä alkuaineiden jaksolliseen järjestelmään sekä tieteellisenä mallina että kemian perusopetuksen opetusmallina. Lisäksi haluttiin selvittää, mitkä asiat jaksollisen järjestelmän rakenteessa jäävät oppilaille epäselviksi ja siten estävät jaksollisen järjestelmän käyttöä kemian oppimisen tukena. Teoriataustan ja oppilastutkimuksen tulosten perusteella kehitettiin jaksollisen järjestelmän opetukseen yksi uusi opetusmenetelmä: alkuainesuunnistus. Tutkielman teoriatausta sisältää alkuaineiden jaksollisen järjestelmän historian antiikin alkuainekäsityksestä Mendelejevin jaksollisen järjestelmän edeltäjiin, sekä Mendelejevin järjestelmän kehittymisen nykymuotoonsa. Nykyinen jaksollinen järjestelmä esitellään tarkemmin ja jaksollisen järjestelmän tulevaisuutta tarkastellaan lyhyesti. Teoriataustassa syvennytään myös malli-käsitteeseen, sekä erityisesti opetusmalleihin ja hyvän opetusmallin kriteereihin. Lisäksi selvitetään jaksollisen järjestelmän opetusmallikäyttöön liittyviä olennaisia asioita sekä kartoitetaan olemassa olevia vaihtoehtoisia opetusmalleja ja -menetelmiä. Perusopetuksen (8.lk) oppilaiden jaksollisen järjestelmän ymmärtämistä tutkittiin kahdella kartoittavalla lomaketutkimuksella. Tutkimukseen osallistui kaksi luokkaa yhdestä Espoon kaupungin koulusta. Oppilastutkimuksen tuloksista ilmeni, että keskimäärin puolet oppilaista hallitsi atomin perusrakenteen sekä käsitteet järjestysluku ja massaluku. Isotooppi-käsite oli lähes kaikille oppilaille tuntematon tai liian vaikea selitettäväksi. Atomin rakenteen hallinta on edellytys jaksollisen järjestelmän rakenteen ymmärtämiseksi. Jaksolliseen järjestelmään liittyvät peruskäsitteet hallitsi, käsitteestä riippuen, vain noin puolet oppilaista. Erityisesti peruskäsitteet jakso ja ryhmä sekä niiden yhteys alkuaineen atomirakenteeseen olivat jääneet osalle oppilaita epäselviksi. Teoriataustan ja oppilastutkimuksen tulosten pohjalta kehitettiin uusi opetusmenetelmä, alkuainesuunnistus. Opetusmenetelmän tavoitteena on auttaa oppilaita hallitsemaan oppilastutkimuksen perusteella epäselviksi jääneitä jaksollisen järjestelmän peruskäsitteitä. Oppilas ratkaisee alkuaineiden jaksollisen järjestelmän avulla pienimuotoisia ongelmia samalla kerraten ja soveltaen aiemmin oppimiaan käsitteitä. Alkuainesuunnistuksessa karttana toimii pitkä jaksollinen järjestelmä ja suunnistusrastit sijaitsevat eri alkuaineiden kohdalla jaksollisessa järjestelmässä. Suunnistuksessa siirrytään suullisesti tai kirjallisesti annettujen vihjeiden perusteella alkuaineesta toiseen. Uuden rastin eli alkuaineen kohdalla siitä esitetään oppilaalle kysymys tai tehtävä. Tämä pro gradu-tutkielma tarjoaa jokaiselle kemian opettajalle selkeän ja kattavan katsauksen jaksollisen järjestelmän kehittämisestä nykymuotoonsa. Lisäksi se auttaa hahmottamaan mallien, erityisesti jaksollisen järjestelmän opettamiseen liittyviä olennaisia asioita. Perusopetuksen kemian opettajat saavat oppilastutkimuksen tulosten perusteella yleiskuvan oppilaiden jaksolliseen järjestelmään liittyvistä virhekäsityksistä. Niiden pohjalta voidaan kehittää muitakin uusia opetusmenetelmiä alkuainesuunnistuksen lisäksi.		
Avainsanat – Nyckelord – Keywords Kemian opetus, alkuaineiden jaksollinen järjestelmä, malli, opetusmalli, opetusmenetelmä		
Säilytyspaikka - Förvaringsställe - Where deposited Matemaattis-luonnontieteellisen tiedekunnan kirjasto ja kemian opettajien resurssikeskus KEMMA		
Muita tietoja - Övriga uppgifter - Additional information		

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO.....	1
2 ALKUVAINEIDEN JAKSOLLINEN JÄRJESTELMÄ.....	2
2.1 Alkuaineiden jaksollisen järjestelmän historiaa.....	2
2.1.1 Antiikin ajan alkuaineiden luokittelua.....	3
2.1.2 Alkuaineiden ryhmittelyä ennen jaksollista järjestelmää.....	4
2.1.3 Mendelejevin alkuaineiden jaksollinen järjestelmä.....	8
2.1.4 Moseleyn jaksollinen järjestelmä.....	11
2.1.5 Jaksollisen järjestelmän kvanttiteoria.....	14
2.1.6 Uraania raskaammat alkuaineet ja Seaborgin järjestelmä.....	19
2.1.7 Ryhmien numeroinnin historiaa.....	22
2.2 Alkuaineiden jaksollisen järjestelmän nykytilanne.....	24
2.2.1 Virallisesti hyväksytty jaksollinen järjestelmä.....	25
2.2.2 Jaksollisen järjestelmän pituus ja graafinen muoto.....	27
2.2.3 Jaksollisen järjestelmän sisältö, ryhmien nimet ja numerot.....	33
2.2.4 Alkuaineiden H, Zn, Cd ja Hg paikka jaksollisessa järjestelmässä.....	36
2.2.5 Uuden alkuaineen hyväksyminen jaksolliseen järjestelmään.....	40
2.3 Alkuaineiden jaksollisen järjestelmän tulevaisuus.....	42
3 ALKUVAINEIDEN JAKSOLLINEN JÄRJESTELMÄ OPETUKSESSA.....	44
3.1 Oppilaan luonnontieteiden oppimisesta.....	44
3.2 Mallikäsitteen määritelmä.....	47
3.2.1 Historiallinen malli, tieteellinen malli ja konsensusmalli.....	47
3.2.2 Mallien luokittelu.....	48
3.3 Opetusmallit.....	49
3.3.1 Hyvän opetusmallin ominaisuuksia.....	50
3.3.2 Yleistä opetusmallien käytöstä.....	52

3.4 Alkuaineiden jaksollinen järjestelmä opetusmallina perusopetuksessa.....	54
3.4.1 Oleellisia seikkoja jaksollisen järjestelmän opettamisesta.....	55
3.4.2 Jaksollisen järjestelmän vaihtoehtoisia opetusmalleja.....	58
3.4.3 Aikaisempia tutkimuksia oppilaiden jaksollisen järjestelmän ymmärtämisestä.....	62
4 TUTKIMUKSEN SUORITTAMINEN.....	64
4.1 Tutkimustavoitteet ja tutkimusongelmat.....	64
4.2 Tutkimusmenetelmät.....	65
5 TUTKIMUSTULOKSET JA LUOTETTAVUUSTARKASTELU.....	67
5.1 Oppilaiden (8.lk) alkuaineiden jaksollisen järjestelmän ymmärtäminen.....	67
5.1.1 Atomin rakenteeseen liittyvät käsitteet.....	67
5.1.2 Ryhmät ja jaksollinen järjestelmä.....	69
5.1.3 Jaksot ja jaksollinen järjestelmä.....	70
5.1.4 Metallisuus, atomimassa ja muut ominaisuudet.....	70
5.2 Oppilastutkimuksen luotettavuustarkastelu.....	72
5.3 Opetusmenetelmän ideointi jaksollisen järjestelmän perusopetukseen.....	73
5.3.1 Alkuaineiden jaksollisen järjestelmän opetus ja opetusmallit perusopetuksessa.....	73
5.3.2 Uusi opetusmenetelmä: Alkuainesuunnistus.....	75
6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	77
LÄHTEET.....	79
LIITTEET.....	86
KUVIOT	
Kuvio 1. Aristoteleen neliö	3
Kuvio 2. Atomiorbitaalien energiatasot ja täyttymisjärjestys	16
Kuvio 3. Atomiorbitaalien muodot, lukumäärät ja sijainti	17
Kuvio 4. Mendelejevin ryhmänumerot ja atomien ulkoelektronit	23
Kuvio 5. IUPAC:in nimeämissuositus uuden alkuaineen väliaikaiseksi nimeksi	41
Kuvio 6. Mallin määrittely	47
Kuvio 7. Mallien opetuskäyttö	50

TAULUKOT

Taulukko 1. de Morveau'n Yksinkertaisten yhdisteiden taulukko v.1782	2
Taulukko 2. Döbereinerin triaadit v.1829	5
Taulukko 3. Newlandsin oktaavilakiin perustuva alkuainetaulukko v.1865	6
Taulukko 4. Odlingin alkuainetaulukko v.1864	7
Taulukko 5. Hinrichsin alkuainetaulukko v.1869	7
Taulukko 6. Meyerin alkuainetaulukko v.1868	8
Taulukko 7. Mendelejevin jaksollinen järjestelmä v.1869	9
Taulukko 8. Mendelejevin uudempi jaksollinen järjestelmä v.1871	11
Taulukko 9. Sivukvanttilukujen yhteys jaksollisen järjestelmän rakenteeseen	18
Taulukko 10. Jaksollisen järjestelmän rakenne 1930-luvulla	19
Taulukko 11. Jaksollinen järjestelmä v.1944	21
Taulukko 12. Seaborgin jaksollinen järjestelmä v.1945	22
Taulukko 13. Jaksollisen järjestelmän ryhmien numerointitapoja	24
Taulukko 14. Nykyinen jaksollinen järjestelmä v.2005 (IUPAC)	26
Taulukko 15. Lyhyt jaksollinen järjestelmä, jossa alaryhmät <i>a</i> ja <i>b</i>	27
Taulukko 16. Lyhyt jaksollinen järjestelmä, jossa alaryhmät, <i>a</i> , <i>b</i> ja <i>c</i>	28
Taulukko 17. Taulukkomuotoinen keskikokoinen jaksollinen järjestelmä	29
Taulukko 18. Spiraalisilmukan muotoinen keskikokoinen jaksollinen järjestelmä	29
Taulukko 19. Spiraalisilmukan muotoinen pitkä jaksollinen järjestelmä	30
Taulukko 20. Taulukkomuotoinen pitkä jaksollinen järjestelmä (Janet)	31
Taulukko 21. Taulukkomuotoinen pitkä jaksollinen järjestelmä (Gibson)	31
Taulukko 22. Kierteen muotoinen pitkä jaksollinen järjestelmä	32
Taulukko 23. Siksakviivan muotoinen pitkä jaksollinen järjestelmä	32
Taulukko 24. Kuvitettu jaksollinen järjestelmä	34
Taulukko 25. Thomsen-Bohr-järjestelmä	38
Taulukko 26. Sandersonin ”double-appendix”-järjestelmä	39
Taulukko 27. Jaksollinen järjestelmä, jossa osa alkuaineista merkittynä kahdesti	40
Taulukko 28. Ehdotus tulevaisuuden jaksollisesta järjestelmästä	43
Taulukko 29. Mallien esitystavan ja luonteen mukainen luokittelu	49
Taulukko 30. Esimerkki kemian oppikirjan jaksollisesta järjestelmästä	54
Taulukko 31. Oppilaskyselyihin osallistuneiden 8.luokan oppilaiden taustatiedot	64

1 JOHDANTO

Kemia on luonnontiede, joka tutkii aineiden rakennetta, ominaisuuksia ja aineiden välisiä reaktioita. Aineet rakentuvat kiteistä ja molekyyleistä, jotka koostuvat eri alkuaineiden atomeista. Alkuaineiden atomit taas koostuvat protoneista, neutroneista ja elektroneista. Ytimen protonien määrän ja elektronien sijainnin sekä niistä johtuvien ominaisuuksiensa mukaan jokainen tunnettu alkuaine on saanut oman paikkansa alkuaineiden jaksollisessa järjestelmässä. Alkuaineiden jaksollinen järjestelmä on tiivis taulukko, johon on pakattu pieneen tilaan paljon alkuaineita ja niiden välisiä reaktioita koskevaa tietoa.

Alkuaineiden jaksollisen järjestelmän käyttötaito on tärkeää jo perusopetuksessa. Jos oppilas osaa käyttää jaksollista järjestelmää apunaan, hän pystyy helpommin tekemään hypoteeseja tutkimuksiinsa, perustelemaan tutkimustuloksiaan sekä syventämään kemian oppimistaan, esimerkkinä ioniyhdisteet. Lisäksi oppilas ymmärtää, ettei kaikkea kemiallista tietoa tarvitse muistaa ulkoa - paljon löytyy jaksollisesta järjestelmästä.

Tutkimuksen tekijän ollessa kolme ja puoli vuotta 7. ja 8. luokan kemian opettajana hän havaitsi, että alkuaineiden jaksollisen järjestelmän käyttötaidon oppiminen oli vaikea asia 8. luokan kemiassa. Jos jaksollisen järjestelmän käyttö ja merkitys jäi oppilaalle epäselväksi, jäivät myös reaktioyhtälöiden kirjoittaminen ja tasapainottaminen sekä ioni- ja molekyyliyhdisteiden muodostumisen ymmärtäminen kovin hatariksi.

Tässä tutkimuksessa halutaan selvittää, miten oppilaat ymmärtävät ja osaavat käyttää alkuaineiden jaksollista järjestelmää sekä siihen liittyviä käsitteitä. Jos kemian opettaja tietää, mikä on oppilaalle vaikeaa ymmärtää, hän voi myös auttaa oikealla tavalla. Tässä tutkimuksessa perehdytään jaksollisen järjestelmän historiaan ja nykyisyyteen (luku 2), erityisesti opetuksen näkökulmasta. Lisäksi hahmotetaan mallikäsitettä (luku 3.2), opetusmallia (luku 3.3) ja niiden käyttöä opetuksessa, sekä perehdytään jaksolliseen järjestelmään mallina (luku 3.4). Oppilastutkimuksen, aikaisempien tutkimusten ja kirjallisuuden pohjalta ideoidaan uusi opetusmenetelmä jaksollisen järjestelmän perusteiden opettamiseen (luku 5.2).

2 ALKUVAINEIDEN JAKSOLLINEN JÄRJESTELMÄ

"A teacher ought to know more than just what he or she teaches. As educators, teachers need to know something about the body of knowledge they are teaching, something about how this knowledge has come about, how its claims are justified and what its limitations are. Teachers should have a feel for, or appreciation of, the tradition of inquiry into which they are initiating students." (Matthews, 1994, 213)

Alkuaineiden jaksollinen järjestelmä on kehittynyt vaiheittain nykyiseen muotoonsa – ja muotoutuu edelleen. Kemian tutkijat eivät ole edelleenkään yksimielisiä siitä, ovatko kaikki alkuaineet oikeilla, kemiallisten ominaisuuksien mukaisilla paikoillaan jaksollisessa järjestelmässä. Siksi kemian opettajan on tarpeen ymmärtää jaksollisen järjestelmän syntyhistoriaa ja erilaisten jaksollisten järjestelmien rakenteiden periaatteita. Opetuksessa olisi syytä vertailla tai käyttää rinnan hieman erilaisia jaksollisia järjestelmiä. Ei ole yhtä parasta tapaa esittää alkuaineiden jaksollista järjestelmää graafisessa muodossa (Moore, 2003, 847). Tässä luvussa tutustutaan jaksollisen järjestelmän historiaan, nykytilaan ja tulevaisuuteen.

2.1 Jaksollisen järjestelmän historiaa

Nykyisen jaksollisen järjestelmän historia alkaa ranskalaisen de Morveau'n v.1782 julkaisemasta yksinkertaisten yhdisteiden taulukosta, joka sisälsi kaikki siihen aikaan tunnetut alkuaineet ja niiden yhdisteet, mutta myös valon ja lämmön (KUVIO 1) (Mazurs, 1974, 1).

TAULUKKO 1. de Morveau'n yksinkertaisten yhdisteiden taulukko v.1782, jossa kemialliset merkit ja kaavat on muutettu nykymuotoon (Mazurs, 1974, 1).

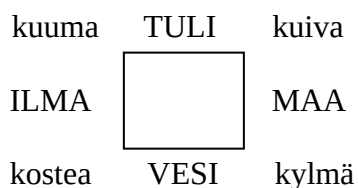
Non Decomposable Substances					
Simple Substances	Simple Combustible Substances	Metallic Substances		Simple Earths	Alkalies
Light	N	As	Fe	SiO ₂	NaOH
Heat	C	Mo	Sn	Al ₂ O ₃	KOH
O	S	W	Pb	BaO	NH ₄ OH
H	P	Mn	Cu	CaO	
	Cl	Ni	Hg	MgO	
	B	Co	Ag		
	F	Bi	Pt		
	etc.	Sb	Au		
		Zn			

2.1.1 Antiikin ajan alkuaineiden luokittelua

Paljon ennen de Morveau'n taulukkoa (TAULUKKO 1) oli antiikin ajan kreikkalainen filosofi Platon (428-348 eaa.) verrannut alkuaineita geometrisiin kappaleisiin. Platon kehitti edelleen Empedoklesin (490-430 eaa.) teoriaa neljästä alkuaineesta liittäen viidenneksi alkuaineeksi eetterin, jonka hän ajatteli ympäröivän neljästä alkuaineesta muodostunutta maapalloa. Platonin teorian mukaan alkuaineita on oltava viisi, koska säännöllisiä monitahokkaita (Platonin kappaleet) on viisi erilaista. Platon liitti tulen tetraedriin, ilman oktaedriin, veden ikosaedriin ja maan heksaedriin, eetterin taas kuutioon. Alkuaineet olivat hänen mukaansa muodostuneet samasta perusaineesta ja pystyivät geometrysten kappaleiden tavoin muuttumaan toisikseen. (Engels & Nowak, 1992, 37)

Platonin oppilas Aristoteles (348-322 eaa.) laati puolestaan Aristoteleen neliön (KUVIO 2), jossa näkyvät Empedoklesin luoman neljän alkuaineen teorian alkuaineet ja niiden pääominaisuudet. Aristoteles yritti saada aikaisemmat teoriat vastaamaan paremmin luonnossa havaittavia muutoksia. Vierekkäiset alkuaineet neliössä olivat Aristoteleen mukaan sukulaisaineita, jotka voivat liittyä keskenään yhteen ja tietyissä olosuhteissa muuttua toisikseen. Näin aineet olivat jatkuvassa kiertoliikkeessä, jossa kuitenkin säilyi neljän alkuaineen keskinäinen tasapaino. (Engels & Nowak 1992, 37-38)

Aristoteleen neliön merkitys on moninaisempi, jos luokitellaan maa kiinteäksi, vesi nesteeksi, ilma kaasuksi ja tuli energiaksi (Strathern, 2000, 29).



KUVIO 1. Aristoteleen neliö (Engels & Nowak, 1992, 37).

Vaikka Aristoteleen teoriassa sekoittuivat abstrakti logiikka, Empedoklesin mystiset ajatukset ja havaittavat luonnonilmiöt, sen esittämät väitteet alkuaineiden ominaisuuksista ja luonnonilmiöistä tuntuivat ymmärrettäviltä. Teoria pysyikin yleisesti

hyväksyttynä läpi keskiajan eli alkemian ja kahden prinssiin opin aikakauden, aina vuoteen 1661 asti. (Engels & Nowak, 1992, 37-38, 45-46) Strathernin (2000, 26) mukaan tämän teorian vankkumaton suosio hidasti tieteellisen ajattelun kehittymistä.

Vuonna 1661 englantilainen kemisti Boyle (1627-1691) onnistui horjuttamaan Aristoteleen teoriaa kirjassaan '*The Skeptikal Chymist*'. Hän itse suosi ja suositteli muillekin kemian saloja tutkiville kvantitatiivisia käytännön kokeita mystiikan ja filosofoinnin sijaan. Boylen kokeellisten tutkimusten ansiosta tunnettujen alkuaineiden määrä alkoi kasvaa, ja kreikkalaisten filosofien luomat teoriat saivat väistyä tieteellisen kemian tieltä. (Zumdahl, 1993, 42)

2.1.2 Alkuaineiden ryhmittelyä ennen jaksollista järjestelmää

Dalton (1766-1844) kehitti Leukippoksen ja Demokritoksen puhtaasti filosofista termiä '*atomos*' ja antiikin atomiteoriaa kokeellisesti eteenpäin sekä laajensi Boylen käsityksen kaasujen koostumuksesta koskemaan kaikkea ainetta. Dalton loi v.1803 atomiteorian, jonka mukaan:

- 1) Kemiallinen alkuaine koostuu näkymättömistä ainehiukkasista, atomeista, jotka säilyvät muuttumattomina kaikissa kemiallisissa reaktioissa.
- 2) Kaikki saman alkuaineen atomit ovat samanlaisia kaikin tavoin, erityisesti painonsa suhteen, ja jokainen alkuaine on tunnistettavissa sen atomin painon mukaan.
- 3) Kemialliset yhdisteet syntyvät, kun atomeja liittyy yhteen yksinkertaisissa kokonaislukusuhteissa. Tietty yhdiste muodostuu aina samoista atomeista samoissa suhteissa. (Partington, 1989, 169; Zumdahl, 1993, 46).

Daltonin atomiteoria oli käytännöllinen, koska sen avulla pystyttiin selittämään kokeellisia tuloksia.

Atomiteorian lisäksi Dalton määritteli suhteellisen atomimassan ottamalla perusmitaksi alkuaineista keveimmän eli vedyn. Hän määritteli yhden vetyatomin suhteelliseksi atomimassaksi 1, ja kaikkien muiden alkuaineiden atomimassat voitiin määrittää tämän atomimassan avulla. (Strathern, 2000, 305)

Ruotsalainen kemisti Berzelius (1779-1848) hyväksyi ensimmäisten joukossa Daltonin ajatukset, mutta huomasi epätarkkuuksia Daltonin määrittelemissä atomimassoissa. Berzelius tarkensi Daltonin mittaamia atomimassoja, ja vuoteen 1818 mennessä hän oli määrittänyt kaikkiaan neljäkymmenenviiden alkuaineen suhteellisen atomimassan (Strathern, 2000, 309).

Seuraava edistysaskel jaksollisen järjestelmän kehittämisessä de Morveau'n yksinkertaisten yhdisteiden taulukon (TAULUKKO 1) jälkeen tapahtui v.1829, kun Döbereiner (1789-1849) löysi triaadit eli kolmen alkuaineen ryhmät (TAULUKKO 2). Jo Döbereineria ennen oli Balard keksinyt bromin löytämisen jälkeen v.1826, että bromin paikka on kloorin ja jodin välissä (Engels & Nowak, 1992, 110). Döbereiner havaitsi alkuaineita tutkiessaan, että tietyillä kolmen alkuaineen ryhmillä oli riippuvuussuhde kemiallisten ominaisuuksien lisäksi myös atomien massojen välillä: keskimmäisen alkuaineen atomimassa oli kahden muun keskiarvo (Havonen & al., 2002). Döbereinerin taulukko oli kuitenkin rajallinen: kaikkia tunnettuja alkuaineita ei pystytty sijoittamaan triadeihin (Zumdahl, 1993, 305). Vuotta aikaisemmin v.1828 Dumas oli julkaissut taulukon keskenään samankaltaisista alkuaineista, mutta se sisälsi vain epämetalleja (Mazurs, 1974, 2).

TAULUKKO 2. Döbereinerin triaadit v.1829 (Mazurs, 1974, 2).

Li	Mg	Ca	Be	B	P	?	S	F	Cl
Na	?	Sr	Al	Si	As	Sb	Se	?	Br
K	?	Ba	?	?	?	Bi	Te	?	I
Y	Zr	Fe	Ni	Ru	Pt	Ag	?	?	?
Ce	Ti	Co	Cu	Rh	Ir	Pb	Sn	Au	W
?	Sn	Mn	Zn	Pd	Os	Hg	Cd	W	Ta

Jaksollisen järjestelmän kehityksessä triadeja seurasi oktaavilaki. De Chancourtois oli v.1862 ensimmäinen, joka taulukoi alkuaineet niiden atomimassojen mukaan kasvavaan järjestykseen ja löysi näin samankaltaisia alkuaineita (Mazurs, 1974, 3). De Chancourtois asetti alkuaineet atomimassajärjestyksessä lieriöistä koostuvan telluurisen kierteen muotoon, kuusitoista alkuainetta yhteen lieriön ympäröykseen. Hän havaitsi, että toistensa kanssa päällekkäin olevien alkuaineiden ominaisuudet olivat samankaltaiset. (Strathern, 2000, 322)

Oktaavilain kehitti Newlands (1838-1898) v.1864, mutta julkaisi oktaavilakiin perustuvan alkuainetaulukon vasta seuraavana vuonna (TAULUKKO 3). Tässä taulukossa alkuaineet on järjestetty seitsemään pystyriiviin kasvavan atomimassan mukaiseen järjestykseen. Näin syntyneiden vaakarivien alkuaineilla hän havaitsi olevan samankaltaisia ominaisuuksia. (Mazurs, 1974, 3-4)

Järjestäessään alkuaineita atomimassan mukaiseen järjestykseen Newlands oli huomannut, että alkuaineiden samankaltaiset ominaisuudet toistuvat kahdeksan alkuaineen välein, samoin kuin ensimmäinen ja kahdeksas sävel oktaavissa ovat toistensa kaltaisia (Partington, 1989, 345). Newlandsin oktaavilaki sisälsi myös Döbereinerin löytämät triaadit (Strathern, 2000, 324). Hänen kehittämässään taulukossa on vain seitsemän oktaavia, eikä näin ollen lainkaan tilaa myöhemmin löydettyille alkuaineille (Engels & Nowak, 1992, 120), eivätkä atomimassaltaan suurempien alkuaineiden ominaisuudet enää täsmää vaakarivien kevyempien alkuaineiden kanssa (Strathern, 2000, 324). Newlands oli kuitenkin ensimmäinen, joka antoi alkuaineille niiden atomimassoihin perustuvat järjestysluvut (*atomic number*), eli vety sai järjestysluvun 1 ja litium vastaavasti järjestysluvun 2 (Partington, 1989, 345).

TAULUKKO 3. Newlandsin oktaavilakiin perustuva alkuainetaulukko v.1865 (Mazurs, 1974, 4)

1	2	3	4	5	6	7
H	Li	Be	B	C	N	O
F	Na	Mg	Al	Si	P	S
Cl	K	Ca		Ti		
	Cu	Zn			As	Se
Br	Rb	Sr		Zr		
	Ag	Cd		Sn	Sb	Te
I	Cs	Ba				
					Bi	

Vaikka oktaavilain mukainen alkuainetaulukko jo muistuttaa Mendelejevin alkuaineiden jaksollista järjestelmää (TAULUKKO 7), tämän jaksollisen järjestelmän edeltäjinä pidetään kuitenkin kolmea muuta alkuainetaulukkoa. Niiden laatijat toteuttivat tietämättään taulukoissaan jaksollisuuden lakia, jonka kuitenkin keksi muutamia vuosia myöhemmin venäläinen kemisti Mendelejev. (Mazurs, 1974, 4)

TAULUKKO 4. Odlingin alkuainetaulukko v.1864 (Mazurs, 1974, 4).

8	1	2	1	2	3	4	5	6	7	1	2	4	-	6	7	8	1
	H	-	Li	Be	B	C	N	O	F	Na	Mg						
	-	-	-	-	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	-	Cr	Mn	Fe	Cu
	-	Zn	-	-	-	-	As	Se	Br	Rb	Sr	Zr	Ce	Mo		Co	
Rh Ru Pd	Ag	Cd	-	-	U	Sn	Sb	Te	I	Cs	Ba	Ta	-	V	W	Ni	
Pt Ir Os	Au	Hg	Tl	Pb	-	-	Bi	-	-	-	-	Th					

Ensimmäisen tällaisen taulukon piirsi englantilainen Odling v.1864 (TAULUKKO 4). Toisen edeltäjän, amerikkalaisen Hinrichsin alkuperäinen alkuaineluettelo oli spiraalin muotoinen. Se julkaistiin v.1867 ja vastaava alkuainetaulukko v.1869 (TAULUKKO 5). Tästä taulukosta on jäänyt nykyiseen jaksolliseen järjestelmään elämään metalleja ja epämetalleja erottava portaittainen viiva. Lisäksi taulukossa käytetään suuntanuolia selventämään alkuaineiden oikeaa järjestystä. (Mazurs, 1974, 5)

TAULUKKO 5. Hinrichsin alkuainetaulukko v.1869 (Mazurs, 1974, 5).

	Pantoids	Kaloids	Calcoids	Cadmoids	Hydrargoids	Cuproids	Ferroids	Titanoids	Phosphoids	Sulphoids	Chloroids	Pantoids
												H
→	H	Li	–	–	–			C	N	O	F	
→	→	Na	–	Mg	–	–	Al	Si	P	S	Cl	
→	→	K	Ca									
				Zn	–	Cu	Co Ni Fe Mn Cr	Ti	←			
									As	Se	Br	
→	→	Rb	Sr									
				Cd	–	Ag	Rh	Pd	←			
								Sn	Sb	Te	I	
→	→		Ba									
				Pb	Hg	Au	Ir	Pt	←			
									Bi	–	–	

Kolmantena alkuaineiden jaksollisen järjestelmän edeltäjänä Mazurs (1974) pitää saksalaisen Meyerin (1830-1895) v.1868 laatimaa alkuainetaulukkoa (TAULUKKO 6), jonka hän valitettavasti jätti silloin julkaisematta. Zumdahl (1993) taas antaa Meyerille arvon nykyisen jaksollisen järjestelmän toisena keksijänä. Meyerin alkuainetaulukko vastasi nimittäin lähes täysin Mendelejevin vuotta myöhemmin julkaisemaa, alkuaineiden kemian mullistanutta jaksollista järjestelmää. Meyer ei kuitenkaan ole sisällyttänyt taulukkoonsa kaikkia siihen asti tunnettuja alkuaineita eikä hän tehnyt taulukkonsa perusteella ennusteita kuten Mendelejev (Gorin, 1996, 491).

TAULUKKO 6. Lothar Meyerin alkuainetaulukko v.1868 (Partington, 1989, 348).

I.		II.		III.		IV.		V.		VI.		VII.		VIII.		IX.	
	B	11	Al	27.3		—		—				?In	113.4			Tl	202.7
	C	11.97	Si	28				—				Su	117.8			Pb	206.4
					Ti	48			Zr	89.7					—		
	N	14.01	P	30.9			As	74.9				Sb	122.1			Bi	207.5
					V	51.2			Nb	93.7				Ta	182.2		
	O	15.96	S	31.98			Se	78				Te	128?				
					Cr	52.4			Mo	95.6				W	182.2		
	F	19.1	Cl	35.38			Br	79.75				I	126.5				
					Mn	54.8			Ru	103.5				Os	198.6?		
					Fe	55.9			Rh	104.1				Ir	196.7		
				Co &	Ni	58.6			Pd	106.2				Pt	196.7		
Li	7.01	Na	22.99	K	39.04			Rb	85.2			Cs	132.7				
						Cu	63.3			Ag	107.66			Au	196.7		
?Be	9.3	Mg	23.9	Ca	39.9			Sr	87.0			Ba	136.7				
						Zn	64.9			Cd	111.6			Hg	199.8		

2.1.3 Mendelejevin alkuaineiden jaksollinen järjestelmä

”Vuonna 1869 Mendelejev pohti kemiallisten alkuaineiden ongelmaa. Ne olivat aakkoset, joista maailmankaikkeuden kieli muodostui.” (Strathern, 2000)

Alkuaineiden jaksollisen järjestelmän (*The Periodic Law*) julkaisi v.1869 venäläinen kemisti Dimitri Ivanovic Mendelejev (1834-1907). Hän esitti Venäjän kemian seuran kokouksessa ensimmäiset tuloksensa alkuaineiden ominaisuuksien jaksottaisesta riippuvuudesta atomien massasta. (Engels & Nowak, 1992, 119)

Hahmotellessaan jaksollista järjestelmäänsä Mendelejev hylkäsi Newlandsin jäykän oktaavitaulukon (TAULUKKO 3) ja järjesti silloiset alkuaineet uudelleen vaakariveihin eli jaksoihin. Hän ei tehnyt jakoa mekaanisesti, vaan otti huomioon myös alkuaineiden tärkeimmät laadulliset ja määrälliset ominaisuudet. (Engels & Nowak, 1992, 115)

Jokaisen alkuaineen tiedettiin koostuvan eri atomeista ja omaavan ainutlaatuiset ominaisuudet sekä atomimassan. Alkuaineet voitiin siis joko järjestää lineaarisesti kasvavien atomimassojen mukaan tai samankaltaisten ominaisuuksien mukaisiin ryhmiin. Usean muun tutkijan tavoin myös Mendelejev arveli, että näiden kahden luokittelutavan välillä täytyi olla jokin yhteys. (Strathern, 2000, 11)

Mendelejevin v.1869 julkaisemassa jaksollisessa järjestelmässä (TAULUKKO 7) kaikki tunnetut alkuaineet ovat kasvavan atomimassan mukaisessa järjestyksessä sekä vasemmalta oikealle että ylhäältä alas (Strathern, 2000, 354). Vaakariveissä ovat rinnakkain ominaisuuksiltaan samankaltaiset alkuaineet, nykyisessä jaksollisessa järjestelmässä ne ovat pystyriveissä allekkain. Mendelejevin jaksollinen järjestelmä näyttää sisältävän sekä osia Newlandsin oktaavilakiin perustuvasta jäykästä taulukosta että Döbereinerin triaadit ja de Chancourtois’n telluurisen kierteen alkuainejaksoja.

TAULUKKO 7. Mendelejevin jaksollinen järjestelmä v.1869 (Partington, 1989, 348).

						Ti	50	Zr	90	?	100		
						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	=	Co	59	Pd	106.6	Os	199
H	1					Cu	63.4	Ag	108	Hg	200		
		Be	9.4	Mg	24	Zn	65.2	Cd	112				
		B	11	Al	27	?	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	35.5	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?						

Hienosta sisällöstä huolimatta Mendelejev havaitsi järjestelmässään ristiriitaisuuksia. Kaikki alkuaineet eivät sopineet atomimassansa mukaiseen paikkaan (esim. telluuri $\text{Te}=128?$), jolloin Mendelejev ehdotti alkuaineen atomimassaa virheelliseksi ja sijoitti sen ominaisuuksiensa mukaiselle paikalle järjestelmässä ennen jodia I (Hill & Holman, 2000, 38). Hän piti alkuaineen ominaisuuksia sen atomimassaa merkitsevämpänä jaksollista järjestelmää laatiessaan. Jos mikään alkuaine ei sopinut tietyn atomimassan kohtaan, Mendelejev jätti järjestelmäänsä aukon. Mendelejevin v.1870 julkaisemassa parannetussa versiossa jaksollisesta järjestelmästä hän on jättänyt tyhjiksi massalukujen 44, 68 ja 72 kohdat (ekaboori, eka-alumiini ja ekapii) (Mazurs, 1974, 9; Seaborg, 1985b, 463). Hän uskoi aukkokohtiin kuuluvien alkuaineiden vielä löytyvän ja ennusti v.1870 niiden kvalitatiivisia ja kvantitatiivisia ominaisuuksia viereisten alkuaineiden ominaisuuksien perusteella. (Strathern, 2000, 354-356)

Nimenomaan nämä vankat ja pitkälle viedyt ennusteet sekä aukkokohtat tekevät Mendelejevin jaksollisesta järjestelmästä merkittävämmän kuin saksalaisen Meyerin v.1870 julkaisema, hyvin samankaltainen alkuainetaulukko (TAULUKKO 6). Tavallaan Meyerin taulukko vain vahvisti Mendelejevin järjestelmän järkevyyttä. Nykyiset jaksolliset järjestelmät – monista lisäyksistä ja muutoksista huolimatta – pohjautuvat edelleen Mendelejevin jaksollisen järjestelmän perusrakenteeseen (Strathern, 2000, 363).

Muutaman vuoden kuluttua, v.1871 Mendelejev julkaisi keskeisen artikkelin, jossa hän selitti jaksollisen järjestelmänsä mahdollista soveltamista. Tekstin lisäksi Mendelejev esitti artikkelissaan kaksi uutta versiota alkuperäisestä jaksollisesta järjestelmästä, joista toinen on esitetty TAULUKOSSA 8. Tämä uusi jaksollinen järjestelmä on alkuperäisestä poiketen jaettu lyhyisiin ja keskikokoisiin jaksoihin, joista jokainen alkaa alkalimetallilla ja loppuu epämetalliin. (Mazurs, 1974, 9)

Kemistit innostuivat tosissaan jaksollisesta järjestelmästä vasta sitten, kun eka-alumiini eli gallium löydettiin vuonna 1875 ja sen ominaisuudet olivat Mendelejevin ennustusten kanssa yhtäpitävät. Mendelejev julkaisi v. 1869 ensimmäisen oppikirjansa *'Principles of Chemistry'*, jossa hän kertoi miten päätyi jaksolliseen järjestelmänsä. (Partington, 1989, 348-349)

TAULUKKO 8. Mendelejevin uudempi jaksollinen järjestelmä v.1871 (perustana Mazurs, 1974, 10).

	I	II	III	IV	V	V	VII
			K	Rb	Cs	-	-
			Ca	Sr	Ba	-	-
			-	Y?	Di?	Er?	-
			Ti	Zr	Ce	La?	Th
			V	Nb	-	Ta	-
			Cr	Mo	-	W	U
			Mn	-	-	-	-
			Fe	Ru	-	Os	-
			Co	Rh	-	Ir	-
			Ni	Pd	-	Pt	-
H	Li	Na	Cu	Ag	-	Au	-
	Be	Mg	Zn	Cd	-	Hg	-
	B	Al	-	In	-	Tl	-
	C	Si	-	Sn	-	Pb	-
	N	P	As	Sb	-	Bi	-
	O	S	Se	Te	-	-	-
	F	Cl	Br	I	-	-	-

2.1.4 Moseleyn jaksollinen järjestelmä

Mendelejevin päätelmien pohjalta v.1869 muodostuneeseen jaksolliseen järjestelmään tehtiin muutama ratkaiseva muutos ja useita alkuainelisäyksiä 1900-luvulla. Näiden muutosten edellytyksenä oli atomin rakenteen vaiheittainen selviäminen tutkijoille sekä jalokaasujen löytyminen.

Jalokaasuista ensimmäisenä löydettiin argon (Ar) v.1894, ja seuraavaksi helium (He). Englantilainen Ramsay oli varma, että nämä hänen löytämänsä alkuaineet kuuluivat ominaisuuksiensa perusteella samaan ryhmään Mendelejevin jaksollisessa järjestelmässä. Kun argon sijoitettiin atomimassansa perusteella kloorin ja helium vedyn jälkeen, huomattiin uuden alkuaineryhmän syntyneen, ja lisäksi jaksollisen järjestelmän rakenteen edelleen pätevän. (Engels & Nowak, 1992, 221-224)

Nyt tutkijat halusivat todella selvittää, mitkä olivat perimmäiset syyt alkuaineiden jaksollisen järjestelmän rakenteen takana.

Englantilainen fyysikko Thomson (1856-1940) teki vuosina 1898-1903 ensimmäiset tärkeät kokeet, jotka johtivat atomin rakenteen ymmärtämiseen. Thomson löysi elektronihiukkaset tutkiessaan eri metalleja katodisädeputkellaan. Hän johti virtaa kaasulla täytettyyn lasiputkeen, jolloin negatiiviselta elektrodilta, katodilta, lähtevä säde hylki syntyneen sähkökentän negatiivista napaa. Tästä Thomson päätteli, että metallielektrodien katodisäde muodostui vedyn massaa huomattavasti kevyemmistä negatiivisista hiukkasista, elektroneista. Hän laajensi päätelmänsä koskemaan kaikkia alkuaineita ja kehitti sähköisesti neutraalin atomin rakenteelle rusinakakkumallin, jossa negatiivisia elektroneja ympäröi positiivisesti varautunut massa. (Partington 1989, 357; Zumdahl, 1993, 49-50)

Radioaktiiviset α - ja β -hiukkaset, gammasäteilyn sekä puoliintumisajan määritellyt Rutherford (1871-1937) piti α -hiukkasia aineen perusrakenteena ja innostui tutkimaan niiden avulla atomin rakennetta. Rutherford kumosi Thomsonin esittämän rusinakakkumallin v.1911. Hän pommitti ohutta metallikalvoa α -hiukkasilla, ja huomasi vain muutaman niistä poikkeavan reitiltään. Tutkimuksensa perusteella Rutherford oletti atomille hyvin pienen mutta tiiviin positiivisen ytimen, jota elektronit kiertävät tietyllä, ytimen säteestä riippuvalla etäisyydellä. (Zumdahl, 1993, 1-52)

Rutherford todisti samalla, että atomi on enimmäkseen tyhjää, eikä se ole jakamaton, kuten antiikin ajalla luultiin. Kaikkein yksinkertaisinta ydintä eli vetyatomin ydintä alettiin kutsua protoniksi Rutherfordin ehdotuksen mukaan (Zumdahl, 1993, 52). Rutherford esitti myös, että atomin ydinvarauksen täytyy olla puolet sen atomimassasta (van Spronsen, 1979).

Tietoisena atomin rakenteen uusista tutkimustuloksista Bohr (1885-1962) oletti v.1913, että vetyatomin elektroni kiertää ydintä vain tietyn energian omaavilla eli kvantittuneilla ympyränmuotoisilla radoilla. Hän laski näille radoille energioita ja totesi niiden täsmäävän vetyatomin emissiospektrin viivojen kanssa. Bohrin atomimalli toimi vain vetyatomin kohdalla, mutta se tasoitti tietä uusille teorioille atomin rakenteesta. (Zumdahl, 1993, 288,294)

Vuotta 1913 voidaankin kutsua vuodeksi, jolloin löydettiin alkuaineiden jaksollinen järjestelmän teoreettinen perusta (van Spronsen, 1979). Silloin Bohr kehitti vetyatomin kvanttimallin, Soddy määritteli isotooppi-käsitteen ja Moseley järjesti alkuaineet niiden röntgenspektrien mukaan.

Jaksollisen järjestelmän kannalta ratkaisevimman muutoksen v.1913 sai tutkimuksillaan aikaan englantilainen Moseley (1887-1915). Hän tutki alkuaineiden röntgenspektrejä ja havaitsi, että alkuaineen röntgenspekttrin aallonpituus pienentyi atomimassan kasvaessa. Yhteys ei kuitenkaan ollut suora, vaan erään spektriviivan aallonpituuden käänteisarvon neliöjuuri oli suoraan verrannollinen alkuaineen ydinvaraukseen (Engels & Nowak, 1992, 121). Moseleyn löytämä luku kasvoi aina yhden yksikön verran siirryttäessä jaksollisessa järjestelmässä kasvavassa järjestyslukuparissa alkuaineesta toiseen (Partington, 1989, 360). Yhteys alkuaineen järjestysluvun ja positiivisen ydinvarauksen välille oli löydetty: alkuaineen järjestysluku on sama kuin sen atomin ydinvaraus. Van Spronsenin (1979) artikkelin mukaan saksalainen A. J. van den Broek keksi saman yhteyden jo v.1912, mutta ei pystynyt sitä kokeellisesti todistamaan. Chadwick osoitti v.1920, että jokaisen atomin järjestysluku on sama kuin sen ytimen protonien lukumäärä (Holden & Coplen, 2004, 8).

Moseleyn luoman lain perusteella Mendelejevin jaksollisen järjestelmän rakenne muutettiin nykyiseen muotoonsa. Alkuaineet sijoittuvat vaakariveihin eli jaksoihin kasvavan järjestyslukunsa, eivät enää atomimassansa mukaan (TAULUKKO 9). Ydinvarauksen todettiin määrittävän alkuaineiden kemiallisia ominaisuuksia atomimassaa paremmin. (IUPAC-IUPAP, 1991, 880-881)

Lineaarisen funktion avulla Moseley huomasi aukot järjestyslukuparissa 43, 61 ja 72 kohdalla, ja Mendelejevin tavoin ennusti näiden, vielä jaksollisesta järjestelmästä puuttuvien alkuaineiden löytyvän (Gorin, 1996, 492). Esimerkiksi alkuaine 72 eli hafnium (Hf) löytyi jo v.1922. Lisäksi Moseleyn lain avulla saatiin selvitettyä atomimassaltaan poikkeavien alkuaineparien oikea järjestys: Ar-K, Co-Ni ja Te-I. (Engels & Nowak, 1992, 121)

Soddy ja Richards päätyivät molemmat toisistaan riippumatta samaan isotooppi-käsitteen määrittelyyn löytäessään uraanin ja toriumin hajoamistuotteista lyijyn kahta

uutta muotoa. Tämän määritelmän ja Moseleyn lain perusteella voitiin saman ydinvarauksen omaavat erimassaiset atomit sijoittaa jaksollisessa järjestelmässä samaan kohtaan. (Engels & Nowak, 1992, 122; Partington, 1989, 380)

Neutroni-käsitteen määrittely sai odottaa aina 1930-luvulle asti, jolloin Chadwick tulkitsi muiden tutkijoiden saamia tuloksia ehdottaen, että löydetty uusi säteilymuoto sisältää hiukkasia, jotka ovat massaltaan lähes protonien kaltaisia, mutta niillä ei ole varausta (Peake, 1989, 738). Hiukkasille annettiin nimeksi neutroni, jota Peaken (1989) mukaan oli aiemmin v.1921 ehdotettu määrittämään yhteensä yhtä negatiivista elektronia ja yhtä vety-ydintä.

2.1.5 Jaksollisen järjestelmän kvanttiteoria

Bohrin kehittämässä vedyn atomimallissa elektronit kiersivät ydintä ympyräradoilla, joilla oli tietty energia. Vaikka 1920-luvulla todettiin, ettei Bohrin ympyräratainen atomimalli ole toimiva, ajatus elektronien energiatasoista jäi elämään.

Alkuaineiden jaksolliselle käyttäytymiselle tarvittiin tieteellisempi ja tarkempi selitys. Fyysikot Heisenberg (1901-1976), de Broglie (1892-1987) ja Schrödinger (1887-1961) olivat uuden kvanttiteorian ja kvanttimekaanisen atomimallin edelläkävijöitä (Zumdahl, 1993, 294). Einstein osoitti v.1905 valoaaltojen hiukkasluonteen, ja de Broglie yleistä v.1924 tämän koskemaan kaikkea ainetta siten että hiukkasilla on aaltoluonne. Hänen mukaansa hiukkasiin liittyy aaltoja, joiden aallonpituus on laskettavissa hiukkasen impulssista eli liikemäärästä. (Cronström & Montonen, 1996, 7)

Sekä Schrödinger että de Broglie mielsivät vetyatomin elektronin liikkeen seisovaksi aaltoliikkeeksi, mikä ei lähetä energiaa ympäristöön. Vain näin elektroni voi pysyä radallaan syöksymättä lopulta ytimeen. Schrödinger loi tämän päätelmän perusteella vetyatomin kvanttimekaanisen atomimallin, vaikkei ollutkaan varma ideansa toimivuudesta. Schrödinger kuvasi hiukkasta (elektronia) ajasta t ja paikasta x riippuvalla aaltofunktiolla $\psi(t,x)$ (Cronström & Montonen, 1996, 8). Tämän Schrödingerin aaltoyhtälön $H\psi=E\psi$ ratkaisuna on suuri joukko erienergiaisia

aaltofunktioita ψ , joita kutsutaan orbitaaleiksi (Zumdahl, 1993, 295). Orbitaalilla tarkoitetaan yksielektronista aaltofunktiota ja atomiorbitaalilla yksielektronista aaltofunktiota, joka kuvaa elektronin jakautumista atomissa (Atkins, 1994, 427).

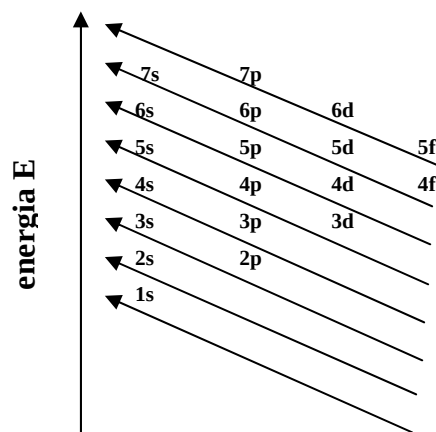
Heisenberg päätyi tutkimuksissaan epämääräisyysperiaatteeseen, joka auttoi ymmärtämään elektronien luonnetta. Sen mukaan on mahdotonta määrittää samanaikaisesti mielivaltaisella tarkkuudella sekä hiukkasen paikkaa x että liikemäärää p ($p = \text{massa} \cdot \text{nopeus} = m \cdot v$) (Atkins, 1994, 383). Elektronin tarkkaa liikettä ytimen ympärillä ei siten voida tietää.

Modernissa kvanttimekaniikassa ei ole radan käsitettä, vaan kaksi saman massan ja varauksen omaavaa hiukkasta (elektronia) voivat vaihtaa systeemissä paikkaa ilman, että sitä on mahdollista todeta kokeellisesti (Kalliorinne et al., 1988, 13). Kuitenkin hiukkasen olemassaolon todennäköisyys tietyssä avaruuden osassa on mahdollista määrittää käyttämällä Schrödingerin aaltoyhtälön neliötä ψ^2 . Aaltoyhtälön neliö antaa todennäköisyyden löytää elektroni joltain tietyltä, ydintä ympäröivältä alueelta, muttei hiukkasen tarkkaa paikkaa tai tietoa sen liikkeestä kahden paikan välillä. Aaltofunktion neliöitä kutsutaan atomiorbitaaleiksi. Kolmiulotteiset atomiorbitaalit eivät kuitenkaan vastaa Bohrin esittämiä tasomaisia elektronikuoria, eivätkä elektronit liiku ytimen ympärillä ympyränmuotoisilla radoilla. Elektronien liikkumisesta ei ole olemassa tarkkaa tietoa, on vain todennäköisyyksiä, eikä atomiorbitaalien todellista kokoa pystytä täysin määrittämään, ainoastaan suhteellisesti. Yleensä atomiorbitaaleja kuvataan siten että rajattu alue esittää 90% elektronin esiintymistodennäköisyydestä (KUVIO 3). (Atkins, 1994, 433; Zumdahl, 1993, 294-298)

Schrödingerin vetyatomia kuvaavan aaltoyhtälön ratkaisuna saadaan useita yhden elektronin aaltofunktioita eli orbitaaleja, joista jokainen voidaan eritellä ja kuvata käyttäen neljää kvanttilukua: pääkvanttilukua n , sivukvanttilukua l , magneettista kvanttilukua m_l ja spinkvanttilukua m_s . Spinkvanttiluku huomattiin välttämättömäksi, että atomin emissiospektri voitiin selittää yksityiskohtaisesti. (Zumdahl, 1993, 298)

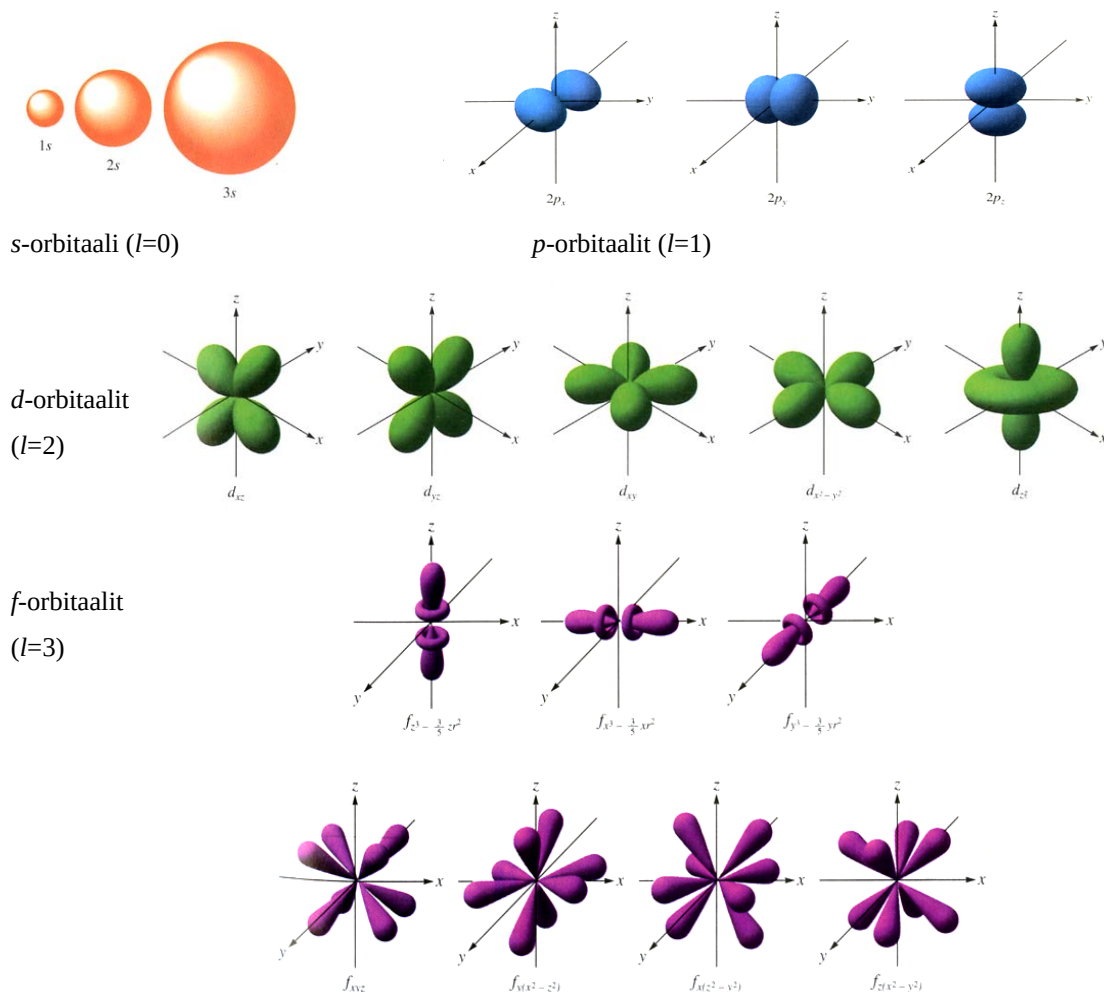
Näillä kvanttiluvuilla on yhteys nykyisen jaksollisen järjestelmän rakenteeseen seuraavasti:

- Pääkvanttiluku n saa kokonaislukuarvoja 1, 2, 3... tai kirjaimin esitettynä K, L, M, N... . Se kuvaa orbitaalin kokoa ja energiaa. Kun pääkvanttiluvun arvo kasvaa, myös energian määrä kasvaa ja orbitaali suurenee. Tämä tarkoittaa, että elektroni esiintyy todennäköisemmin kauempana atomin ytimeä kuin alemmilla pääkvanttiluvun arvoilla. Kaikilla saman pääkvanttiluvun omaavilla orbitaaleilla on sama energia niiden sivu- ja magneettisesta kvanttiluvusta riippumatta (KUVIO 2) (Atkins, 1994, 428). Niiden ajatellaan muodostavan yhden atomin energiakuorista, yhteensä n^2 orbitaalia, joille mahtuu korkeintaan $2n^2$ elektronia. Saman pääkvanttiluvun omaavat orbitaalit ovat keskenään degeneroituneita. Jaksollisessa järjestelmässä pääkvanttiluku kertoo pääryhmien alkuaineiden jakson numeron eli kunkin alkuaineen atomin energiakuorien lukumäärän perustilassa. Atomin uloimmalle kuorelle mahtuu aina korkeintaan 8 elektronia.



KUVIO 2. Atomiorbitaalien energiatasot ja täyttymisjärjestys (Zumdahl, 1993, 314).

- Sivukvanttiluku l saa kokonaislukuarvoja väliltä 0, 1, 2...(n-1). Tämä kvanttiluku kuvaa atomiorbitaalin muotoa ja rataimpulssimomentin suuruutta. Se voidaan esittää myös kirjainmuodossa $s, p, d, f, g...$ (KUVIO 3). Kirjainlyhenteet kuvaavat vetyatomin emissiospektriviivojen antamia miellelyhtymiä (esim. s sharp) (Yin & Ochs, 2001). Sivukvanttiluvun voidaan ajatella määrittävän tietyn energiataason omaavan energiakuoren kaikki alikuoret (KUVIO 2) (Atkins, 1994, 431). Jaksollisessa järjestelmässä sivukvanttiluvut muodostavat lohkoja siten että pääryhmien alkuaineet löytyvät joko s- tai p-lohkoista, siirtymäalkuaineet d-lohkosta ja lantanoidit sekä aktinoidit f-lohkosta (TAULUKKO 9) (Yin & Ochs, 2001).



KUVIO 3. Atomiorbitaalien muodot, lukumäärä ja suhteellinen avaruudellinen sijainti (Zumdahl, 1993, 300-301).

- Magneettinen kvanttiluku m_l saa kokonaislukuarvoja väliltä $-l \dots l$ mukaan lukien arvon 0. Tämä kvanttiluku kuvaa rataimpulssimomentin suuntaa eli atomiorbitaalien sijaintia suhteessa atomin muihin saman alikuoren (Atkins, 1994, 413). Jaksollisessa järjestelmässä magneettinen kvanttiluku yhdessä spinkvanttiluvun kanssa määrää sivukvanttilukulohkojen leveydet (Yin & Ochs, 2001).
- Spinkvanttiluku m_s saa arvot $\pm 1/2$. Se määrittää atomiorbitaalilla olevan elektronin liikettä oman akselinsa ympäri ja samalla sen muodostaman magneettikentän orientaation. Yhdellä orbitaalilla voi olla korkeintaan kaksi elektronia ja niiden spinkvanttilukujen on oltava vastakkaiset (Zumdahl, 1993, 302). Jaksollisessa järjestelmässä spinkvanttiluku määrittää s-lohkon leveydeksi 2, p-lohkon leveydeksi 6, d-lohkon leveydeksi 10 ja f-lohkon leveydeksi 14 alkuainetta (Yin & Ochs, 2001).

TAULUKKO 9. Sivukvanttilukujen yhteys nykyisen jaksollisen järjestelmän rakenteeseen (Mabrouk, 2003, 895). L=lantanoidit ja A=aktinoidit.

1																	1s	
2	2s	2s											2p	2p	2p	2p	2p	2p
3	3s	3s											3p	3p	3p	3p	3p	3p
4	4s	4s	3d	3d	3d	3d	3d	3d	3d	3d	3d	3d	4p	4p	4p	4p	4p	4p
5	5s	5s	4d	4d	4d	4d	4d	4d	4d	4d	4d	4d	5p	5p	5p	5p	5p	5p
6	6s	6s	5d L	5d	5d	5d	5d	5d	5d	5d	5d	5d	6p	6p	6p	6p	6p	6p
7	7s	7s	6d A	6d	6d	6d	6d	6d	6d	6d	6d	6d	7p	7p	7p	7p	7p	7p

6	5d L	4f	4f	4f	4f	4f	4f	4f	4f	4f	4f	4f	4f	4f	4f
7	6d A	5f	5f	5f	5f	5f	5f	5f	5f	5f	5f	5f	5f	5f	5f

Wolfgang Paulin (1900-1958) v.1925 laatiman säännön mukaan tietyn atomin jokaisella elektronilla on oltava erilainen neljän kvanttiluvun yhdistelmä (Zumdahl, 1993, 302). Atomin kvanttimekaaninen malli laadittiin perustilassa olevalle vetyatomille, mutta se kuvaa myös monimutkaisempien atomien rakennetta, koska kaikilla atomeilla oletetaan olevan samankaltaiset orbitaalit kuin vetyatomilla. (Zumdahl, 1993, 307). Schrödingerin aaltofunktion avulla luotu käsitys atomin elektronirakenteesta vahvisti Mendelejevin näkemystä alkuaineiden jaksollisesta järjestelmästä ja pystyi selittämään jaksollisen järjestelmän rakenteen yksityiskohtaisemmin kuin koskaan aikaisemmin. Kun atomin ytimeen tulee yksi protoni lisää siirryttäessä jaksollisessa järjestelmässä alkuaineesta toiseen, myös yksi elektroni lisätään atomiorbitaalille. Atomiorbitaalit täyttyvät KUVION 2 mukaisessa järjestyksessä.

2.1.6 Uraania raskaammat alkuaineet ja Seaborgin jaksollinen järjestelmä

Esimerkiksi Thompsonin, Rutherfordin, Bohrin, Moseleyn, Heisenbergin sekä Schrödingerin työ atomin rakenteen selvittämiseksi mahdollistivat 1930-luvulla 88 alkuaineen jaksolliselle järjestelmälle TAULUKON 10 mukaisen rakenteen (Seaborg, 1985b, 463). Tutkijoita kuitenkin tyrmistytti neljän uraania kevyemmän alkuaineen puuttuminen, joten he keksivät näille epäaidot nimet (masurium, illinium, alabamiini, virginium) ja ennustivat mahdolliset ominaisuudet. Todelliset alkuaineet (teknetium 43, prometium 61, astatiini 85, frankium 87) aukkoja täyttämään pystyttiin valmistamaan vasta sitten, kun kemistit oppivat ymmärtämään radioaktiivisen hajoamisen lakeja. (Seaborg, 1983, 29)

Lantanoidien eli sisäsiirtymäalkuaineiden erottamisen omaksi ryhmäkseen muun järjestelmän alapuolelle sai aikaan Niels Bohrin huomio alkuaineiden 57-71 vertikaalisesta samankaltaisuudesta muussa osassa jaksollista järjestelmää esiintyvän horisontaalisen samankaltaisuuden sijaan (Seaborg, 1985b, 463). Tämä selittyy sillä, että lantanoideilla täyttyy $4f$ -orbitaali eikä atomin uloin energiakuori muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta. Lantanoideja voidaan kutsua myös f -lohkon alkuaineiksi.

TAULUKKO 10. Jaksollisen järjestelmän rakenne 1930-luvulla (Seaborg, 1983, 30).

1 H	= vielä löytymättömät alkuaineet																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	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 La-Lu*	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	86 Rn
87	88 Ra	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104

*lantanoidit	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
--------------	----------	----------	----------	----------	----	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

Ennen 1930-lukua tutkijat ymmärsivät vain osittain radioaktiivisuuden lakeja: luonnossa oli tarjolla tutkittavaksi ainoastaan uraania. Becquerel keksi v.1896 röntgensäteilyä muistuttavan luonnon radioaktiivisuuden eli spontaanin radioaktiivisuuden tutkiessaan uraanimalmia (Engels & Nowak, 1992, 230). Joliot-Curien tutkijajärjestö taas keksi v.1930 keinotekoisen radioaktiivisuuden pommittaessaan alumiiniatomien ytimiä α -hiukkasilla. Raskaampia alkuaineita kuin uraani-92 ei näyttänyt löytyvän luonnosta, mutta tutkijoilla ei ollut mitään syytä olettaa, että jaksollinen järjestelmä päättyisi uraaniin. Arveltiin, että tietämys keinotekoisesta radioaktiivisuudesta ja neutroneista mahdollistaisi uraania raskaampien alkuaineiden valmistamisen. (Engels & Nowak, 1992, 244-245)

Oletettiin, että alkuaine 93 (eka-renium) muistuttaisi jaksollisuuden lain perusteella ominaisuuksiltaan saman ryhmän kevyempää alkuainetta 75 (Re) ja alkuaine 94 (eka-osmium) alkuainetta 76 (Os) (Seaborg 1983, 30). Näitä alkuaineita tutkijat eivät kuitenkaan olleet löytäneet luonnosta. Italialainen fyysikko Fermi päätteli jaksollisen järjestelmän perusteella, että käsittelemällä jotenkin uraaniatomeja hän pystyisi valmistamaan alkuaineita 93 ja 94. Fermi pommitti v.1934 uraaniatomien ytimiä neutroneilla saaden aikaan useita uraani-238-isotooppeja, jotka olivat radioaktiivisia. Hän uskoi yhden isotoopista olevan ensimmäinen uraanin jälkeinen alkuaine 93, mutta erehtyi. Muodostuneet alkuaineet olivat kaikki uraania kevyempiä fissiotuotteita. Fermin tavoin myös saksalaiset tutkijat Hahn, Meitner ja Strassmann olivat varmoja, että uraani-239:n β -säteily aikaansaa alkuainetta 93. Sen valmistaminen onnistui vasta v.1940 fyysikko McMillanin hyvin voimakkaan neutronilähteen ansiosta. Uusi alkuaine sai nimen neptunium (Np) ja sen ominaisuuksien huomattiin muistuttavan reniumin sijaan uraanin ominaisuuksia. (Seaborg, 1985b, 464)

Seaborg (1912-) jatkoi McMillanin alkuainetutkimuksia ja v.1941 hän ilmoitti tutkimusryhmänsä valmistaneen alkuainetta 94, plutoniumia (Pu). Tämänkin uuden alkuaineen ominaisuudet muistuttivat enemmän uraania kuin saman ryhmän osmiumia. (Seaborg, 1989, 381) Kun toiset kemistit huomasivat yhteyden lantanoidiryhmän ja transuraanialkuaineiden välillä, ehdotettiin, että 14:lla seuraavalla transuraanialkuaineella täyttyisi 5f-elektroniorbitaali - kuten lantanoideilla 4f-orbitaali - ja ne muodostaisivat uranoidisarjan (TAULUKKO 11). (Seaborg, 1983, 31)

TAULUKKO 11. Jaksollinen järjestelmä v.1944 (Seaborg, 1983, 31).

1 H	= vielä löytymättömät alkuaineet																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 Ac	90 Th	91 Pa	92-106 +												

+ uranoidit

92 U	93 Np	94 Pu	95	→	106
---------	----------	----------	----	---	-----

*lantanoidit

57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
----------	----------	----------	----------	----	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

Tutkijat päättelivät, että alkuaineet 95-106 muistuttaisivat ominaisuuksiltaan muita uranoidisarjan alkuaineita, samoin kuin lantanoidisarjan alkuaineet muistuttavat toisiaan. Uusien alkuaineiden eristäminen näiden oletettujen ominaisuuksien, erityisesti tyypillisimmän hapetusasteen avulla epäonnistui. (Engels & Nowak, 1992,254) Tämän tuloksen perusteella Seaborg esitti v.1944 hypoteesin, että kaikki aktinoidia raskaammat alkuaineet on sijoitettu jaksollisessa järjestelmässä väärään paikkaan. Uranoidisarjan sijaan hän esitti muodostettavaksi aktinoidisarjaa, joka olisi analoginen lantanoidisarjan kanssa. Seaborgin hypoteesin perusteella alkuaineiden 95 ja 96 ominaisuuksien tulisi muistuttaa alkuaineiden 63 ja 64 eli europiumin (Eu) ja gadoliniumin (Gd) ominaisuuksia. Tämä hypoteesi piti paikkansa ja uudet alkuaineet curium (Cu) ja amerikum (Am) löydettiin jo samana vuonna. (Seaborg, 1983, 31)

Seaborgin aktinoidisarja liitettiin pysyvästi jaksolliseen järjestelmään lantanoidisarjan alapuolelle TAULUKON 12 osoittamalla tavalla. Seaborg sai tästä merkittävästä keksinnöstään kemian Nobelin palkinnon v.1951.

TAULUKKO 12. Seaborgin jaksollinen järjestelmä v.1945 (Seaborg, 1983, 32).

1 H	= vielä löytymättömät alkuaineet																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 **															

*lantanoidit	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
--------------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

**aktinoidit	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
--------------	----------	----------	----------	---------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	-----------	-----------	-----------	-----------

2.1.7 Ryhmien numeroinnin historiaa

Jaksollisen järjestelmän ryhmien numerointi on muuttunut jaksollisen järjestelmän kehityksen myötä. Mendelejev ei erotellut ryhmiä toisistaan numeroin eikä kirjaimin v.1869 jaksollisessa järjestelmässään (TAULUKKO 7), mutta myöhemmin vuosina hän kehitti jaksollista järjestelmänsä sekä ryhmänumerointia huomattavasti. Mendelejevin ensimmäinen numerointiyritys vastasi Newlandsin oktaavilakitaulukkoa. Hän jätti ensimmäisen ryhmän numeroimatta, koska se sisälsi vain muista alkuaineista poikkeavan vedyn, mutta numeroi muut ryhmät roomalaisin numeroin I-VII (TAULUKKO 8). Mendelejev huomasi kuitenkin, että kahden ensimmäisen jakson jälkeen vuorottelevien jaksojen alkuaineiden ominaisuuksissa oli ryhmän sisäisiä eroja. Tästä syystä Mendelejev kehitti numerointia siten, että jakoi jokaisen ryhmän kahteen alaryhmään *a* ja *b* kolmannesta jaksosta eteenpäin. Näin hän sai joka toisen jakson aineet allekkain järjestelmässään. Lisäksi hän lisäsi järjestelmään ryhmän VIII, vaikkei jalokaasuja vielä tunnettu. Tämä ryhmä sisälsi alkuainekolmikot Fe-Co-Ni, Ru-Rh-Pd ja Os-Ir-Pt eli rauta- ja platinaryhmät. (Fernelius et al., 1971, 594)

Mendelejevin ryhmänumeroiden I – VII huomattiin vastaavan alkuaineiden korkeinta mahdollista hapetusastetta. Ensimmäisten jalokaasujen löydyttyä v.1894 Ramsay ja Rayleigh osoittivat, etteivät ne ole kemiallisesti aktiivisia eli niiden hapetusasteen on oltava nolla. Jalokaasujen ryhmä 0 liitettiin Mendelejevin jaksolliseen järjestelmään. (Herrenden-Harker, 1997, 104)

Bohrin v.1913 kehittämä vedyn atomimalli johti tutkijat lopulta ymmärtämään atomien elektronirakennetta ja huomaamaan, että ryhmien numerot vastasivat atomien uloimman kuoren elektronilukumäärää (KUVIO 4). Huomattiin, että jalokaasuatomien uloin kuori ei ollutkaan tyhjä vaan täynnä sisältäen muilla kahdeksan ja heliumilla (He) kaksi elektronia. Tästä syystä ryhmän numero 0 muutettiin numeroksi 8. (Herrenden-Harker, 1997, 105)

Mendelejevin ryhmänumerot	ulkokuoren elektronit
1	s^1
2	s^2
3	s^2p^1
4	s^2p^2
5	s^2p^3
6	s^2p^4
7	s^2p^5
0	s^2p^6

KUVIO 4. Mendelejevin ryhmänumerot ja atomien ulkoelektronit (Herrenden-Harker, 1997, 105).

Bohr kehitti ensimmäisenä pitkän mallin jaksolliselle järjestelmälle, ja siitä tuli jopa Mendelejevin lyhyttä versioita suosituimpi ainakin Amerikassa (Fernelius et al., 1971, 594). Amerikkalainen Demming julkaisi kemian perusoppikirjassaan v.1923 ehkä ensimmäisen yleistyneen muodon jaksollisesta järjestelmästä. Siinä Bohrin luomaan pitkään jaksolliseen järjestelmään oli laadittu numero-kirjainyhdistelmät siten, että pääryhmät saivat numeroinnin 1A-8A ja sivuryhmät numeroinnin 1B-7B seuraavasti: 1A 2A 3B 4B 5B 6B 7B 8 1B 2B 3A 4A 5A 6A 7A 8A. (Fernelius et al., 1971, 594)

Amerikassa oli pitkän virallisena ryhmien numerointitapana American ABA System (TAULUKKO 13). Siinä ryhmät on jaettu päälohkoon A ja siirtymälohkoon B, lähes yhdenmukaisesti Demmingin ehdotuksen kanssa. Numerointikäytäntö Euroopassa oli toisenlainen (TAULUKKO 13). Original European AB-Labeling System sekoittaa pää-

ja sivuryhmät merkiten kahdeksaa ensimmäistä ryhmää kirjaimella A ja loppuja kirjaimella B. Sekä ABA- että AB-systeemin heikkoutena on sinkkiryhmän liittäminen erheellisesti joko p-lohkoon tai siirtymäalkuaineisiin. (Jensen, 2003, 959)

Selkeitä, mutta vähemmän käytettyjä numerointitapoja ovat Sandersonin (TAULUKKO 26) ja Day & Selbenin (TAULUKKO 13) ehdotukset. Niissä pääryhmät merkitään M1-M8 tai R1-R8 ja sivuryhmät T3-T11. Kiistanalainen sinkkiryhmä on numeroitu rinnakkaiseksi pääryhmän 2 eli maa-alkalimetallien kanssa merkinnällä M'2 tai R'2. (Sanderson, 1964, 188; Jensen, 2003, 959)

TAULUKKO 13. Jaksollisen järjestelmän ryhmien erilaisia numerointitapoja (perustana Jensen, 2003, 953).

IUPAC	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
American ABA	1A	2A	3B	4B	5B	6B	7B		8B		1B	2B	3A	4A	5A	6A	7A	8A
European AB	1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A		8A		1B	2B	3B	4B	5B	6B	7B	8B
Day & Selbin	R1	R2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	R2'	R3	R4	R5	R6	R7	R8

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	**	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg							

ei numerointia

*	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
**	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

2.2 Jaksollisen järjestelmän nykytilanne

Tässä luvussa perehdytään sekä virallisesti hyväksyttyyn IUPAC:in jaksolliseen järjestelmään että sen vaihtoehtoihin muotoihin, koska jaksollisen järjestelmän käyttötarkoituksesta riippuu, minkälainen muoto on käyttökelpoisin. Jaksollista järjestelmää voidaan käyttää tutkimuksen tai opetuksen apuna ja siitä voidaan etsiä tietoa alkuaineiden keskinäisistä yhdenmukaisuuksista tai alkuaineiden atomien kvanttimekaanisesta rakenteesta. Käyttötarkoituksesta riippuen jaksollinen järjestelmä

saattaa sisältää vain oleelliset tiedot tai siihen on sisällytetty paljon erilaista tietoa, kuten esimerkiksi alkuaineatomien kaikki tunnetut hapetusasteet.

Kemistien käyttämä jaksollinen järjestelmä ei ehkä olekaan opetukseen parhaiten soveltuva. Vastaavasti perusopetuksessa annetaan vain perusteet jaksollisen järjestelmän sisällöstä ja käytöstä, lukiossa taas tietämystä syvennetään. Tällöin perusopetuksessa parhaiten toimiva jaksollisen järjestelmän malli saattaa olla hyvinkin erilainen ja pelkistetympi kuin lukio-opetuksessa käytettävä, kvanttimekaniikkaan perustuva malli.

Fernelius (1986, 286) toteaa artikkelissaan, että on virhe valita jaksolliselle järjestelmälle yhtä parasta tai virallista muotoa. Jaksollisen järjestelmän käyttäjän olisi sen sijaan syytä tuntea sen useita eri muotoja, ja käyttää niitä joustavasti tilanteen mukaan. Opetustyössä taas usean erilaisen jaksollisen järjestelmän käytön uskotaan vaikuttavan oppilaiden ajatteluun sekä parantavan opetusta (Moore, 2003, 847).

2.2.1 Virallisesti hyväksytty jaksollinen järjestelmä

Nykyinen IUPAC:in (the International Union of Pure and Applied Chemistry) hyväksymä jaksollinen järjestelmä (TAULUKKO 14) on kaksiulotteinen taulukko, joka sisältää 111 nimettyä alkuainetta.

IUPAC:in jaksollinen järjestelmä on jaettu ryhmiin eli pystyriveihin 1-18, joista ryhmiä 1, 2 ja 13-18 kutsutaan pääryhmiksi ja ryhmiä 3-12 sivuryhmiksi. Tyypilliset alkuaineet kuuluvat pääryhmiin ja siirtymäalkuaineet sivuryhmiin. Jaksollinen järjestelmä on jaettu myös seitsemään vaakariviin eli jaksoon (orbitaalit s , d ja p). Pääryhmän alkuaineilla täyttyvät s - ja p -orbitaalit, sivuryhmien alkuaineilla taas sisempi d -orbitaali on vajaa. Ryhmän 12 alkuaineet Zn, Cd ja Hg kuuluvat sivuryhmään, mutta eivät ole siirtymäalkuaineita, koska niiden d -kuori on täynnä. Jaksollisesta järjestelmästä on otettu erikseen lantanoidisarja ($4f$ -orbitaali) ja aktinoidisarja ($5f$ -orbitaali). Jokainen alkuaine sijoittuu omaan soluunsa, johon on merkitty alkuaineen kemiallinen merkki, koko nimi sekä suhteellinen atomimassa (atomipaino). (WEB-facta)

TAULUKKO 14. Nykyinen jaksollinen järjestelmä v.2005 (http://www.iupac.org/reports/periodic_table/).

IUPAC Periodic Table of the Elements

1	2	Key: atomic number Symbol name standard atomic weight														18	
1 H hydrogen 1.007 94(7)	2 He helium 4.002 602(2)															10	
3 Li lithium 6.94(2)	4 Be beryllium 9.012 2(3)															17	
11 Na sodium 22.989 77(2)	12 Mg magnesium 24.305(6)															18	
19 K potassium 39.0983(1)	20 Ca calcium 40.078(4)	21 Sc scandium 44.955 91(2)	22 Ti titanium 47.867(1)	23 V vanadium 50.941 5(1)	24 Cr chromium 51.996 1(6)	25 Mn manganese 54.938 04(5)	26 Fe iron 55.845(2)	27 Co cobalt 58.933 200(5)	28 Ni nickel 58.693 4(2)	29 Cu copper 63.546(3)	30 Zn zinc 65.409(4)	31 Ga gallium 69.723(1)	32 Ge germanium 72.64(1)	33 As arsenic 74.921 60(2)	34 Se selenium 78.96(3)	35 Br bromine 79.904(1)	36 Kr krypton 83.798(2)
37 Rb rubidium 85.4678(3)	38 Sr strontium 87.62(1)	39 Y yttrium 88.905 85(2)	40 Zr zirconium 91.224(2)	41 Nb niobium 92.906 38(2)	42 Mo molybdenum 95.94(2)	43 Tc technetium [98]	44 Ru ruthenium 90.07(2)	45 Rh rhodium 101.07(2)	46 Pd palladium 106.42(1)	47 Ag silver 107.8682(2)	48 Cd cadmium 112.411(8)	49 In indium 114.818(3)	50 Sn tin 118.710(7)	51 Sb antimony 121.760(1)	52 Te tellurium 127.46(3)	53 I iodine 126.904 47(3)	54 Xe xenon 131.293(6)
55 Cs caesium 132.905 45(2)	56 Ba barium 137.327(7)	lanthanoids														85 At astatine [210]	86 Rn radon [222]
87 Fr francium [223]	88 Ra radium [226]	89-103 actinoids	104 Rf rutherfordium [261]	105 Db dubnium [262]	106 Sg seaborgium [266]	107 Bh bohrium [264]	108 Hs hassium [277]	109 Mt meitnerium [268]	110 Ds darmstadtium [271]	111 Rg roentgenium [272]							

57 La lanthanum 138.905(5)	58 Ce cerium 140.127(1)	59 Pr praseodymium 140.907 4(2)	60 Nd neodymium 144.24(3)	61 Pm promethium [145]	62 Sm samarium 150.36(3)	63 Eu europium 151.964(1)	64 Gd gadolinium 157.25(3)	65 Tb terbium 158.925 34(2)	66 Dy dysprosium 162.500(1)	67 Ho holmium 164.930 32(2)	68 Er erbium 167.259(3)	69 Tm thulium 168.934 2(2)	70 Yb ytterbium 173.04(3)	71 Lu lutetium 174.967(1)
-------------------------------------	----------------------------------	--	------------------------------------	---------------------------------	-----------------------------------	------------------------------------	-------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	----------------------------------	-------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------

89 Ac actinium [227]	90 Th thorium 232.0381(1)	91 Pa protactinium 231.036 882(2)	92 U uranium 238.028 91(3)	93 Np neptunium [237]	94 Pu plutonium [244]	95 Am americium [243]	96 Cm curium [247]	97 Bk berkelium [247]	98 Cf californium [251]	99 Es einsteinium [252]	100 Fm fermium [257]	101 Md mendelevium [258]	102 No nobelium [259]	103 Lr lawrencium [262]
-------------------------------	------------------------------------	--	-------------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	-----------------------------	--------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------	----------------------------------



- Notes
- "Aluminum" and "cesium" are commonly used alternative spellings for "aluminium" and "caesium".
 - IUPAC 2001 standard atomic weights (mean relative atomic masses) are listed with uncertainties in the last figure in parentheses (R. D. Loss, Pure Appl. Chem. 75, 1107-1122 (2003)). These values correspond to current best knowledge of the elements in natural terrestrial sources. For elements that have no stable or long-lived nuclides, the mass number of the nuclide with the longest confirmed half-life is listed between square brackets.
 - Elements with atomic numbers 112 and above have been reported but not fully authenticated.

Copyright © 2005 IUPAC, the International Union of Pure and Applied Chemistry. For updates to this table, see http://www.iupac.org/reports/periodic_table/. This version is dated 14 January 2005.

2.2.2 Jaksollisen järjestelmän pituus ja graafinen muoto

Jaksolliset järjestelmät voidaan jakaa pituutensa perusteella lyhyisiin, keskikokoisiin ja pitkiin. Graafiselta muodoltaan jaksollinen järjestelmä voi olla esimerkiksi kaksi- tai kolmiulotteinen taulukko, siksakviiva, spiraali, silmukkaspiraali, ympyrärakenne, pyramidi, kierre tai silmukkakierre. (Mazurs, 1974, 14-15)

Lyhyet jaksolliset järjestelmät mukailevat oktaavilakia, joten taulukossa pystyrivejä on ainoastaan kahdeksan ja kolmiulotteisessa kierteessä kaikki renkaat ovat samankokoisia sisältäen jokainen kahdeksan alkuainetta. Tällaiset järjestelmät ovat muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta nykyään käyttökelvottomia. Poikkeuksia ovat lyhyet jaksolliset järjestelmät, joissa pää- ja sivuryhmien alkuaineet on eroteltu ryhmiksi *a* ja *b* tai *a*, *b* ja *c*. Mazursin (1974) mielestä parhaat esimerkit tällaisista jaksollisista järjestelmistä ovat Arnoldsin v.1885 ja Murashovin v.1949 keksimät rakenteet. Jensen (2003) esittää artikkelissaan Arnoldsin taulukkoa vastaavan rakenteen, joka mielestäni havainnollistaa paremmin ryhmäjakoa *a* ja *b* (TAULUKKO 15). Murashovin v.1949 kehittämä rakenne (TAULUKKO 16) taas jakaa alkuaineet alaryhmiin *a*, *b* ja *c* sen mukaan, mikä alikuori (*s*, *p*, *d*, *f*) alkuaineella on täyttymässä. Pääryhmien I-VIII alkuaineilla on ryhmänumeronsa mukainen elektronimäärä uloimmalla kuorellaan, poikkeuksena lantanoidit. Murashovin taulukkoon on merkittynä kuoret, alikuoret ja elektronit ja siksi sitä voidaan käyttää myös elektronikonfiguraatiotaulukkona. (Mazurs, 1974, 44).

TAULUKKO 15. Taulukkomuotoinen lyhyt jaksollinen järjestelmä, jossa alaryhmät *a* ja *b*, muttei sisäsiirtymäalkuaineita (perustana Jensen, 2003, 953).

=vielä nimeämättömät alkuaineet

	I		II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
	H		Be	B	C	N	O	F	He	
	Li		Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ne	
	Na		Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co Ni
A	K									
B	Cu		Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
A	Rb		Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh Pd
B	Ag		Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
A	Cs		Ba	* La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir Pt
B	Au		Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
A	Fr		Ra	**Ac	Rf	Ha	Sg	Ns	Mt	Ds Rg
B	112		113	114	115	116				

TAULUKKO 16. Taulukkomuotoinen lyhyt jaksollinen järjestelmä, jossa alaryhmät *a*, *b* ja *c* sekä sisäsiirtymäalkuaineet. Rakenteen keksi Murashov v.1949. (perustana Mazurs, 1974, 45)

Groups :		I	II	III			IV			V			VI			VII			VIII			t r a n s i t i o n									
Periods.	Shells	a	a	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	b	c	b	c	b	c	c	c	c	c
1.	1.	H	He																												
2.	2.	Li	Be	B			C			N			O			F			Ne												
3.	3.	Na	Mg	Al			Si			P			S			Cl			Ar												
4.	4.	K	Ca	3.Sc			Ti			V			Cr			Mn			Fe			Co	Ni	Cu	Zn						
			4.Ga				Ge			As			Se			Br			Kr												
5.	5.	Rb	Sr	4.Y			Zr			Nb			Mo			Tc			Ru			Rh	Pd	Ag	Cd						
			5.In				Sn			Sb			Te			I			Xe												
6.	6.	Cs	Ba	4.La			Ce			Pr			Nd			Pm			Sm			Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb		
			5.Lu				Hf			Ta			W			Re			Os			Ir	Pt	Au	Hg						
			6.Tl				Pb			Bi			Po			At			Rn												
7.	7.	Fr	Ra	5.Ac			Th			Pa			U			Np			Pu			Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No		
			6.Lr				Rf			Db			Sg			Bh			Hs			Mt	Ds	Rg	112						
			7.113				114			115			116			117			118												
Subshells and electrons:		s ¹	s ²	p ¹			p ²			p ³			p ⁴			p ⁵			p ⁶			d ⁶	d ⁷	d ⁸	d ⁹	d ¹⁰	f ¹⁰	f ¹¹	f ¹²	f ¹³	f ¹⁴

Keskikokoisissa jaksollisissa järjestelmissä on joko 16 ryhmää tai niissä on havaittavissa jaksojako 2, 8, 18. Oktaavilakiin perustuvia lyhyitä jaksollisia järjestelmiä muistuttavat 16-ryhmäiset keskikokoiset jaksolliset järjestelmät ovat enimmäkseen käyttökelvottomia, koska samankaltaiset alkuaineet eivät niissä sijoitu samoihin ryhmiin. Kelvollisimmat keskikokoiset jaksolliset järjestelmät muistuttavat rakenteeltaan pitkiä jaksollisia järjestelmiä, joskin niiden rakenteesta puuttuvat sisäsiirtymäalkuaineet eli lantanoidit ja aktinoidit. (Mazurs, 1974, 46)

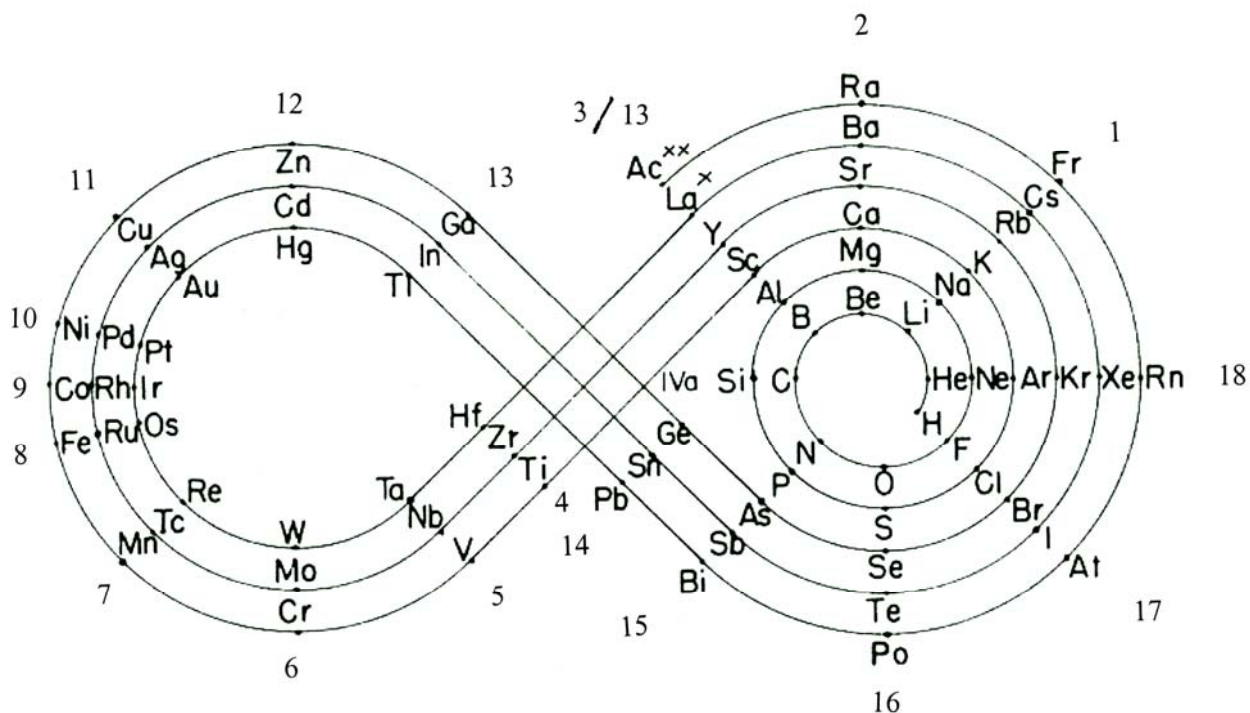
Hyviä esimerkkejä keskikokoisista jaksollisista järjestelmistä ovat Carnelleyn v.1886 (TAULUKKO 17) ja Kippin v.1942 (TAULUKKO 18) kehittämät rakenteet (Mazurs, 1974, 56, 59). Carnelleyn taulukossa on nähtävissä jaksopituuksien 2 (*s*), 8 (*s*, *p*), ja 18 (*s*, *p*, *d*) mukainen jako. Pääryhmät on merkitty kirjaimella *a*, sivuryhmät taas kirjaimella *b*. Kippin järjestelmä on poikkeavan näköinen taulukkoon tottuneelle. Se on spiraali, jonka oikeasta silmukasta löytyvät pääryhmän, vasemmasta sivuryhmän alkuaineet. Kaksiulotteinen spiraali on kolmiulotteista kierrettä helppolukuisempi.

TAULUKKO 17. Taulukkomuotoinen keskikokoinen jaksollinen järjestelmä, jossa jako jaksopituuksien 2, 8, 18 mukaan. Rakenteen keksi Carnelley v.1886. (perustana Mazurs, 1974, 59)

■ = vielä nimeämättömät alkuaineet

jaksot	1.	H He	
	2.	Li Be B C N O F Ne	
	3.	Na Mg Al Si P S Cl Ar	
	4.		
	5.	K Ca Sc Ti V Cr Mn Fe Co Ni Cu Zn Ga Ge As Se Br Kr	
	6.	Rb Sr Y Zr Nb Mo Tc Ru Rh Pd Ag Cd In Sn Sb Te I Xe	
	7.	Cs Ba La* Hf Ta W Re Os Ir Pt Au Hg Tl Pb Bi Po At Rn	
	8.	Fr Ra Ac* Rf Db Sg Bh Hs Mt Ds Rg ■ ■ ■ ■ ■	
ryhmät:		1 a 2 a 3 b 4 b 5 b 6 b 7 b 8 b 1 b 2 b 3 a 4 a 5 a 6 a 7 a 8 a	
lohkot:		alkali-metallit siirtymäalkuaineet epämetallit	

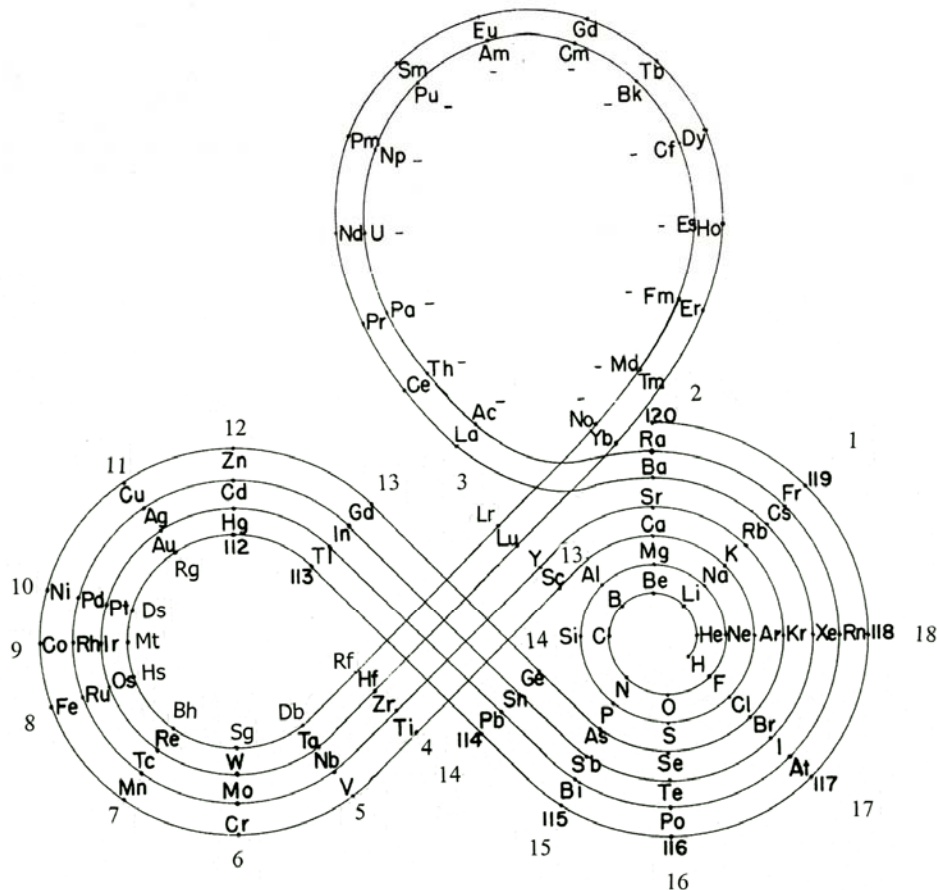
TAULUKKO 18. Spiraalisilmukan muotoinen keskikokoinen jaksollinen järjestelmä. Spiraalissa tyypilliset ja silmukassa siirtymäalkuaineet. Rakenteen keksi Kipp v.1942. (perustana Mazurs, 1974, 56)



Mazurs (1974, 136) painottaa, että ainoastaan jaksollisia järjestelmiä, joiden rakenteeseen sisältyvät erikseen tyypilliset alkuaineet (*s*, *p*), siirtymäalkuaineet (*d*) sekä sisemmät siirtymäalkuaineet (*f*) eli lantanoidit ja aktinoidit, voidaan pitää kaikkein parhaimpina. Tällaisia kutsutaan pitkeksi jaksollisiksi järjestelmiksi. Pitkät jaksolliset järjestelmät voivat esittää alkuaineiden järjestyslukujen ja ominaisuuksien mukaista jaksottaista ryhmittelyä, atomirakenteen mukaisia kuoria ja alikuoria eli orbitaaleja tai elektronikonfiguraatioita, jopa kaikkia kolmea.

Janetin v.1928 kehittämä pitkä jaksollinen järjestelmä (TAULUKKO 19) on alkuaineiden järjestyslukujen mukainen. Se on analoginen Kippin keksikokoisen jaksollisen järjestelmän kanssa (TAULUKKO 18), mutta Janet on lisännyt rakenteeseen sisäsiirtymäalkuainesilmukan. Toinen Janetin v.1927 kehittämä rakenne (TAULUKKO 20) kuvaa sekä alkuaineiden jaksollisuutta että niiden atomien elektronikonfiguraatioita. Ryhmät on sijoitettu taulukkoon siten, että atomiorbitaalit ovat selkeästi alenevassa järjestyksessä vasemmalta oikealle: *f*, *d*, *p*, *s*. (Mazurs, 1974, 80, 93)

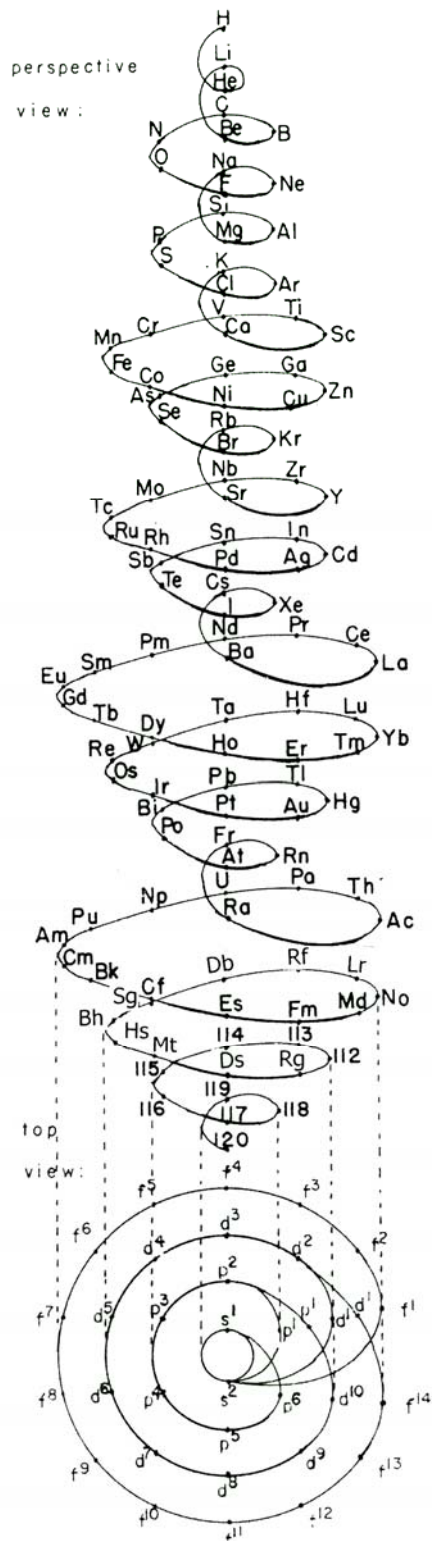
TAULUKKO 19. Silmukkaspiraalin muotoinen pitkä jaksollinen järjestelmä. Rakenteen keksi Janet v.1928. (perustana Mazurs, 1974, 80)



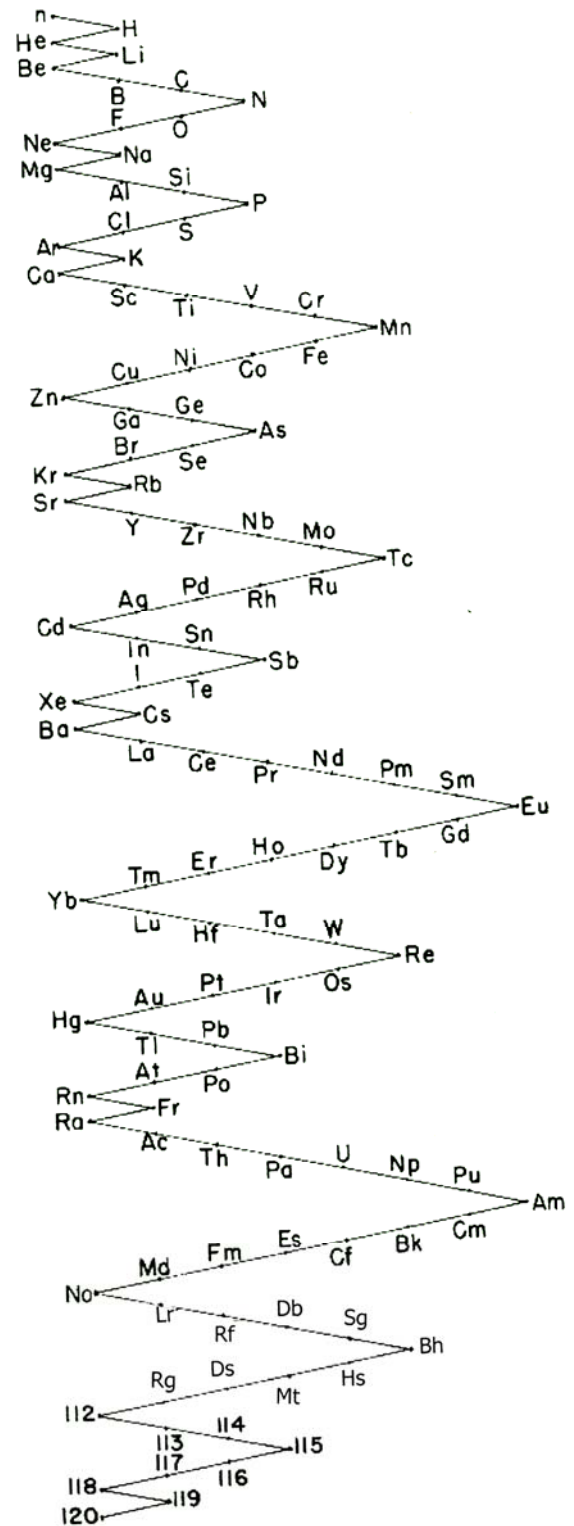
TAULUKKO 20. Taulukkomuotoinen pitkä jaksollinen järjestelmä, jossa yhdistetty alkuaineiden jaksollisuus sekä atomien elektronikonfiguraatiot. Rakenteen keksi Janet v.1927. (perustana Mazurs, 1974, 93)

Lohkot	sisäsiirtymäalkuaineet														siirtymäalkuaineet										pääryhmät																
Ryhvät															3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	1	2									
																																	H	He							
																																	Li	Be							
																																	B	C	N	O	F		Ne	Na	Mg
																																	Al	Si	P	S		Cl	Ar	K	Ca
															Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	K	Cs								
															Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Ba										
	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra									
	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	112	113	114	115	116													
Alikuoret ja elektronit	f ¹	f ²	f ³	f ⁴	f ⁵	f ⁶	f ⁷	f ⁸	f ⁹	f ¹⁰	f ¹¹	f ¹²	f ¹³	f ¹⁴	d ¹	d ²	d ³	d ⁴	d ⁵	d ⁶	d ⁷	d ⁸	d ⁹	d ¹⁰	p ¹	p ²	p ³	p ⁴	p ⁵	p ⁶	s ¹	s ²									

TAULUKKO 22. Kierteen muotoinen pitkä jaksollinen järjestelmä, rakenteen keksi Schaltenbrand v.1920. (perustana Mazurs, 1974, 109)



TAULUKKO 23. Siksakviivan muotoinen pitkä jaksollinen järjestelmä, joka kuvaa alikuorien täyttymistä ja erityisesti saman orbitaalin elektronien eri kiertosuuntia eli spinejä. Rakenteen keksivät Douglas & Clark v.1931. (perustana Mazurs, 1974, 118)



Alkuaineiden atomien elektronikonfiguraatioita esittävän kierteen rakenteen kehitti Schaltenbrand v.1920 (TAULUKKO 22). Kolmiulotteinen kierre ei ehkä ole paras mahdollinen pitkä jaksollinen järjestelmä yleiseen käyttöön, mutta se havainnollistaa jaksollisuutta selkeästi erikokoisilla silmukoillaan (2, 6, 10 tai 14 alkuainetta). (Mazurs, 1974, 109)

Yksi erikoisimmista pitkistä jaksollisista järjestelmistä on orbitaalien täyttymistä kuvaava siksakviiva, jonka keksivät Douglas & Clark v.1931 (TAULUKKO 23). Siinä jokaisen alikuoren (s, p, d, f) täytyminen on kuvattu ensin oikealle ja sitten vasemmalle etenevänä viivana. Oikea osa viivasta esittää alkuaineita, joiden täyttyvillä alikuorilla on vain yhdet elektronit, joilla on tietty pyörimissuunta, spin. Vasen osa viivasta esittää alkuaineet, joiden alikuoret täyttyvät vastakkaisen spinin omaavista elektroneista. (Mazurs, 1974, 117) Tämä jaksollinen järjestelmä ei ehkä toimi itsenäisenä, mutta esimerkiksi jonkin elektronikonfiguraatiotaulukon rinnalla se havainnollistaa spinkvanttiluvun käsitettä.

2.2.3 Jaksollisen järjestelmän sisältö ja ryhmien nimet

Jaksollinen järjestelmä saattaa käyttötarkoituksesta ja muodosta riippuen sisältää joko kaikki tunnetut alkuaineet, kaikki alkuaineet lantanoiden ja aktinoiden lukuun ottamatta tai pelkästään pääryhmien alkuaineet.

Alkuaineesta voidaan antaa jaksollisessa järjestelmässä seuraavanlaisia tietoja: kemiallinen merkki, kemiallinen nimi, järjestysluku, suhteellinen atomimassa joko eri isotooppien painotettuna keskiarvona tai yleisimmän isotoopin mukaan, olomuoto, radioaktiivisuus, atomisäde tai atomin koko, atomin erilaiset hapetusasteet, elektronikonfiguraatio, metallisuus (metalli, puolimetalli, epämetalli). Joissakin perus- ja lukio-opetuksen käyttöön tarkoitetuissa jaksollisissa järjestelmissä on jopa valokuva tai piirros jokaisesta alkuaineesta, joko säilytysastiansa tai tutun esineen muodossa (esim. Grunwald & Scharf, 1992) (TAULUKKO 24).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	VIII	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

IUPAC suosittelee alkuaineen kemiallisen merkin, järjestysluvun ja massaluvun sekä mahdollisen ionivarauksen esittämiseen seuraavaa merkintätapaa:

<i>massaluku</i>	<i>ionivaraus</i>
<i>kemiallinen merkki</i>	
<i>järjestysluku</i>	

IUPAC:in laatima jaksollinen järjestelmä (TAULUKKO 14) ei kuitenkaan noudata tätä käytäntöä eikä moni kemian oppikirjankaan järjestelmä.

Jaksollisen järjestelmän ryhmien numerointi on vaihdellut jaksollisen järjestelmän historian aikana. IUPAC suosittelee vasemmalta oikealle juoksevaa numerointia 1-18, missä pääryhmät eivät erotu sivuryhmistä. Pääryhmien alkuaineista (*Main Group elements*), jalokaasuja lukuun ottamatta, jaksojen 2 ja 3 alkuaineita kutsutaan tyypillisiksi alkuaineiksi (*typical elements*). Pääryhmille (1, 2, 13, 14, 15, 16, 17, 18) on annettu seuraavat suositeltavat suomenkieliset ja englanninkieliset nimet (IUPAC Provisional Recommendations; Havonen et al., 2002, 21):

- | | |
|---|------------------------------|
| • alkalimetallit (Li, Na, K, Rb, Cs, Fr) | <i>alkali metals</i> |
| • maa-alkalimetallit (Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Ra) | <i>alkaline earth metals</i> |
| • booriryhmä (B, Al, Ga, In, Tl) | <i>boron group</i> |
| • hiiliryhmä (C, Si, Ge, Sn, Pb) | <i>carbon group</i> |
| • typpiryhmä (N, P, As, Sb, Bi) | <i>pnictogens</i> |
| • happiryhmä (O, S, Se, Te, Po) | <i>chalcogens</i> |
| • halogeenit (F, Cl, Br, I, At) | <i>halogens</i> |
| • jalokaasut (He, Ne, Ar, Kr, Xe, Rn) | <i>noble gases.</i> |

Jaksollisesta järjestelmästä on nimetty vielä erikseen seuraavat samankaltaisten alkuaineiden ryhmät (IUPAC Provisional Recommendations):

- lantanoidit (La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu)
- aktinoidit (Ac, Th, Pa, U, Np, Pu, Am, Cm, Bk, Cf, Es, Fm, Md, No, Lr)
- harvinaiset maametallit (Sc, Y, lantanoidit).

Vaikka lantanoidi tarkoittaa oikeasti lantanoidin kaltaista, eikä lantaani (La) näin ollen kuuluisi lantanoidisarjaan, yleisessä käytössä se kuitenkin mielletään siihen kuuluvaksi. Samoin aktinium (Ac) on yksi aktinoideista. Nimiä lantanidit ja aktinidit ei suositella, koska päätte -idi tuo virheellisesti mieleen suolan. (IUPAC Provisional Recommendations)

Siirtymäalkuaineiksi (*transition elements*) kutsutaan alkuaineita, joiden atomeilla on vajaa d-alikuori tai jotka muodostavat kationin, jossa on vajaa d-alikuori. Siirtymäalkuaineisiin kuuluvat lähes kaikki sivuryhmien alkuaineet. Sisäsiirtymäalkuaineiksi (*inner transition elements*) tai f-siirtymäalkuaineiksi kutsutaan alkuaineita, joiden atomeilla on vajaa f-alikuori. Lantanoidit ja aktinoidit ovat sisäsiirtymäalkuaineita. (IUPAC Provisional Recommendations)

2.2.4 Alkuaineiden H, Zn, Cd ja Hg paikka jaksollisessa järjestelmässä

Vielä nykyään on vedyn (H) sekä sinkin (Zn), kadmiumin (Cd) ja elohopean (Hg) paikka jaksollisessa järjestelmässä kiistanalainen. Monien tutkijoiden mielestä näiden alkuaineiden sijainti jaksollisessa järjestelmässä ei vastaa niiden kemiallisia ja fysikaalisia ominaisuuksia.

Vetyraukka on ilman omaa kemiallista perhettä kuin epätoivottu orpolapsi sijaiskodissa. Sen kemiasta ei voida edes puhua samaan hengenvetoon muiden sijaisperheen jäsenten, alkalimetallien, kemian kanssa. (Cronyn, 2003)

Yleisesti hyväksytyssä jaksollisessa järjestelmässä vety on sijoitettu ryhmään 1 elektronikonfiguraationsa vuoksi. Samoin perustein heliumin pitäisi olla ryhmässä 2 berylliumin yläpuolella (Cronyn, 2003, 948). Vetyatomi on epämetalli, mutta muut ryhmän 1 alkuaineet metalleja. Vetyatomin uloimman kuoren elektronirakenne vastaa sekä ryhmän 1 että ryhmän 17 atomien ulkokuoren elektronirakennetta, mutta sen ominaisuudet poikkeavat selvästi molempien ryhmien alkuaineiden ominaisuuksista. Vedyn ominaisuudet ovat oikeastaan näiden kahden ääripään välissä (Cronyn, 2003, 947). Se on epämetallinen kaasu, ja muodostaa suoloja kuten ryhmän 17 halogeenit, toisaalta sen uloimman kuoren elektronikonfiguraatio (s^1) on alkalimetallien kaltainen (Kaes & Atkins, 2003, 14). Ehkä tästä syystä vedylle on ehdotettu paikkaa järjestelmän

puolestavälistä hiilen yläpuolelta. Vetyatomin uloimman elektronikuoren rakenne vastaa myös hiiliatomin ja ryhmän 14 ulkokuoren rakennetta, eli uloin kuori on puoliksi täynnä. Vety muodostaa hyvin pysyviä ioneja, hiili ei. Kuitenkin vetyatomin elektroninegatiivisuus, ionisoitumisenergia ja elektroniaffiniteetti vastaavat hiiliryhmän atomien ominaisuuksia. (Sanderson, 1964, 187)

Vetyatomi on hieman hiiliatomia elektronegatiivisempi, ja joidenkin tutkijoiden mielestä sitä ei voi sijoittaa tarkasti mihinkään ryhmään (Treptow, 1994; Mingos, 1998), vaan sen paikka on jaksollisen järjestelmän ryhmien yläpuolella (Kaes & Atkins, 2003, 14). Joidenkin kemian oppikirjojen jaksollisissa järjestelmissä epämetallinen vety on sijoitettu ryhmään 1, mutta se on merkitty hieman eri sävyllä tai täysin eri värillä kuin saman ryhmän metalliset alkuaineet (Aspholm et al., 2001; Zumdahl, 1993).

Missä siirtymäalkuaineiden lohko loppuu?

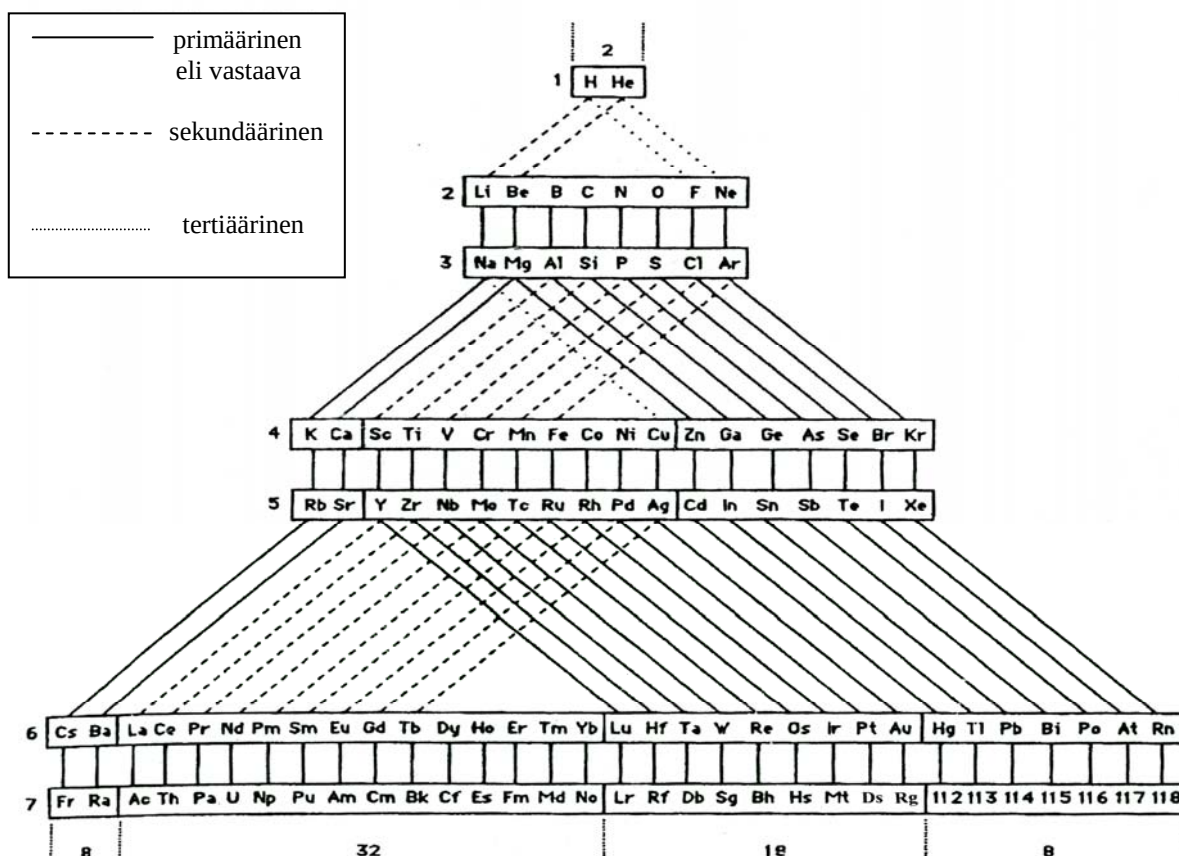
Missä d-lohko loppuu?

Missä sinkkiryhmä sopii pääryhmään? (Jensen, 2003)

Alkuaineet sinkki, kadmium ja elohopea eli sinkkiryhmä on yleisesti hyväksytyssä jaksollisessa järjestelmässä sivuryhmä 12. Jensenin (2003) artikkelin mukaan on kuitenkin kiistanalaista, pitäisikö ne luokitella pää- vai sivuryhmän alkuaineiksi. Fernelius (1986, 265) sijoittaa nämä kolme alkuainetta *d*-lohkoon, mutta ei kuitenkaan pidä niitä siirtymäalkuaineina, koska niillä ei ole vajaata *d*-orbitaalia. Jensen (2003) ei näe kemiallisesti merkittäväksi sitä, onko atomin $(n-1)d$ -alikuori täynnä vai ei. Merkittävää on, käyttäkö alkuaine *d*-orbitaaleja tai niiden elektroneja sidosten muodostamiseen. Tällöin *d*-alikuoren elektroneista tulee myös ulkoelektroneja ja alkuaine kuuluu siirtymäalkuaineisiin. Sinkki-, kadmium- ja elohopea-atomit käyttävät kemiallisessa reaktiossa vain kahta *s*-alikuorensa elektronia, eivät lainkaan *d*-alikuoren elektroneja. Ne käyttäytyvät kuten pääryhmien alkuaineet. Sinkki, kadmium ja elohopea ovat ominaisuuksiltaan (mm. atomisäde, elektronegatiivisuus, binääriyhdisteet) analogisia ryhmän 2 eli maa-alkalimetallien kanssa (Jensen, 2003, 956). Jensenin (2003) artikkelin mukaan samankaltaisuus sinkin ja kadmiumin sekä berylliumin ja magnesiumin kesken on suurempi kuin berylliumin ja magnesiumin samankaltaisuus muiden maa-alkalimetallien kanssa.

On olemassa jaksollisen järjestelmän graafisia esityksiä, joissa erimielisyydet vedyn, sinkin, kadmiumin ja elohopean sijainnista on pyritty ratkaisemaan eri tavoin. TAULUKOSSA 25 olevassa nk. Thomsen-Bohr-aulukossa alkuaineiden ryhmittäiset yhteydet toisiinsa on esitetty erilaisin viivoin. Tällä tavalla saadaan näkymään esimerkiksi magnesiumin (Mg) ja berylliumin (Be) yhteys sekä muihin alkalimetalleihin että sinkkiryhmään (Zn, Cd, Hg). Toisaalta liiallinen poikittaisten ja pystysuorien viivojen käyttö saattaa häiritä ainakin opiskelijoita (Jensen, 2003, 959).

TAULUKKO 25. Thomsen-Bohr-järjestelmä, jossa alkuaineiden ryhmittäiset yhteydet toisiinsa on esitetty erilaisin viivoin. Rakenteen keksi Bayley v.1882. (perustana Mazurs, 1974, 84; Jensen, 2003, 958).



Sanderson on ratkaissut asian hieman eri tavalla (TAULUKKO 26). Hänen taulukkoaan voidaan pitää selkeytensä vuoksi Thomsen-Bohr-aulukon parannettuna versiona. Sandersonin taulukko on myös pedagogisesti hyvä, koska sen avulla voi selkeästi ottaa käsittelyyn joko pääryhmien alkuaineet (*sp*-lohko), siirtymäalkuaineet (*d*-lohko) tai sisäsiirtymäalkuaineet (*f*-lohko), jaksollista järjestelmää hiljalleen laajentaen. Taulukkoa ei kuitenkaan kemian oppikirjoissa näy. (Jensen, 2003, 959)

Laing (1989) ehdottaa jaksolliselle järjestelmälle TAULUKON 27 mukaista rakennetta, jossa osa alkuaineista merkitään taulukkoon kahteen kertaan. Näin voidaan esittää sekä vedyn yhteys alkalimetalleihin ja halogeeneihin että sinkkiryhmän yhteys berylliumiin ja magnesiumiin. Taulukossa yhdistyy lyhyt ja pitkä jaksollinen järjestelmä. Kaesz & Atkins (2003) eivät suosittele tätä esitystapaa.

TAULUKKO 26. Sandersonin ”double-appendix”-järjestelmä, josta selviää sinkkiryhmän yhteys maa-alkalimetalleihin. (perustana Jensen, 203, 959)

1	H	He
---	---	----

pääryhmät

G R	M1	M2	M2'	M3	M4	M5	M6	M7	M8
2	Li	Be		B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg		Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	112	113	114	115	116	117	118

siirtymäalkuaineet

G R	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
4	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu
5	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag
6	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au
7	Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg

sisäsiirtymäalkuaineet

6	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb
7	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No

H  = kahdesti esiintyvät alkuaineet = vielä nimeämättömät alkuaineet H He

2.2.5 Uuden alkuaineen hyväksyminen ja nimeäminen jaksolliseen järjestelmään

Alkuaineiden löytäminen - tai oikeammin valmistaminen - on nykyään hankalaa, koska tarvitaan monimutkaisia ydinfysiikan laitteistoja, saantojen määrät ovat hyvin pieniä ja alkuaineiden puoliintumisajat hyvin lyhyitä (IUPAC-IUPAP, 1991, 880).

40

TWG:n laatimia ohjeita sovelletaan jokaiseen alkuaineen löytöilmoitukseen tapauskohtaisesti. (IUPAC-IUPAP, 1991, 880-881)

Kun TWG on hyväksynyt uuden alkuaineen löydetyksi, sen löytäjät saavat antaa oman nimiehdotuksensa CNIC:lle, ennen kuin se esittää IUPAC-neuvostolle muodollisen suosituksen uuden alkuaineen nimestä. Alkuaineen nimen viralliseen hyväksymiseen asti siitä tulisi käyttää IUPAC:in suosittamaa systemaattista nimitystä ja kolmikirjaimista kemiallista merkkiä (KUVIO 5). Nimitys perustuu latinan kieleen.

0 = nil	3 = tri	6 = hex	9 = enn
1 = un	4 = quad	7 = sept	
2 = bi	5 = pent	8 = oct	esimerkiksi: 112 = ununbium

KUVIO 5. IUPAC:in nimeämisseusitus uuden alkuaineen väliaikaiseksi nimeksi (IUPAC Provisional Recommendations).

Alkuaineen nimi voi olla peräisin antiikin ajoilta, mytologiasta tai taivaankappaleista, kuten muinaisten egyptiläisten naisten käyttämän maskaran aineosana olleen antimonin (Sb) (Ringnes, 1989, 735). Volframi (W) on saanut nimensä saksalaisilta kaivosmiehiltä. He kutsuivat tinamalmin louhintaa haittaavaa toista malmin suden kuolaksi, joka söi tinamalmin. Tämä malmi sisälsi volframihydrideitä. (Engels & Nowak, 1992, 182).

1800-luvulle asti alkuaineet saivat nimensä paljolti ominaisuuksiensa tai mineraaliensa perusteella. Rodium (Rh) on saanut nimensä ruusunpunaisista suolaliuoksistaan, indium (In) indigonsinisestä viivasta röntgenspektrissä, kloori (Cl) taas kaasumuotonsa kellanvihreästä väristä. (Ringnes, 1989, 738; IUPAC Provisional Recommendations)

Nykyään uusia alkuaineita nimetään kuuluisien tiedemiesten ja löytöpaikkojen mukaan (IUPAC Provisional Recommendations): mendelevium (Md), berkelium (Bk), seaborgium (Sg), nobelium (No), darmstadtium (Ds). Myös yksi suomalainen luonnontieteilijä on saanut ikuistettua itsensä alkuaineen nimeen. Alkuaine 64 eli gadolinium (Gd) on nimetty mineraalikemisti Johan Gadolinin (1760-1852) mukaan. Hän löysi v.1794 uuden alkuaineen, yttriumin (Y), mitä seurasi lantanoidiryhmän alkuaineiden löytäminen ja tutkiminen. Tästä syystä juuri yksi lantanoidista on nimetty Gadolinin mukaan. (Österman, 2005, 33)

2.3 Jaksollisen järjestelmän tulevaisuus

Jaksollinen järjestelmä kehittyy koko ajan. Millainen on sen tulevaisuus? Milloin viimeinen alkuaine löydetään tai valmistetaan? Jaksollinen järjestelmä ei ole vielä valmis – paloja puuttuu (Seaborg, 1985b, 467).

Uusien alkuaineiden ongelma on suuruudeltaan äärellinen. Kukaan ei kuitenkaan tiedä montako alkuainetta voidaan vielä valmistaa, ennen kuin protoni protonilta kasvava Coulombin lain mukainen hylkimisvoima atomin ytimessä voittaa ytimen vetovoiman. Tällaista atomin ydintä on täysin mahdoton valmistaa edes hetkellisesti. Uudeksi alkuaineeksi hyväksyttävän atomin ytimen on pysyttävä kasassa ainakin 10^{-14} s. (IUPAC-IUPAP, 1991, 880-883)

Seaborg (1985b, 466) kuvailee artikkelissaan epästabiilien transaktinoidien valmistamista: alkuaineen 106 saanto oli päivässä vain muutamia atomeja, alkuaineiden 108 ja 109 saanto sitäkin vähemmän. Muutaman atomin avulla on hyvin vaikea tutkia uuden alkuaineen ominaisuuksia. Lisäksi alkuaineen puoliintumisaika saattaa olla todella lyhyt.

Alkuainetutkijat ovat kuitenkin toiveikkaita. Ytimen rakennetta koskevien teorioiden perusteella on esitetty hypoteesi mahdollisuudesta löytää uusi stabiilien alkuaineiden ryhmä. Näiden alkuaineiden pysyvimmillä isotoopeilla tulee olla ytimessään täysi protoni- tai neutronikuori, eli protoneita tai neutroneita maagisten lukujen verran. Täysi kuori ytimessä saattaa kasvattaa ytimen puoliintumisaikaa ja mahdollistaa alkuaineen ominaisuuksien tutkimisen. (Seaborg, 1985b, 466). Maagisia lukuja ovat 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126 (Seaborg, 1985a, 393). Tällaisilla atomeilla ytimen sidosenergia on tavallista suurempi (Engels & Nowak, 1992, 271).

On ennustettu, että stabiilien alkuaineiden ryhmä löytyisi järjestysluvun 114 ja neutroniluvun 184 läheisyydestä (Seaborg, 1985b, 465). Alkuaineita alkuaineesta 114 eteenpäin kutsutaan ylliraskaiksi alkuaineiksi (*superheavy elements*) (Seaborg, 1985b, 466). Stabiiliksi ennustettua alkuainetta 114 on jo onnistuttu valmistamaan (Karol et al. 2003, 1602), mutta valmistettujen isotooppien ikä oli vain viitisen sekuntia. Silti se on moninkertainen muihin transaktinoideihin verrattuna (Putkonen, 2003).

Seaborg (1985b) esittää artikkelissaan näkemyksensä tulevaisuuden jaksollisen järjestelmän rakenteesta (TAULUKKO 28). Siihen sisältyy uusi 32-jäseninen superaktinoidisarja eli alkuaineet 121-153. Näillä alkuaineilla täyttyvät alikuoret 5*g* ja 6*f* ja seuraavilla alkuaineilla 7*d*-alikuori. Toisaalta voi olla, että tulevaisuuden jaksollinen järjestelmä ei rakennu näin yksinkertaisesti ja järjestelmällisesti, vaan 7*d*- tai 8*p*-alikuoret alkavat täyttyä ennen alikuoria 5*g* ja 6*f* (Seaborg, 1983, 34).

TAULUKKO 28. Ehdotus tulevaisuuden jaksollisesta järjestelmästä (perustana Seaborg, 1985b, 466).

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	113	114	115	116	117	118
119	120	121- 153 ***	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168

*lantanoidit	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu	
**aktinoidit	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	
*** super- aktinoidit	121	122	123	124	125											153
																

Superaktinoideihin on vielä matkaa. Alkuaine 111 eli röntgenium (Rg) on uusin virallisesti nimetty alkuaine. IUPAC-neuvosto hyväksyi sen osaksi jaksollista järjestelmää 1.11.2004. (IUPAC Wire, 2005, 16)

3 ALKUVAINEIDEN JAKSOLLINEN JÄRJESTELMÄ OPETUKSESSA

Alkuaineiden jaksollinen järjestelmä on malli, jonka avulla kuvataan eri alkuaineiden atomirakenteiden sekä fysikaalisten ja kemiallisten ominaisuuksien välisiä riippuvuuksia. Se on tiivis pakkaus täynnä kemian ymmärtämisen kannalta tärkeää tietoa. Kemian perusopetuksen yhdeksi keskeiseksi tavoitteeksi on määriteltä alkuaineiden ja yhdisteiden ominaisuuksien ja rakenteiden selittämisen atomimallin tai jaksollisen järjestelmän avulla (POPS, 2004).

Kemian opetukselle on ominaista, että samaa asiaa tai ilmiötä voidaan kuvata usealla eri mallilla. Tietyn kohteen opettamiseen on suotavaa käyttää useita opetusmalleja, joissa huomioidaan myös oppijan ikäryhmä ja kognitiivisen kehityksen taso.

3.1 Oppilaan luonnontieteiden oppimisesta

”Luonnontieteiden oppimisen tavoitteena on, että oppilas muokkaa uudelleen havaintoihin perustuvan intuitiivisen tietonsa vastaamaan nykyisin hyväksytyjä tieteellisiä näkemyksiä. Tietorakenteen muuttuminen on kuitenkin pitkä ja vaikea prosessi.” (Saari, 2000, 53)

Konstruktivistisen oppimiskäsityksen mukaan oppiminen on oppijan aktiivista kognitiivista toimintaa, jossa hän tulkitsee uutta tietoa ja havaintojaan kokemustensa ja aikaisemman tietonsa pohjalta. Oppija on aktiivisesti merkityksiä etsivä ja niitä muokkaava toimija. Keskeistä oppimisessa on merkitysten rakentaminen, mikä edellyttää ymmärtämistä. Käsitteen tai mallin voi opetella ulkoa, mutta jollei ymmärrä sitä, käsitteestä tai mallista ei ole paljonkaan hyötyä. (Tynjälä, 2002)

Oppimisprosessin merkityksellisyys riippuu siitä, kuinka hyvin oppija onnistuu löytämään tai luomaan yhteyksiä uuden tiedon ja olemassa olevan tietonsa välille (Mason, 1994, 182). Oppilas omaa aikaisemmista tiedoista ja käsityksistä syntyneitä henkilökohtaisia tietorakenteita eli mentaalimalleja (*mental models*), jotka saattavat von Glasersfeldin (1995) mukaan vastata vain osittain opettajan mentaalimalleja. Mentaalimallit muuttuvat, kun yksilö konstruoi ympäristöstä saamaansa uutta informaatiota (Saari, 2000, 11).

Piaget'n mukaan skeemat eli tietorakenteet voivat muokkautua kahta tietä. Assimilaatiossa (sulauttaminen) uusi tieto liitetään olemassa olevaan skeemaan. Vanha arkikäsitys saattaa kuitenkin jäädä elämään uuden, tieteellisemmän käsityksen rinnalle tai siihen sekoittuneena. Akkommodaatiossa (mukauttaminen) oppija taas mukauttaa skeemojaan uuden tiedon perusteella niin, että syntyy laadullisesti uusi, tieteellisempi tietorakenne.

Jos yksilön kokemukset ovat ristiriidassa mentaalimallin kanssa, hän voi mitätöidä ristiriitaisuudet, jolloin olemassa oleva mentaalimalli ei muutu mitenkään. Yksilön hyväksyessä syntyneen ristiriidan hän alkaa aktiivisesti muokata tietorakenteitaan luopuen vanhasta käsityksestään. Luonnontieteiden oppimisessa tämä tarkoittaa sitä, että yksilön mentaalimallit mukautuvat kohti tieteellisesti hyväksytyjä malleja.

Piaget'n teorian mukaan lapsen kognitiivinen kehittyminen etenee vaiheittain:

- 1) sensomotorinen vaihe (0-2v.)
- 2) esioperationaalinen vaihe (2-7v.)
- 3) konkreettisten operaatioiden vaihe (7-11v.)
- 4) formaalien (muodollisten) operaatioiden vaihe (12v.-)

Vaiheiden järjestys on aina sama, mutta kehitysvaiheiden saavuttamisikä voi vaihdella. Formaalien operaatioiden vaiheessa lapsi pystyy kuvittelemaan mielessään erilaisia vaihtoehtoja ja testaamaan myös sellaisia oletuksia, joista hänellä ei ole konkreettista kokemusta. Tällöin ajattelu muuttuu tehokkaammaksi ja abstraktimmaksi. Hautamäen (1984) tutkimuksen mukaan vain murto-osa perusopetuksen oppilaista (12-15v.) on kehityksessään saavuttanut formaalien operaatioiden vaiheen. Suurin osa on ajattelussaan edelleen konkreettisten operaatioiden vaiheessa. Tämä on otettava huomioon luonnontieteiden abstraktien käsitteiden opettamisessa.

Vygotskyn (1982) teorian mukaan lapsella on olemassa niin sanottu lähikehityksen vyöhyke. Tämä vyöhyke voidaan nähdä erona, joka on oppilaan itsenäisellä ongelmanratkaisulla ja ongelmanratkaisulla, jonka hän pystyy tuottamaan yhteistyössä opettajan tai vanhemman oppilaan kanssa (Tynjälä, 2002, 48). Vygotskyn mukaan oppilas pystyy työskentelemään lähikehityksen vyöhykkeellä myös turvautumalla ulkoisten välineiden apuun. Tällaisina toimivat myös oppilaan ikäryhmälle sopivat jaksollisen järjestelmän mallit.

Vygotsky (1982) jakaa oppilaiden käsitykset arkikäsityksiin ja tieteellisiin käsityksiin. Näistä tieteelliset käsitykset syntyvät kouluopetuksessa kehittyen ja muokkautuen jatkuvassa käsitteellisen muutoksen prosessissa. Oppimisen tuloksena tieteelliset käsitykset korvaavat virheelliset arkikäsitykset. Toisiinsa liittyvien tieteellisten käsitteiden tulisi muodostaa oppijan tietorakenteeseen yhtenäinen ajatusrakennelma, jolloin uusien käsitteiden omaksuminen ja opitun tiedon soveltaminen helpottuvat: oppilas ymmärtää, ei opettele ulkoa.

Myös Ausubelin (1968) mukaan tärkein uusien käsitteiden oppimiseen ja muistamiseen vaikuttava tekijä on oppilaan jo olemassa olevan tiedon rakenne. Ausubel painottaa mielekkään oppimisen teoriassaan mielekästä vastaanottavaa oppimista, jossa oppilas kykenee vastaanottamaan tietoa ja ymmärtämään sen opettajan ohjauksessa. Jos uusi tieto niveltyy oppilaan aikaisempiin tietoihin, sitä ei tarvitse muistaa ulkoa. Oppimisprosessissa oppilaan tietorakenne on vuorovaikutuksessa uuden tiedon kanssa. Jos oppilaan tietorakenne on epämääräinen ja huonosti organisoitu, se ehkäisee uuden oppimista ja vanhan tiedon mieleen palauttamista.

Ausubelin teoriassa ovat luonnontieteen opettamisen kannalta olennaisimpia asioita oppiaineen sisältöjen looginen järjestäminen ja opettajan merkitys oppimistilanteessa. Opettajan tulee ohjata oppilaita näkemään mallin takana olevat luonnonlait ja ilmiö. (Lavonen & Meisalo, 1997, 50).

Luonnontieteellisten käsitteiden - erityisesti kemian käsitteiden - omaksuminen on hankalaa, koska oppilaan tulee ymmärtää sama käsite sekä makrotasolla, mikrotasolla että symbolitasolla (Gabel, 1999, 549). Monet kemian peruskäsitteistä ovat abstrakteja, ja lähes mahdottomia selittää ilman mallien tai analogioiden apua (Gabel, 1999, 549; Oversby, 2000, 227).

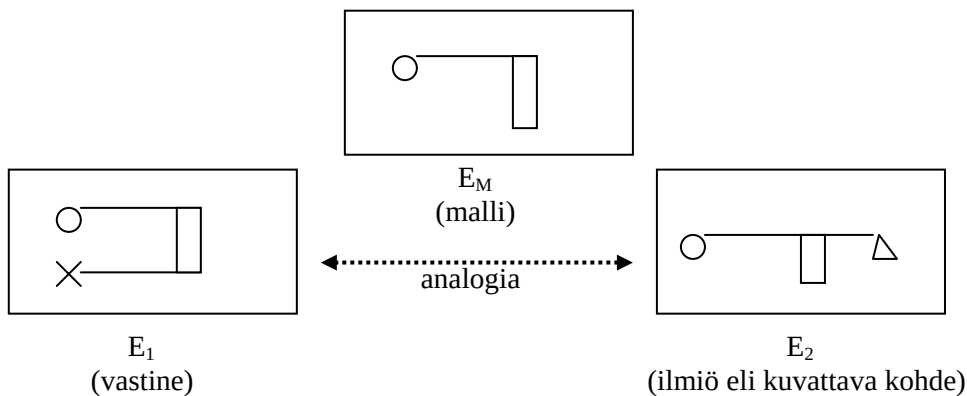
Saaren (1997, 47) tutkimuksen mukaan mallien ja analogioiden käyttö helpottavat abstraktien käsitteiden oppimista. Ne herättävät oppilaan mielenkiinnon opiskeltavaa aihetta kohtaan ja samalla oppimistapahtuma saattaa muuttua opettajakeskeisestä oppilaskeskeiseksi.

3.2 Mallikäsitteen määritelmä

Mallin tarkoitus on yksinkertaistaa ja rajallisesti havainnollistaa opetettavaa kohdetta (Saari 2000, 32). Malli on ilmiön – objektin, tapahtuman, prosessin, systeemin tai idean – kuvaus (Boulter, 2000, 298). Malli kuvaa kohdettaan rajallisella pätevyysalueella ja malli on rakenteeltaan tai toiminnaltaan kuvaamaansa ilmiötä yksinkertaisempi. (Saari, 2000, 25). Malli tarjoaa linkin havaitun todellisuuden ja ihanteellistetun todellisuuden välille.

Duit (1991, 650) määrittelee mallin KUVION 6 mukaisesti. Kuvattava ilmiö (E_2) on rakenteeltaan tai toiminnaltaan osittain yhdenmukainen eli analoginen vastineensa (E_1) kanssa. Malli kuvaa tätä osittaista yhdenmukaisuutta. Kuvattava ilmiö ja sen vastine ovat siis analogisia mallin E_M osalta. Tässä tutkimuksessa vastine E_1 on tieteellinen malli, ja malli E_m opetusmalli, joka on tieteellistä mallia yksinkertaisempi ilmiön kuvaaja.

Mallien vahvuus on siinä, että ne mahdollistavat monimutkaisten ideoiden, prosessien ja systeemien visualisoinnin.



KUVIO 6. Mallin määrittely (Duit, 1991, 650).

3.2.1 Historiallinen malli, tieteellinen malli ja konsensusmalli

Tutkijat luovat tieteellisen mallin aina jotain tiettyä käyttötarkoitusta varten. Sen avulla saadaan tutkittava ilmiö yksinkertaistettua ja eristettyä ympäristöstään tutkittavaksi ja

selitettäväksi. *Tieteellinen malli* yhdistää ilmiön ja ilmiötä koskevan teorian toisiinsa siten, että ilmiö on mahdollista selittää teorian termein. Tieteellinen malli tai jokin sen seuraajista kelpaa tiedeopetukseen sellaisenaan, jos opetuksen päämääränä on saman mallin avulla antaa ilmiöstä täysin sama selitys kuin tieteellisessä teoriassa. (Gilbert et al., 2000c, 207)

Konsensusmalli on jonkin sosiaalisen ryhmittymän yhteisesti hyväksymä malli (Gilbert et al., 2000a, 12). Nykyiset ja niitä edeltäneet yleisesti hyväksytyt tieteelliset mallit ovat konsensusmalleja. Tietyssä historiallisessa kontekstissa syntyneitä konsensusmalleja kutsutaan *historiallisiksi malleiksi* (Gilbert et al., 2000a, 12). Nykyisin hyväksytyt tieteelliset mallit, kuten jaksollinen järjestelmä, ovat kehittyneet historiallisten malliensa pohjalta.

Tieteellinen malli on harvoin sellaisenaan soveltuva perusopetukseen. Siksi monimutkaisesta tieteellisestä mallista on muokattava opetukseen soveltuvia *opetusmalleja* (Gilbert et al., 2000a, 12).

3.2.2 Mallien luokittelu

Boulter & Buckley (2000) luokittelevat mallit niiden esitystavan ja luonteen mukaisiin kategorioihin (TAULUKKO 29). Luokitteluaan he perustelevat esimerkiksi sillä, että sen avulla voidaan laajentaa jotain ilmiötä esittävien mallien valikoimaa. Samalla luokittelu antaa yleiskuvan mallien laajasta kirjosta. Luokittelu ei kuitenkaan kerro, millainen malli sopii parhaiten kuvaamaan tiettyä ilmiötä.

Tässä luokittelussa malli on esitystavaltaan konkreetti tai symbolinen. Symbolinen malli voi olla verbaalinen, visuaalinen, matemaattinen, elehditty tai näiden yhdistelmä. Luonteeltaan malli voi olla kvantitatiivinen tai kvalitatiivinen sekä staattinen tai dynaaminen. Jos malli on dynaaminen, se voi käyttäytyä aina samoin (deterministinen) tai muuttua todennäköisyyksien muuttuessa (stokastinen). (Boulter & Buckley, 2000, 46-48)

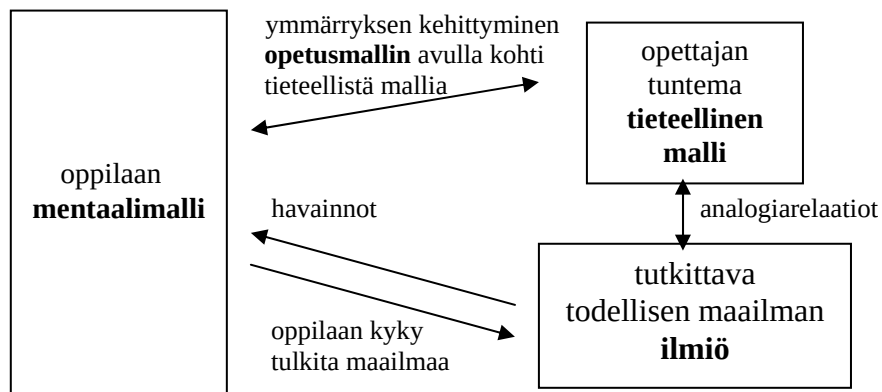
TAULUKKO 29. Mallien esitystavan ja luonteen mukainen luokittelu (Boulter & Buckley, 2000, 49).

	konkreetti aineellinen	visuaalinen kuvaallinen	verbaali puhe/teksti	matemaattinen kaavamainen	elehditty vartalolla	yhdistetty elehditty	yhdistetty matemaattinen	yhdistetty verbaali	yhdistetty visuaalinen	yhdistetty konkreetti
kvalitatiivinen staattinen	3D-malli	diagrammi piirros	analogia kuvaus metafora		asentojen näyttäminen	asentojen näyttäminen ja puhuminen		analogia ja piirros	diagrammi ja teksti	3D-malli ja teksti
kvalitatiivinen dynaaminen deterministinen	liikkuva 3D-malli	animaatio			liikesarjan esittäminen	liikesarjan esittäminen ja puhuminen			puhe- animaatio	
kvalitatiivinen dynaaminen stokastinen	fysikaalinen simulaatio				käsiliikkeet	käsiliikkeet ja puhuminen				fysikaalinen simulaatio ja teksti
kvantitatiivinen dynaaminen stokastinen		graafinen esitys		kaava					graafinen esitys	
kvantitatiivinen dynaaminen deterministinen	tehtävä- taulukon kopio	videoesitys oikeasta ilmiöstä		kaavan tietokone- simulaatio	suhteellisen käyttäytymis- sen elehtiminen		tietokone- simulaatio		video ja puhe	tehtävä- taulukon kopio ja puhe tai teksti
kvantitatiivinen staattinen	taulukko- malli	valokuva	koon tai etäisyyden kuvaami-nen	yhtälö kemiallinen kaava	koon näyttäminen	koon näyttäminen ja puhuminen	yhtälö- diagrammi	koon kuvaaminen ja elehtimi- nen	valokuva ja teksti	objekti ja puhe tai teksti

3.3 Opetusmallit

Opetusmalli on erityisesti opetusta varten suunniteltu malli, jonka tarkoituksena on helpottaa konsensusmallin tai tieteellisen mallin oppimista (Gilbert et al., 2000a, 12; Saari, 2000, 28). Sen avulla pyritään saamaan oppilaan mentaalimalli kehittymään kohti tieteellistä mallia (KUVIO 7).

Opetusmalleja käytetään kuvaamaan tärkeimpiä tiedemiesten tekemiä tieteellisiä malleja, kuten jaksollista järjestelmää. Opetusmallin tarkoituksena ei ole opettaa oppilaalle mallia sellaisenaan, vaan näyttää myös tieteen yleisiä menetelmiä. Opetusmalleja käytetään myös havainnollistamaan ja yksinkertaistamaan opittavaa abstraktia tai konkreettia kohdetta. Niiden suunnittelussa on huomioitava, ettei opetusmalli synnytä oppilaille uusia virheellisiä käsityksiä ja mentaalimalleja tieteellisempien käsitysten sijaan. (Saari, 2000, 32-34)



KUVIO 7. Mallien opetuskäyttö (Saari, 2000, 35).

Saaren (2000) mukaan tehokkain tapa opettaa oppilaille mallien merkitystä luonnontieteiden oppimisessa on niiden käyttäminen tietoisesti opetuksessa. Samaa kohdetta voidaan kuvata useilla eri malleilla, ja käytettävä malli valitaan tilanteen mukaan. Saman kohteen eri opetusmallit havainnollistavat tutkittavan kohteen eri piirteitä. Tämä tulee myös oppilaan ymmärtää, muuten hän saattaa yhdistää käytetyn mallin liian yhdenmukaisesti tutkittuun kohteeseen.

3.3.1 Hyvän opetusmallin ominaisuuksia

Opetusmallit ovat hyvin erilaisia käyttötarkoituksestaan riippuen. Hyvän opetusmallin on kuitenkin täytettävä tietyt vaatimukset.

Kaikilla malleilla on omat rajoituksensa, koska ne on kehitetty tiettyä tarkoitusta varten. Kun käytetään opetusmallia, mallin rajoitusten lisäksi on huomioitava erityisesti kuinka hyvin malli soveltuu kyseessä olevalle ikäryhmälle (Saari, 1997, 15). Hyvä opetusmalli mukauttaa oppilaan mentaalimallin vastaamaan paremmin ilmiön tieteellistä mallia (Gilbert & Boulter, 1998, 53). Hyvä opetusmalli saattaa edistää oppimista ratkaisevasti, huono taas estää oppimisen (Clement, 1998, 1254).

Hyvä opetusmalli voidaan määritellä seuraavasti. Hyvä opetusmalli on (Gilbert et al., 2000c, 206; Mayer, 1989, 59-60; Saari, 2000, 34):

- *konkreetti* eli malli vastaa tasoltaan oppilaan kehitystasoa: se on oppilaalle tutunomainen, visuaalinen ja rakenteellisesti selkeä.
- *mielikuviiin pohjautuva* eli malli pohjautuu merkityksellisiin aineksiin, jotka selittävät, miten jokin systeemi toimii. Mallin tulee luoda selkeä yhteys teorian ja selitettävän ilmiön välille.
- *oikeellinen* eli malli vastaa tietyssä laajuudessa ja tietyin selkein rajoituksin todellista ilmiötä. Mallin tulee esittää ilmiön olennaisimmat rakenteet ja ominaisuudet.
- *täydellinen* eli malli sisältää tutkittavan ilmiön olennaiset rakenteet, ominaisuudet ja niiden väliset suhteet. Malli on helposti opittavissa.
- *vastaava* eli opetusmallin ja tieteellisen mallin välillä tulisi olla sopiva määrä analogioita eli rakenteellisia, toiminnallisia tai rakenteellis-toiminnallisia samankaltaisuuksia.
- *yhtenäinen* eli mallin ilmiöstä tarjoaman selityksen taso vastaa oppilaan tarpeita.
- *ymmärrettävä* eli mallissa käytetään oppilaiden ymmärtämää kieltä.
- *ytimekäs* eli mallissa on otettu huomioon oppilaan ikä eikä se sisällä epäolennaisia yksityiskohtia.

Näitä vaatimuksia vastaavan opetusmallin käytöllä on mahdollista saavuttaa oppilaille asetetut oppimistavoitteet. Hyvä opetusmalli ei yksinään riitä, vaan malli on selitettävä tarkoituksenmukaisesti. (Gilbert et al., 2000c, 206-208)

Opetusmallista riippuen tarkoituksenmukainen selitys vastaa johonkin seuraavista kysymyksistä (Gilbert et al., 2000c, 195-197):

- Miksi tämä ilmiö selitetään?
- Mitkä ovat tämän ilmiön ominaisuudet? (*kuvaileva*)
- Mistä tämä ilmiö koostuu? (*tulkitseva*)
- Miksi ilmiö käyttäytyy tietyllä tavalla? (*kausaalinen*)
- Miten ilmiön ennustetaan käyttäytyvän, jos olosuhteita muutetaan? (*ennustava*)

Kemian perusopetuksessa käytettävien mallien selitykset ovat alaluokilla (5. ja 6.lk) kuvailevia, mutta yläluokilla (7.-9.lk) siirrytään jo malleihin, jotka vaativat muunkinlaisia selityksiä (Oversby, 2000, 229). Deutschin (1997) mukaan tieteessä suurin arvo annetaan kausaalisille selityksille, samoin tulisi olla tiedeopetuksessa.

3.3.2 Yleistä opetusmallien käytöstä

Opetusmallien käytöllä ja mallintamisella pitäisi lisätä luonnontieteiden opettamisen ja oppimisen luotettavuutta sekä aitoa tieteellisyyttä (Gilbert et al., 2000b, 21). Erityisesti kemia tieteenalana näyttää koostuvan suuresta joukosta malleja, jotka ovat kaikki yhdistävät makrotason havaintoja mikrotason selityksiin (Oversby, 2000, 228). Vaikka kemian opettaja voi helposti ja nopeasti vaihtaa saman ilmiön makro-, mikro- ja symbolitasojen välillä tasosta toiseen, oppilas ei. Oppilaille on vaikeuksia luoda yhteyksiä näiden tasojen välille. Avuksi tarvitaan opetusmalleja, analogioita tai tietokonegrafiikkaa. (Barnea, 2000, 308)

Oppilas harvoin ymmärtää käyttävänsä tai rakentavansa oppitunnilla malleja selittämään jotakin ilmiötä. Hän ei ymmärrä ilmiön ja mallin välisen yhteyden luonnetta. Oppilas hämmentyy yksinkertaistetuista, epätäydellisistä ja määrittelemättömistä malleista, joita opettaja esittelee kuin itse ilmiötä. (Boulter & Buckley, 2000, 42)

Opettajan on tehtävä opetuksessaan selkeä ero mallin ja itse ilmiön välille. Lisäksi on muistettava, että opetuksessa käytettävän mallin (opetusmalli, tieteellinen malli, konsensusmalli, historiallinen malli) tausta ja pätevyysalue on tehtävä oppilaille selväksi. (Justi, 2000, 222)

Opettajan on ymmärrettävä käyttämänsä mallin historiallinen tausta eli prosessi, jonka aikana historiallinen malli on aina onnistuneesti korvattu toisella mallilla, kunnes on päädytty nykyiseen tieteelliseen malliin. Tällöin opettaja pystyy tuomaan tiedeopetukseensa tieteen dynaamisuutta. Historian tieteentekijät olivat tavallisia ihmisiä, jotka kehittivät hienoja, mutta myös huonoja ideoita. Näistä ideoistaan he keskustelivat toistensa kanssa. Lisäksi he joutuivat usein tuskailemaan tekniikan kehittymättömyyttä tutkimuksia tehdessään. (Justi, 2000, 225-226)

Matthewsin (1992) mukaan mallin historiaan liittyvien tarinoiden tuominen mukaan opetukseen lisää opittavien asioiden yhtenäisyyttä ja saa luonnontieteen opiskelun tuntumaan oppilaasta mielenkiintoiselta ja itse luonnontieteen ymmärrettävämmältä.

Mayerin (1989) tutkimus osoittaa, että mallit ovat tehokkaimpia, jos niitä käytetään ennen asian opettamista tai sen aikana eikä vasta asian opettamisen jälkeen. Saari (2000) taas toteaa tutkimuksessaan, että mallien tietoinen käyttäminen opetustilanteissa tukee oppilaiden oppimista. Samalla opettaja saa selkoa oppilaiden virhekesityksistä ja luonnontieteen opetus monipuolistuu. Kun opetuksessa käytetään samasta ilmiöstä monia erityyppisiä malleja, oppilaiden ilmiön selittämiskyky kehittyy (Boulter & Gilbert, 2000, 350). Samalla oppilaat oppivat tiedostamaan mallien hyödyn, mutta myös rajoitukset ja pystyvät muodostamaan mentaalimallistaan tieteellisemmän ja luotettavamman. (Barnea, 2000, 323)

Tieteelliset mallit eivät voi olla oppilaan itse keksittävässä, vaan malleja kehitetään opettajan ohjaamana opetuksen edetessä. Opettajan tulee rakentaa oppilaiden ikään soveltuva opetusmalli yhdessä oppilaiden kanssa, jolloin uusi malli haastaa oppilaan aikaisemman, mahdollisesti virheellisen mentaalimallin. (Saari, 2000, 59)

Oppilaiden olisi päästävä myös itse suunnittelemaan ”mallien malleja”, jotka auttaisivat teoreettisten asioiden ymmärtämisessä (Solomon, 1995). Opettajan on kuitenkin varmistuttava siitä, että oppilaat osaavat liittää mallin ominaisuudet vastaaviin ilmiön ominaisuuksiin esimerkiksi lyhyiden kyselyjen avulla (Saari, 1997, 16).

Saaren (2000, 22) tutkimus osoittaa, että oppilaiden käsitys malleista ja niiden käytöstä kehittyy, jos opetuksessa varataan riittävästi aikaa mallien tekemiseen ja testaamiseen. Jos oppilaalle tarjotaan mahdollisuus ratkaista ongelmia mallien avulla, hän havaitsee mallin merkityksen tutkimuksen apuvälineenä, jota voidaan muuttaa tarpeen vaatiessa. Oppilas ymmärtää, ettei malli ole vain joukko ulkoa muistettavia tosiasioita.

3.4 Jaksollinen järjestelmä opetusmallina perusopetuksessa

Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteissa (POPS, 2004) on määritelty kemian perusopetuksen yhdeksi tavoitteeksi, että oppilas oppii aineen rakennetta ja kemiallisia sidoksia kuvaavia käsitteitä ja malleja.

Graafiselta muodoltaan pitkä taulukkomallinen jaksollinen järjestelmä on tieteellinen malli, jonka muoto on vakiintunut vuosisadan kuluessa historiallisten mallien korvautuessa toisilla. IUPAC:n suosittama pitkä jaksollisen järjestelmä (TAULUKKO 14) tietosisältöineen on yleisesti hyväksytty tieteellinen malli eli konsensusmalli. Alkuaineiden jaksollisen järjestelmän opetusmallina on yleisesti käytössä monen kemian oppikirjan tarjoama taulukkomallinen, pitkä jaksollinen järjestelmä. TAULUKKO 30 on esimerkki tällaisesta opetusmallista. Visuaalisempi opetusmalli on esitetty TAULUKKOSSA 24.

TAULUKKO 30. Esimerkki kemian oppikirjan tarjoamasta jaksollisen järjestelmän opetusmallista perusopetukseen (Happonen et al., 2001, 163).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H 1,008																	2 He 4,003
2	3 Li 6,941	4 Be 9,012											5 B 10,81	6 C 12,01	7 N 14,01	8 O 16,00	9 F 19,00	10 Ne 20,18
3	11 Na 22,99	12 Mg 24,31											13 Al 26,98	14 Si 28,09	15 P 30,93	16 S 32,06	17 Cl 35,45	18 Ar 39,95
4	19 K 39,10	20 Ca 40,08	21 Sc 44,96	22 Ti 47,90	23 V 50,94	24 Cr 52,00	25 Mn 54,94	26 Fe 55,85	27 Co 58,93	28 Ni 58,70	29 Cu 63,55	30 Zn 65,38	31 Ga 69,72	32 Ge 72,59	33 As 74,92	34 Se 78,96	35 Br 79,90	36 Kr 83,80
5	37 Rb 85,47	38 Sr 87,62	39 Y 88,91	40 Zr 91,22	41 Nb 92,91	42 Mo 95,94	43 Tc (98)	44 Ru 101,1	45 Rh 102,9	46 Pd 105,4	47 Ag 107,9	48 Cd 112,4	49 In 114,8	50 Sn 118,7	51 Sb 121,8	52 Te 127,6	53 I 126,9	54 Xe 131,3
6	55 Cs 132,9	56 Ba 137,3		72 Hf 178,5	73 Ta 180,9	74 W 183,9	75 Re 186,2	76 Os 190,2	77 Ir 192,2	78 Pt 195,1	79 Au 197,0	80 Hg 200,6	81 Tl 204,4	82 Pb 207,2	83 Bi 209,0	84 Po (210)	85 At (210)	86 Rn (222)
7	87 Fr (223)	88 Ra (226)		104 Unq (261)	105 Unp (262)	106 Unh (263)	107 Uns (264)	108 Uno (265)	109 Une (266)	110 Uuu (269)								
				57 La 138,9	58 Ce 140,1	59 Pr 140,9	60 Nd 144,2	61 Pm (145)	62 Sm 150,4	63 Eu 152,0	64 Gd 157,3	65 Tb 158,9	66 Dy 162,5	67 Ho 164,9	68 Er 167,3	69 Tm 168,9	70 Yb 173,0	71 Lu 175,0
				89 Ac (227)	90 Th 232,0	91 Pa 231	92 U 238,0	93 Np 237,0	94 Pu (242)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (251)	99 Es (254)	100 Fm (257)	101 Md (258)	102 No (259)	103 Lr (260)

Taulukkomuotoinen jaksollinen järjestelmä on vakiintunut opetusmalli, jossa pysty- ja vaakariveillä on todellista merkitystä (Ben-Zvi & Genut, 1998, 351). Alkuaineen sijainti taulukossa kertoo alkuaineen rakenteesta ja jaksollisuuden lakiin liittyvistä ominaisuuksista. Kaksiulotteinen, taulukkomuotoinen jaksollinen järjestelmä toimii hyvänä työvälineenä, mutta sen luotettavuus alkuaineiden ominaisuuksia ennustavana on kuitenkin rajallinen (Ben-Zvi & Genut, 1998, 351; Schmidt, 1998, 71).

3.4.1. Oleellisia seikkoja jaksollisen järjestelmän opettamisesta

”It is not at all obvious how the list of elements that we call the periodic table has any sense of organization at all” (Cherif et al., 1997).

Kemian perusopetuksessa jaksollisen järjestelmän sisältämästä tiedosta ovat olennaisia seuraavat perusasiat (Murray, 2003, 224-228):

- Jokaisella alkuaineella on oma, atomirakenteensa ja ominaisuuksiensa mukainen paikka jaksollisessa järjestelmässä. Alkuaineesta kerrotaan järjestelmässä yleensä sen kemiallinen merkki, järjestysluku ja yleisimmän isotoopin massaluku tai eri isotooppien suhteellisten atomimassojen painotettu keskiarvo.
- Samankaltaiset alkuaineet ovat sijoittuneena samaan pystyiviin eli ryhmään (poikkeus vety (H)) ja saman ryhmän alkuaineiden atomin uloimman elektronikuoren rakenne on samanlainen. Pääryhmän perusteella voidaan päätellä, millaisia ioneja ja ioniyhdisteitä alkuaineet muodostavat, samoin epämetallien muodostamien kovalenttisten yhdisteiden (molekyylilyhdisteiden) rakenteita.
- Vaakarivejä kutsutaan jaksoiksi, jotka kertovat alkuaineen atomin elektronikuorien kokonaismäärän. Yksi jakso kuvaa yhden elektronikuoren täyttymistä. Jokaiselle elektronikuorelle mahtuu vain tietty määrä elektroneja.
- Metallit ovat yleensä sijoittuneena vasemmalle ryhmiin 1-12 (poikkeus vety (H)), epämetallit taas oikealle ryhmiin 13-18. Jaksollisessa järjestelmässä niitä erottaa yleensä portaittainen viiva, jonka läheisyydessä sijaitsevat puolimetallit.
- Ryhmät (1-18) ja jaksot (1-7) on merkitty numeroin.
- Pääryhmillä 1, 2, 13-18 on numeron lisäksi omat nimensä.
- Atomien koot kasvavat pääryhmissä ylhäältä alaspäin ja pienenevät jaksossa vasemmalta oikealle.

Jaksollisen järjestelmän lukutaito edellyttää, että oppilas hallitsee atomin rakenteeseen liittyvät käsitteet ennen jaksollisen järjestelmän opettamista (Murray, 2003, 216).

Oppilas ei voi ymmärtää jaksollisen järjestelmän sisältöä, ellei hän hallitse seuraavia käsitteitä: atomi ja atomin rakenne, elektronit, protonit, neutronit, massaluku,

järjestysluku, isotooppi. Opettajan on varmistuttava, että nämä käsitteet ovat oppilaalle selkeät, ennen kuin siirrytään oppimaan jaksollisen järjestelmän käyttöä. Ausubelin (1968) mielekkään oppimisen teoriassa korostetaan oppilaan aikaisemman tiedon merkitystä uuden oppimisessa. Mielekkäästi oppiessaan oppilas kykenee vastaanottamaan tietoa ja ymmärtämään sen. Mielekäs oppiminen edellyttää, että uusi tieto niveltyy oppilaan aikaisempiin tietoihin eikä sitä tarvitse opetella ulkoa.

Jaksollisen järjestelmän opetuksessa tulee käyttää useita erilaisia opetusmalleja. Oppilaan tulee ymmärtää, ettei opetusmalli ole sama kuin ilmiö, jota se kuvaa. (Boulter & Gilbert, 2000, 350)

Kemian perusopetuksessa näytetään ja käytetään usein vain yhtä jaksollisen järjestelmän mallia. Ehkä tällöin opettajan ajatuksena on, että yhden selkeän mallin käyttö ei sekoita oppilaan ajatuksia. Yhden ainoan jaksollisen järjestelmän opetuskäytöstä aiheutuu kuitenkin, että oppilaat pitävät tätä mallia ainoana oikeana, lähes pyhänä (Ben-Zvi & Genut, 1998, 353). Se saattaa myös johtaa mallin ulkoa opetteluun ymmärtämisen sijaan.

Lehman, Koran & Koran (1984) tutkivat visuaalisuuden lisäämisen vaikutusta jaksollisen järjestelmän oppimiseen. Visuaalisen jaksollisen järjestelmän (esim. TAULUKKO 24) todettiin olevan selvästi perinteistä tai paljon numerotietoa sisältävää järjestelmää parempi oppimisen tukija perusopetuksessa. Visuaalisesta järjestelmästä oppilas pystyy yhdellä vilkaisulla näkemään esimerkiksi atomien suhteelliset koot. Myös taulukkoon lisätty tieto sisäistettiin paremmin kuin jos sama tieto olisi esitetty taulukosta erillisenä tekstinä. Toisaalta todettiin, että visuaalisuuden tai tietomäärän lisääminen saattaa vaikeuttaa heikkojen oppilaiden jaksollisen järjestelmän oppimista.

Useiden eri opetusmallien käyttö auttaa oppilasta ymmärtämään mallikäsitettä, eikä pitämään mallia itse ilmiönä. Samalla oppilas saa monipuolisen käsityksen mallin kuvaamasta ilmiöstä, mikä muokkaa oppilaan mentaalimallia kohti tieteellistä mallia. Tämä tarkoittaa myös sitä, että oppilas pystyy selittämään muille mentaalimalliaan sekä laajemmin että yksityiskohtaisemmin (Boulter & Gilbert, 2000, 350).

Historialliset jaksollisen järjestelmän mallit opetuksessa antavat oppilaalle käsityksen tieteiden kehityksestä sekä mallin rajallisuudesta ja yhteydestä sen hetkiseen tieteelliseen tietoon (Ben-Zvi & Genut, 1998, 352).

Kuten tieteellinen tutkimus aina, myös jaksollisen järjestelmän kehittyminen on edelleen jatkuva prosessi, jossa uusi tieteellinen tieto kyseenalaistaa ja muokkaa mallia välillä onnistuen, välillä erehtyen (Ben-Zvi & Genut, 1998, 353). Kirjantekijöiden ja opettajien tulee teksteissään ja opetuksessaan tuoda selkeästi esille myös jaksollisen järjestelmän rajallisuus mallina. Mendelejev ei osannut sijoittaa kaikkia tunnettuja alkuaineita oikeille paikoilleen kertaheitolla, vaan joutui tekemään uusia versioita alkuperäisestä järjestelmästä; jaksollinen järjestelmä johti esimerkiksi monia Seaborgin aikalaisia harhaan, ennen kuin hän lopulta keksi aktinoidien yhteiset piirteet ja sijoitti ne jaksollisen järjestelmään; vedyn sijainti jaksollisessa järjestelmässä johtaa myös harhaan, koska se ei kerro koko totuutta tästä alkuaineesta.

Kun oppilaalle selvitetään historiallisten mallien avulla, miten jaksollinen järjestelmä on kehittynyt, oppilas ymmärtää jaksollisen järjestelmän rajoitteet ja yhteyden sen hetkiseen kemian ja fysiikan tietämykseen. Ensimmäiset jaksollisen järjestelmän mallit perustuivat makrotason havaintoihin alkuaineista, koska tutkimusvälineistö ei ollut kehittynyt riittävästi. Seuraavan vuosisadan aikana atomin rakenne selvitettiin ja jaksollinen järjestelmä siirtyi kuvaamaan alkuaineiden keskinäisiä mikrotason riippuvuuksia. (Ben-Zvi & Genut, 1998, 352)

Oppilaan tulee päästä itse rakentamaan yksinkertaistettua mallia jaksollisen järjestelmän opetusmallista (Solomon, 1995; Gilbert & Boulter, 1998).

Opetusmalli on sitä tehokkaampi, mitä enemmän oppilaat pääsevät osallistumaan sen kehittämiseen (Saari, 2000, 83). Jaksollisen järjestelmän rakenteen ymmärtämistä helpottaa, jos oppilas pääsee ensin itse luokittelemaan alkuaineita ryhmiin erilaisten ominaisuuksien perusteella. Opettajan johdattelmana oppilas keksii itse uudelleen Mendelejevin kehittämän jaksollisen järjestelmän perusrakenteen. Esimerkiksi Arzi & Sivan (1981) ovat saaneet tällaisesta opetusmenetelmästä myönteisiä oppimistuloksia *From Elements to Compounds*-kurssillaan.

Oppilaan tulee saada kokonaiskäsitys jaksollisesta järjestelmästä, sen vahvuuksista ja rajoituksista (Ben-Zvi & Genut, 1998; Duit, 1991).

Jos jaksollinen järjestelmä opetetaan oppilaalle vain osittain, oppilaalle jää virheellisiä käsityksiä (Ben-Zvi & Genut, 1998, 353). Oppilaalle saattaa jäädä käsitys, että jaksollisuuden laki pätee poikkeuksetta koko jaksolliseen järjestelmään. Näin ei kuitenkaan ole, vaan esimerkiksi pääryhmien alkuaineiden ominaisuudet ovat melko samankaltaisia pystyriveittäin, lantanoidella ja aktinoidella taas vaakariveittäin. Oppilas voi myös virheellisesti luulla, että saman ryhmän alkuaineet ovat lähes identtisiä kaikilta kemiallisilta ja fysikaalisilta ominaisuuksiltaan.

Vaikka perusopetuksessa keskitytään lähinnä pääryhmien alkuaineisiin, on opettajan kuitenkin varmistuttava, että oppilas saa selkeän kokonaiskuvan jaksollisesta järjestelmästä.

3.4.2 Jaksollisen järjestelmän vaihtoehtoisia opetusmalleja

Jaksollisen järjestelmän opetusmallit voivat olla muodoltaan hyvinkin erilaisia, kuten Boulter & Buckleyn (2000) malliluokittelu (TAULUKKO 29) osoittaa. Opettajan mielikuvitus asettaa rajat uudenlaisen, juuri tietylle oppilaalle tai luokalle suunnatun opetusmallin keksimiselle. Opettajan onneksi vaihtoehtoisia jaksollisen järjestelmän opetusmalleja on olemassa jo paljon. Jaksollisen järjestelmän opetuksen perimmäinen tarkoitus on kuitenkin saada oppilas ymmärtämään konsensusmallina toimivan kaksiulotteisen taulukkomallisen jaksollisen järjestelmän rakenne ja sisältö.

Jaksollisen järjestelmän rakenteeseen johdattelevia *pelejä* on kehitetty useita: Mendelejev-bingo, kemiallinen canasta, jaksollinen järjestelmä-peli, atomien päivitys-peli (Swan, 1977; Sivan, 1977; Nash, 1978; Aspholm et al., 2003; Cummo & Matthews, 2002). Pelien avulla oppilas tavallaan rakentaa itse jaksollisen järjestelmän mallin ja kertaa samalla ryhmän ja jakson käsitteitä.

Ruotsissa on kehitetty yksi mielenkiintoinen *historialliseen malliin pohjautuva opetusmenetelmä* (Bolmgren, 1995, 337-338). Siinä kehitetään jaksollisen järjestelmän

karkea runko seuraten *Mendelejevin polkua*. Opettaja valmistaa paksusta paperista pääryhmien alkuaineita (H – Ra) vastaavat ympyrämallit siten että ympyrän halkaisija on verrannollinen alkuaineen atomimassaan ja eri ryhmien alkuaineiden ympyrämallit ovat erivärisiä (esim. ruskea-punainen-oranssi-keltainen-vihreä-sininen-violetti-valkoinen). Värit kuvaavat alkuaineiden samankaltaisia ominaisuuksia. Ympyrämalleihin merkitään kyseisen alkuaineen kemiallinen merkki ja suhteellinen atomimassa. Ympyrämallien taustapuolelle kiinnitetään magneetit ja ne sijoitetaan germaniumia (Ge) lukuun ottamatta taululle epämääräiseksi ympyröiden joukoksi.

Opettaja kertoo ensin oppilaille, miten vaikeaa oli olla tutkija Mendelejevin aikaan. Sen ajan kemistit tiesivät vain joidenkin alkuaineiden atomimassat ja niiden kemiallisia ominaisuuksia. Tässä vaiheessa oppilaille selvitetään ympyröiden koon yhteys atomimassaan ja värin yhteys kemiallisiin ominaisuuksiin. Oppilaiden tehtävänä on nyt keksiä järjestelmä, jossa kaikki tuo tieto on järjestäytyneenä järkevästi kuten Mendelejevin järjestelmässä. Opettajan johdattelee oppilaita järjestämään ensin ympyrämallit kasvavan atomimassan mukaiseen jonoon – samoin teki Mendelejev. Jonossa huomataan värin mukaista jaksollisuutta ja ympyrämallit sijoitetaan jonosta järjestyksessä allekkain lähes värien mukaisiin pystyriveihin. Huomataan, että helium (He), argon (Ar), kalium (K), arseeni (As), seleeni (Se), bromi (Br) ja krypton (Kr) eivät ole värinsä mukaisissa pystyriveissä. Helium siirretään oikeaan paikkaansa, samoin argonin ja kaliumin paikat vaihdetaan. Tämä perustellaan sillä, että Mendelejevin mielestä kemiallisten ominaisuuksien samankaltaisuus oli atomimassaa tärkeämpää. Arseenin, seleenin, bromin ja kryptonin ympyrämalleja siirrellään jaksossa kunnes huomataan, että ne sopivat väriensä mukaisiin pystyriveihin, jos galliumin ja arseenin välin jätetään aukko. Nyt opettaja ottaa esille germaniumin ympyrämallin, joka sopii tyhjään kohtaan. Samalla opettaja kertoo oppilaille, että Mendelejev jätti jaksolliseen järjestelmäänsä monia aukkoja ja ennusti, että niihin sopivat alkuaineet löydetään. Yksi niistä oli germanium.

Tässä opetusmenetelmässä oppilas pääsee itse rakentamaan osan jaksollisen järjestelmän mallista. Samalla hän tutustuu jaksollisen järjestelmän kehittymisprosessiin sekä sen rakenteen perusperiaatteisiin. Bolmgrenin (1995) mukaan hänen kehittämänsä malli auttaa visuaalisuudellaan oppilasta hahmottamaan jaksollisen järjestelmän rakennetta. Mendelejevin polun seuraaminen toimii makrotason

johdatteluna jaksollisen järjestelmän varsinaiseen, mikrotason opettamiseen. Opetusmenetelmä toimii, vaikka mukaan otettaisiin vain alkuaineet vedystä kryptoniin (H – Kr).

Analogiaan perustuvista opetusmalleista mainittakoon kolmen amerikkalaisopettajan kehittämä opetusmalli *The Periodic Table: Our Small, Beautiful Town* (Cherif et al., 1997). Siinä jaksollista järjestelmää verrataan kaupunkiin katuineen ja teineen (pysty- ja vaakarivit), naapurustoineen (pääryhmät), miehineen ja naisineen (metallit ja epämetallit) ja lähiöineen (lantanoidit ja aktinoidit). Tähän opetusmalliin liittyy olennaisesti oppilaan eläytyminen jonkin alkuaineen rooliin. Oppilas voi esimerkiksi kirjoittaa kirjeen kaverilleen, jossa hän kuvailee kaupunkiaan ja naapurustoaan sekä kertoo tarkan osoitteensa. Myös kadonnutta kaupungin asukasta voidaan etsiä. Kadonneesta henkilöstä annetaan tarkka osoite, kemiallisia ja fysikaalisia ominaisuuksia, minkä tyyppisten henkilöiden kanssa kadonnut yleensä viettää aikaansa, syntymäaika (löytövuosi) ja sisarusten määrä (isotoopit). Tämän opetusmallin voisi suomettaa vastaamaan esimerkiksi Helsingin kaupunkia tai oppilaiden omaa asuinpaikkaa.

Oman jaksollisen järjestelmän ja siihen liittyvän jaksollisuuden lain luominen edellyttää, että opettaja on jo perehdyttänyt oppilaat alkuaineisiin sekä jaksollisen järjestelmän evoluutioon, sen rakenteeseen ja toimintaperusteisiin (Levine, 1990). Lisäksi opettajan on syytä esitellä oppilaille innoitukseksi muutamia poikkeavia jaksollisen järjestelmän muotoja, kuten esimerkiksi spiraali, pyramidi, siksak-viiva, 3D-malli. Tämän jälkeen oppilas saa suunnitella oman jaksollisen järjestelmänsä, joka sisältää sovitun määrän alkuaineita. Jaksollinen järjestelmän malli, koko ja ominaisuudet ovat oppilaan vapaasti keksittävässä. Kun jaksollinen järjestelmä on valmis, oppilas kirjoittaa näkyviin omaa järjestelmäänsä kuvaavan jaksollisuuden lain. Oppilaat ovat tehneet esimerkiksi jaksollisen järjestelmän *A story of Joe and Suzy*, missä Joe koostuu metallien ja Suzy epämetallien kemiallisista merkeistä, Joen ja Suzyn kuvia yhdistää puolimetalleista koostuva käsipari, ja heidän yläpuolellaan on lantanoidista ja aktinoidista koostuva pilvi. Toinen esimerkki on *Periodi City*, missä kaupungin jokainen rakennus vastaa yhtä jaksollisen järjestelmän ryhmää.

Jaksolliseen järjestelmään liittyviä suomenkielisiä *opetusvideoita* on saatavilla (esim. Alkuaineet sekä alkuaineiden jaksollinen järjestelmä (2003, 24 min.)). Opetusvideossa opetettava asia esitetään yleensä loogisessa järjestyksessä perusteista kohti sovelluksia. Monissa perusopetukseen tarkoitetuissa videoissa otetaan lopuksi esille oppilaille täysin vieras orbitaali-käsite, joka laajentaa jaksollista järjestelmää lukiotasolle.

Tietokonepohjaisen simuloinnin avulla voidaan nopeasti ja tehokkaasti tarjota oppimisen avuksi eloisa malli ja näin tehostaa ilmiön ymmärtämistä (Barnea, 2000, 310). *Tietokonepohjaisia jaksollisia järjestelmiä* löytyy internetistä lukematon määrä. Niiden tietosisältö ja visuaalisuus vaihtelevat, mutta muotona on pääasiassa pitkä kaksiulotteinen, taulukkomallinen jaksollinen järjestelmä.

Mark Winter Sheffieldin yliopistosta on suunnitellut internetin pitkäaikaisimman sekä tietosisällöltään ja selkeydeltään kehittyneimmän jaksollinen järjestelmän *Webelements* (<http://www.webelements.com>). Tämä englanninkielinen jaksollinen järjestelmä on palkittu useilla tiedepalkinnoilla, ja siitä on valittavissa opettajan tai oppilaan versio. Jaksollisesta järjestelmästä valitaan nuolella haluttu alkuaine, jolloin tietosivu aukeaa. Jokaisesta alkuaineesta on annettu muun muassa seuraavat tiedot: nimi (7:llä eri kielellä), kemiallinen merkki, järjestysluku, atomimassa, ryhmänumero, ryhmän nimi, jaksonumero, lohko, elektronikonfiguraatio (energiatasot tai elektronikuoret) lyhyt kuvaus alkuaineesta (luettava ja/tai kuunneltava), olomuoto huoneenlämpötilassa, väri, metallisuus, valokuva, saatavuusmuodot; tietoa alkuaineen isotoopeista, löytöhistoriasta, käyttötavoista, biologisesta merkityksestä, alkuaineen yhdisteistä. Hienosta sisällöstään huolimatta tämä jaksollinen järjestelmä ei varsinaisesti tue oppilaan yritystä hahmottaa jaksollisen järjestelmän rakennetta, mutta tarjoaa alkuaineista paljon tietoa.

Jaksollisen järjestelmän rakennetta havainnollistamaan on luotu ainakin *David's Whizzy Periodic Table* (<http://www.colorado.edu/physics/2000/applets/a2.html>). Sivusto on englanninkielinen ja jaksollisesta järjestelmästä on käytössä vain neljä ensimmäistä jaksoa eli alkuaineet vedystä (H) kryptonin (Kr). Tämä kuitenkin riittää perusopetuksen tarpeisiin, jos opetuskäytössä on muitakin laajempia malleja. Jaksollisesta järjestelmästä valitaan nuolella alkuaine, ja järjestelmän alapuolelle ilmestyy liikkuva kuva alkuaineen ytimen tai elektronikuorten rakenteesta sekä energiatasot (KUVIO 8). Lisäksi

alkuaineesta kerrotaan nimi, järjestysluku, löytövuosi ja käyttöä havainnollistetaan värikkäällä piirroksella. Tämän järjestelmä tukee oppilasta hahmottamaan ytimen ja elektronikuorten rakenteen yhteyden alkuaineen sijaintiin jaksollisessa järjestelmässä ja antaa oppilaalle käsityksen eri alkuaineiden atomien massoista. Tosin elektronikuoria kuvaavien ympyröiden puuttuminen elektronisimulaatiosta saattaa aluksi hämmentää oppilasta. Samanlainen tai hieman paranneltu sivusto voitaisiin toteuttaa myös suomenkielisenä.

Jaksollista järjestelmää esitteleviä suomenkielisiä internetsivustoja löytyy esimerkiksi opetushallituksen etälukio-sivustolta (<http://www.oph.fi/etalukio/opiskelumodulit/kemia/kemia3/jaksj.html>). Tämän sivuston jaksollinen järjestelmä ei palvele kemian perusopetuksen tarpeita, mutta järjestelmää selittävä teksti on selkeää ja sisältää havainnollistavia kuvia esimerkiksi ryhmän sisäisestä reaktiokyvyn kasvusta.

3.4.3 Aikaisempia tutkimuksia oppilaiden jaksollisen järjestelmän ymmärtämisestä

Jaksollisen järjestelmän edeltävien käsitteiden (aineen rakenne, atomi ja atomin rakenne, isotooppi) ymmärtämiseen liittyviä tutkimuksia on tehty lukuisia (esim. Griffiths & Preston, 1992; Schmidt et al., 2003). Schmidt et al (2003) tutkivat 3074 saksalaisen oppilaan virhekäsityksiä lomakkeen avulla sekä haastattelivat yhdeksää oppilasta. Oppilaiden yleisimmät virhekäsitykset atomin rakenteesta ja isotoopeista olivat seuraavanlaisia: atomi on neutraali, koska siinä on yhtä paljon protoneja ja neutroneja; isotooppi on normaaliatomia pysymättömämpi; isotoopin ja isomeerin käsite sekoittuivat; jaksollinen järjestelmä sisältää vain normaaliatomit, joiden atomimassa on kokonaisluku.

Jaksollisen järjestelmän rakenteen ja malliominaisuuksien ymmärtämistä on myös tutkittu, ja seuraavaksi perehdytään tarkemmin näiden tutkimusten tuloksiin. Abraham et al. (1992) ovat tutkineet amerikkalaisten 8.luokkalaisten kykyä ymmärtää jaksolliseen järjestelmään liittyvää jaksollisuuden käsitettä, kun oppimateriaalina on ollut pelkkä oppikirjateksti. Tässä tutkimuksessa 247 oppilasta vastasivat kuvitteellisia alkuaineita sisältäneen, viisiryhmäisen ja kolmejaksoisen järjestelmän avulla alkuaineiden ryhmäominaisuuksia ja massalukua koskeneisiin soveltaviin kysymyksiin.

Ryhmäominaisuuksia koskeneessa kysymyksessä oppilaan piti päätellä vihjeyhdisteiden avulla, miten toiset samojen ryhmien alkuaineet muodostaisivat yhdisteitä. Ainoastaan kaksi oppilasta eli alle 1 % vastasi oikein tähän kysymykseen. Järjestyslukua koskeneessa kysymyksessä oppilaan piti päätellä erään alkuaineen massaluku viereisten alkuaineiden massalukujen perusteella. Tähän kysymykseen vastasi oikein 37 %, ja virhekäsityksiä ilmeni 5 % oppilaista. Tämän tutkimuksen perusteella voidaan sanoa, että opetusmallin käytöllä on suuri merkitys jaksollisen järjestelmän rakenteen ymmärtämisessä, varsinkin oppilailla, jotka eivät vielä ole saavuttaneet kehityksessään formaalien operaatioiden vaihetta.

Jaksollista järjestelmää käytettiin esimerkkinä tieteellisestä mallista, kun haluttiin tutkia oppilaiden ymmärrystä mallin pätevydestä ja rajallisuudesta erityisesti ennusteiden teossa (Ben-Zvi & Genut, 1998). Tutkimus toteutettiin Israelissa 120:lle oppilaalle (12-15 v.). Tutkimukseen osallistuneilla oppilailla oli yleisenä ennakkokäsityksenä, että jaksollisen järjestelmän avulla voidaan täysin ennustaa tuntemattoman alkuaineen ominaisuudet. Kun oppilaat olivat saaneet neljän oppitunnin aikana tutustua ohjatusti jaksollisen järjestelmän historiaan, noin puolet oppilaista uskalsi kyseenalaistaa jaksollisen järjestelmän täysin pätevänä ennusteiden teon välineenä, kontrolliryhmästä vain noin 10 %. Tämä tutkimus osoittaa, että perusteellisen, historiallisiin malleihin pohjautuvan opetuksen avulla oppilaat ymmärtävät mallin pätevyysalueen olevan aina rajallinen. Malli ei voi koskaan täysin vastata kohdettaan.

Yhdysvaltojen ja Meksikon raja-alueella tehdyssä tutkimuksessa (Handal et al., 1999) haluttiin selvittää, oppivatko oppilaat jaksollisen järjestelmän rakenteen paremmin animaatiovideon vai tekstin avulla. Tutkimukseen osallistui yhteensä 320 oppilasta Yhdysvalloista ja Meksikosta. Tutkimuksessa käytetyllä videolla ja tekstillä oli sama asiasisältö: alkuaineiden rakenne, Mendelejevin alkuperäinen jaksollinen järjestelmä ja nykyinen jaksollinen järjestelmä. Videon katselun tai tekstin lukemisen jälkeen oppilaat osallistuivat monivalintakysymyksiä sisältäneeseen testiin. Videon katselleista yhdysvaltalaisista oppilaista 38 % vastasi kaikkiin kysymyksiin oikein, tekstin lukeneista vain 9 %. Meksikolaisilla oppilailla eroa ei havaittu. Tämän tutkimuksen perusteella voidaan kuitenkin päätellä, että multimedian käyttö opetuksessa todennäköisesti tukee jaksollisen järjestelmän oppimista.

4 TUTKIMUKSEN SUORITTAMINEN

4.1 Tutkimustavoitteet ja tutkimusongelmat

Tämän tutkimuksen ensimmäisenä päätavoitteena on selvittää 8. luokan oppilaiden tietämystä jaksollisen järjestelmän sisältämästä tiedosta sekä jaksollisen järjestelmän käyttötaitoa. Toisena päätavoitteena on tarkastella jo olemassa olevia opetusmenetelmiä ja kehittää uusia tukemaan jaksollisen järjestelmän oppimista ja sen käyttöä opetusmallina opetuksessa. Lisäksi tavoitteena on saada selkeä kokonaiskuva alkuaineiden jaksollisen järjestelmän historiasta ja nykytilasta, sekä sen erilaisista esitystavoista.

Tälle tutkimukselle hahmottuvat teoriataustan ja tutkimustavoitteiden pohjalta seuraavat keskeiset tutkimusongelmat 1) ja 2):

Tavoite: 8. luokan oppilaiden alkuaineiden jaksolliseen järjestelmään liittyvän tietämyksen ja käyttöaidon selvittäminen

- 1) Mitkä jaksollisen järjestelmän rakenteeseen liittyvät käsitteet jäävät oppilaille epäselviksi?

Tavoite: Alkuaineiden jaksollisen järjestelmän opetusmenetelmien kartoittaminen ja uuden kehittäminen tukemaan paremmin jaksollisen järjestelmän rakenteen ymmärtämistä ja myöhempää käyttöä kemian oppimisen tukena.

- 2) Miten jaksollista järjestelmää voidaan käyttää opetusmallina niin, että se tukee oppilaiden kemian ymmärrystä?

- 2.1) Millaisia jaksollisen järjestelmän opetusmalleja voidaan käyttää kemian perusopetuksessa?

- 2.2) Miten jaksollisen järjestelmän opetusta voidaan kehittää oppilaille epäselviksi jääneiden asioiden osalta?

4.2 Tutkimusmenetelmät

Ensimmäistä tutkimustavoitetta koskevat oppilastutkimukset olivat laadultaan kvalitatiivisia kartoittavia kyselytutkimuksia. Niiden avulla oli tarkoitus selvittää 8. luokan oppilaiden alkuaineiden jaksolliseen järjestelmään liittyvää tietämystä ja käyttötaitoa aiheen opetuksen jälkeen.

Jaksollisen järjestelmän liittyvää tietämystä ja käyttötaitoa koskeviin oppilaskyselyihin osallistui yhteensä 38 oppilasta yhdestä Espoon kaupungin koulusta (TAULUKKO 31). Tutkimuksen kohteeksi valittiin koulusta kaksi 8. luokkaa, joilla oli kemian opetuksessa käsitelty jaksollinen järjestelmä tutkimusta edeltävän kolmen kuukauden aikana ja sama kurssi jatkui edelleen. Kemian opetuksessa oli ehditty jaksollisen järjestelmän jälkeen käsitellä myös ioni- ja molekyyliyhdisteet. Luokilla oli eri kemian opettajat, mutta molemmilla luokilla oli varsinaisena jaksollisen järjestelmän mallina käytetty TAULUKON 30 jaksollista järjestelmää. Magnesiumin ominaisuuksia koskevaan toiseen oppilaskyselyyn osallistunut luokka oli opettajansa johdolla lisännyt tähän jaksolliseen järjestelmään metallit ja epämetallit erottavan portaittaisen viivan.

TAULUKKO 31. Oppilaskyselyihin osallistuneiden 8.luokan oppilaiden taustatiedot.

OPPILASKYSELY	tyttöjä	poikia	yhteensä
kyselylomake 1	9	10	19
kyselylomake 2	10	9	19

Molemmissa oppilaskyselyissä vastausaikaa oli yhden oppitunnin (45 min) verran. Ensimmäinen oppilaskysely, joka koski jaksolliseen järjestelmän sisältöön liittyvää tietämystä, tehtiin 7.12.2004. Kyselylomakkeen lisäksi oppilaille oli tutkimuksen ajan nähtävillä piirtoheittimellä heijastettu, TAULUKON 30 mukainen jaksollinen järjestelmä. Ensimmäiseen kyselylomakkeeseen vastanneille oppilaille oli varsinaista jaksollisen järjestelmän opetusta ollut neljä oppituntia. Toinen, enemmän jaksollisen järjestelmän käyttötaitoa mittaava kysely, tehtiin 9.3.2005. Näille oppilaille oli jaksollista järjestelmää opetettu kahden oppitunnin verran. Molempien oppilaskyselyjen kyselomakkeet ovat tämän työn liitteenä (LIITE 1 & LIITE 2).

Ensimmäinen kyselylomake (LIITE 1) laadittiin käsitekartan tapaiseksi käsitteiden verkostoksi. Verkoston rakenteen varsinaisena pohjana käytettiin Royal Society of Chemistryn laatimaa oppilaan työvihkoa vastauksineen, ja lisäksi kemian oppikirjoista löytyneitä jaksollisen järjestelmän rakennetta havainnollistavia käsitekarttoja (esim. Kärnä et al., 1998; Aspholm et al., 2003). Toinen kyselylomake (LIITE 2) laadittiin hyväksi havaittujen tunti- ja koetehtävien pohjalta.

Tutkimustulosten käsittelyssä käytettiin menetelmänä sisällön erittelyä (*content analysis*) (esim. Krippendorff, 2004). Oppilaat koodattiin (K1-K19 ja M1-M19) ja kyselylomakkeiden vastaukset koottiin aihealueittain ryhmiksi, joista eriteltiin virheelliset vastaukset täysin oikeiden joukosta. Virheelliset vastaukset pyrittiin kokoamaan selkeiksi ryhmiksi. Muutamat oppilaiden vastaukset eivät liittyneet lainkaan tutkittuun aiheeseen ja ne jätettiin huomiotta.

Toisen tutkimustavoitteen saavuttamiseksi perehdyttiin aiheeseen liittyviin innovatiivisiin tieteellisiin julkaisuihin ja lehtiartikkeleihin, joiden pohjalta kehitettiin uudenlainen opetustapa jaksollisen järjestelmän opettamiseen. Tämän tutkimuksen teoriatausta koottiin näiden julkaisujen ja lehtiartikkelien pohjalta ja se toimi vankkana pohjana toisen tutkimustavoitteen saavuttamiseksi.

5 TUTKIMUSTULOKSET JA LUOTETTAVUUSTARKASTELU

5.1 Oppilaiden (8.lk) alkuaineiden jaksollisen järjestelmän ymmärtäminen

Tässä luvussa vastataan tutkimusongelmaan 1).

5.1.1 Atomin rakenteeseen liittyvät käsitteet

Oppilaan täytyy hallita atomin rakenteeseen liittyvät käsitteet (ydin, elektronikuoret, neutronit, protonit, elektronit) sekä järjestysluvun, massaluvun ja isotoopin käsitteet ennen kuin hän voi oppia ymmärtämään ja käyttämään jaksollista järjestelmää kemian oppimisensa tukena.

Oppilaista puolet ymmärsi *alkuaineen ja atomin* yhteyden toisiinsa. Yleisin virhekäsitys (17 %) oli se, että alkuaine ja atomi ovat samoja asioita. Yksi oppilas ajatteli, että jokaisessa alkuaineessa on eri määrä atomeja.

”Alkuaineet ovat atomeita.” (K14)

”Atomeja voi myös sanoa alkuaineiksi.” (K1)

”Alkuaineissa jokaisella on eri määrä atomeita.” (K2)

Atomin perusrakenteen eli *ytimen ja elektronikuorten* käsitteet hallittiin kohtalaisesti. Oppilaista 68 % ymmärsi atomin aina sisältävän ytimen ja 50 %, että atomissa on elektronikuoria, joille elektronit sijoittuvat. Yleisin virhekäsitys sekä ytimen (5 %) että elektronikuorien (17 %) kohdalla oli, että niiden ajateltiin sisältävän atomeja. Molempiin kohtiin jätti vastaamatta 28 % oppilaista, eikä heidän oikeita tai virhekäsityksiään näin ollen voida tietää.

”Alkuaineen ytimessä on tietty määrä atomeita.” (K5)

”Atomit jakautuvat määrän mukaan eri elektronikuorille.” (K3)

”Elektronikuorilla on tietty määrä atomeita: K:lla 2, M:llä 8, N:llä max 18.” (K5)

Ytimen ja protonien yhteyden toisiinsa ymmärsi 53 % oppilaista. *Protonien ja järjestysluku*-käsitteen yhteys toisiinsa osattiin hieman paremmin (58 %). Oppilaiden virhekäsitykset (26 %) liittyivät protonien lukumäärään tai sijaintiin ytimessä sekä järjestysluvun ja massaluvun sekoittamiseen keskenään. Magnesiumin järjestysluvun

(12) mainitsi puolet (50 %) toisen kyselyn oppilaista, mutta vain 21 % ilmoitti sen tarkoittavan protonien tai elektronien lukumäärää atomissa.

"Alkuaineilla on ytimessä jonkin verran protoneita." (K5)

"Ytimen ympärillä on monia protoneita." (K19)

"Ytimessä on 1 protoni ja 1 elektroni." (K12)

"Ytimen ulkokuorella on protoneita." (K10)

"Järjestysluku = protonit + neutronit" (K7)

"[Magnesiumilla on] atomien määrä 12." (M11)

Ytimen hiukkasten ja massaluku-käsitteen yhteyden toisiinsa ymmärsi puolet tutkituista oppilaista. Virhekäsityksissä (22 %) massaluku-käsite liitettiin väärin hiukkasiin. Massaluku- ja isotooppi-käsitteet osasi yhdistää toisiinsa neljä oppilasta (21 %), muut oppilaat eivät vastanneet tähän kohtaan tutkimuslomakkeessa.

"Atomeilla on kaikilla oma massaluku. Se riippuu siitä, kuinka monta protonia atomissa on." (K19)

"Massaluku on protonien ja elektronien yhteismäärä." (K12)

Atomin uloin elektronikuori (valenssikuori) oli selvä puolelle oppilaista. Virhekäsityksissä (17 %) atomin ulointa elektronikuorta ei laskettu lainkaan mukaan tai sen piti ehdottomasti sisältää kahdeksan elektronia. Nämä tulokset viittaavat siihen, että atomin uloimman elektronikuoren käsite on sekoitettu metalli- ja epämetalli-ionien elektroni-kuorirakenteeseen.

"Uloin kuori on 0." (K5)

"Uloimmalla kuorella ei ole yhtään protonia. Yleensä sitä ei lasketa ollenkaan mukaan." (K19)

"Uloimmalla kuorella on oltava kahdeksan elektronia." (K4)

Atomissa on aina yhtä paljon positiivisia protoneja ja negatiivisia elektroneja. Tämän ymmärsi puolet oppilaista. Virhekäsityksissä (23 %) oppilas sekoitti joko hiukkasten varaukset tai atomin ja elektronin käsitteet keskenään.

"Protonit ovat negatiivisesti varautuneita, elektronit varauksettomia." (K5)

"Elektroneja on saman verran kuin protoneja. Elektronit ovat varauksettomia." (K12)

"Jokaisella elektronilla on eri määrä protoneita." (K19)

Yhteenvedona voidaan sanoa, että keskimäärin puolet oppilaista hallitsi atomin perusrakenteen hiukkasineen, sekä käsitteet järjestysluku ja massaluku. Isotooppi-käsite oli lähes kaikille oppilaille tuntematon tai liian vaikea selitettäväksi.

5.1.2 Ryhmät ja jaksollinen järjestelmä

Tämän tutkimuksen mukaan oppilaat ymmärtävät melko hyvin (68 %), että jaksollinen järjestelmä koostuu *pystyriveistä eli ryhmistä*, joista osaa kutsutaan *pääryhmiksi*. Opetuksessa ja oppikirjoissa käytettävät keskeiset käsitteet ryhmä ja pääryhmät ovat kuitenkin osalle oppilaita (16 %) edelleen epäselviä tai menneet sekaisin jakso-käsitteen kanssa. Magnesiumille mainitsi oikean ryhmän 53 % toisen kyselyn oppilaista.

”Pääryhmät ovat jaksollisen järjestelmän kahdeksan ensimmäistä ryhmää vaakatasossa vasemmalta oikealle.” (K2)

”Pääryhmät kertovat sen, kuinka monta elektronikuorta on atomilla. Ja kertoo sen, mihin ryhmään alkuaine kuuluu.” (K1)

Pääryhmään kuuluvan alkuaineen atomin *uloimman elektronikuoren yhteys pääryhmään* oli selvä vain viidesosalle (16 %) oppilaista. Virhekäsityksiä oli monenlaisia, eikä niiden joukosta noussut yhtä selkeää virhekäsitystä. Puolet oppilaista (53 %) jätti vastaamatta tähän kohtaan ensimmäisessä tutkimuslomakkeessa.

”Uloimmalla kuorella ei ole yhtään protonia. Se jaetaan pääryhmiin.” (K19)

”Alkuaineen järjestysluku kertoo, kuinka monta elektronia uloimmalle kuorelle tulee.” (K12)

”[Mg:lla on] kaksi ulkoelektronia. Se kuuluu 2. jaksoon, joka kertoo ulkoelektronien määrän.” (M4)

”[Magnesium] kuuluu 2. jaksoon ja 3. ryhmään.” (M2)

Yksikään toiseen tutkimuslomakkeeseen vastannut oppilas ei maininnut magnesiumin ominaisuudeksi sitä, että se *muodostaa ionin* Mg^{2+} . Tietynlaisen ionin muodostaminen on kuitenkin sidoksissa alkuaineen pääryhmään eli uloimman elektronikuoren rakenteeseen.

5.1.3 Jaksot ja jaksollinen järjestelmä

Puolet (51 %) oppilaista ymmärsi, että *jaksollisen järjestelmän vaakarivit ovat jaksoja*. Jakson käsite on ryhmän käsitteen ohella toinen keskeinen opetuksessa ja oppikirjoissa esiintyvä käsite. Jaksollinen järjestelmän malli perustuu nimenomaan alkuaineiden jaksolliseen käyttäytymiseen. Yleisin (16 %) oppilaiden virhekäsityksistä oli jaksojen sekoittaminen ryhmiin. Kolmasosa oppilaista ei vastannut tähän kohtaan ensimmäisessä eikä perustellut tietoaan toisessa oppilastutkimuksessa.

”Jakso on jaksollisen järjestelmän pystyrivi, joka kertoo, montako elektronikuorta aineella on.” (K2)

”Jaksot kertovat sen, kuinka monta elektronia on atomin ulkokuorella.” (K1)

Jaksollisen sijainnin merkityksen atomin rakenteeseen oli sisäistänyt kolmasosa (37 %) oppilaista. Virhekäsityksistä (28 %) yleisin oli vääristynyt käsitys mallista. Oppilaat ajattelivat esimerkiksi, että jaksollinen järjestelmä määrää alkuaineen atomille tietyn määrän elektronikuoria. Toinen virhekäsitys liittyi käsitteiden jakso ja ryhmä sekoittamiseen keskenään.

”Elektronikuoret ja jaksot ovat samaa.” (K13)

”Elektronikuoret määräytyvät jaksollisen järjestelmän mukaan.” (K16)

”Eri jaksoissa on eri määrä elektroneja ulkokuorella.” (K1)

”Vasemmalla olevat numerot kertovat mihin ryhmään alkuaine kuuluu eli elektronikuoret.” (M4)

”[Magnesium] kuuluu 2. jaksoon ja 3. ryhmään.” (M2)

5.1.4 Metallisuus, atomimassa ja muut ominaisuudet

Metallisuuden päättelykyky alkuaineen sijainnin perusteella jaksollisesta järjestelmästä erosi suuresti tutkimukseen osallistuneiden luokkien kesken. Oppilaista, jotka olivat opettajan kanssa lisänneet jaksolliseen järjestelmään metallit ja epämetallit erottavan portaittaisen viivan, osasi nimetä magnesiumin metalliksi peräti 74 %. Perusteluiksi oppilaat esittivät magnesiumin sijaitsevan ”sen portaikon vasemmalla puolella”, vaikkei tutkimuslomakkeen järjestelmässä portaikkoa ollutkaan merkitty.

Ensimmäiseen tutkimukseen osallistuneista oppilaista vain yksi (5 %) mainitsi, että metallit ovat yleensä jakson alussa ja epämetallit lopussa. Virhekäsityksistä (61 %) yleisin oli luulo, että metallit ja epämetallit on jaettu järjestelmässä eri jaksoihin. Myös epämetallien sekoittaminen epäjaloihin metalleihin aiheutti virhekäsityksiä. Lisäksi 63 % oppilaista jätti vastaamatta tähän kohtaan ensimmäisessä tutkimuslomakkeessa.

”Alkuaine on joko metalli tai epämetalli, ja se on sen perusteella jaettu eri jaksoihin.” (K12)

”Metallit ovat oma jaksonsa. Epämetallitkin ovat jaksonsa.” (K8)

”Epämetalli on omassa jaksossa.” (K4)

”Metallit on jaettu metalleihin ja epämetalleihin.” (K7)

”Metallit ovat ensimmäisiä jaksoja ja reagoivat muiden kanssa.” (K13)

Oppilaista 16 % antoi magnesiumille *atomimassaksi* 24,31 eli jaksollisessa järjestelmässä olevan massaluvun. Kukaan vastanneista ei selittänyt, että tuo desimaaliluku on oikeasti magnesiumiatomin eri isotooppien painotettu keskiarvo. Jonkin tietyn atomin atomimassa on aina kokonaisluku ja magnesiumin yleisin isotooppi on Mg-24 ($24,31 \approx 24$). Tämä vahvistaa aiemmin todettua isotooppi-käsitteen huonoa hallintaa. Yksi oppilas oli sekoittanut massaluvun järjestyslukuun ja lisäksi ymmärtänyt järjestysluku-käsitteenkin väärin.

”24,31 on atomin elektronien ja protonien yhteismäärä.” (M2)

Toiseen tutkimukseen osallistuneista oppilaista 21 % oli ymmärtänyt atomimassan käsitteen ainakin yleisellä tasolla. He osasivat päätellä magnesiumin atomimassasta jotain sen sijainnin perusteella: melko kevyt; ei kovin painava; 24 kertaa vetyä painavampi; kevyempi kuin sitä suuremman järjestysluvun alkuaineet, raskaampi kuin sitä pienemmän järjestysluvun alkuaineet.

Alkuaineiden kemiallisten ominaisuuksien samankaltaisuuden pääryhmittäin oli ymmärtänyt kohtalaisesti 47 % tutkimukseen osallistuneista oppilaista. Oppilaiden mukaan alkuaineet on jaettu pääryhmiin niiden kemiallisten ominaisuuksien perusteella. Kaksi oppilasta mainitsi, että pääryhmästä voi päätellä, kuinka reaktiivinen alkuaine on.

Atomin koon (säteen) ryhmittäistä ja jaksollista muuttumista ei ymmärtänyt kukaan oppilaista. Luultavasti asiaa ei ollut käsitelty oppitunneilla ollenkaan.

”Pääryhmät jaetaan atomisäteiden mukaan.” (K8)

Kaiken edellä mainitun lisäksi yksi oppilas kirjoitti, että magnesiumatomilla on *säännöllinen atomirakenne*, koska se kuuluu pääryhmään. Kaksi oppilasta taas osasivat kertoa, ettei magnesium ole *radioaktiivinen* ja se pysyy muodossaan vuosia, koska se ei sijaitse järjestelmän alapäässä.

5.2 Oppilastutkimuksen luotettavuustarkastelu

Oppilastutkimus suoritettiin luvussa 4.2 mainitulla tavalla, kahdella erilaisella tutkimuslomakkeella. Tutkimuslomakkeiden (LIITE 1 & LIITE 2) validiteetti eli kohdepätevyys oli hyvä, koska vastauksiksi saatiin odotetusti oppilaiden käsityksiä jaksolliseen järjestelmään liittyvien käsitteiden yhteyksistä toisiinsa. Tutkimuslomakkeissa lähestyttiin samaa tutkimuskohdetta siten että ensimmäisen tutkimuslomakkeen avulla tutkittiin jaksolliseen järjestelmään liittyvien käsiteyhteyksien ymmärtämistä yleisellä tasolla ja toisella tutkimuslomakkeella samoja käsiteyhteyksiä sovellettuna yhteen tiettyyn alkuaineeseen. Ensimmäinen tutkimuslomake (LIITE 1) oli tosin hieman liian laaja sisältäen tarkasti myös atomin rakenteeseen liittyvät käsitteet. Lisäksi siinä oli käytetty termiä atomin säde atomin koon sijaan. Tämä saattoi hämmentää oppilaita.

Oppilastutkimuksen luotettavuus oli erittäin hyvä, koska kahden eri tutkimuslomakkeen ja kahden eri luokan mittaustulokset vastasivat toisiaan. Ainoa selvä poikkeama kahden eri luokan välillä oli alkuaineen metallisuuden päättelykyvyssä. Tämä ero saattoi kuitenkin johtua siitä, että paremman mittaustuloksen antanut luokka oli jaksollista järjestelmää opetellessaan piirtänyt vihkonsa jaksolliseen järjestelmään metallit ja epämetallit erottavan portaittaisen viivan yhdessä opettajan kanssa.

Oppilaiden kirjalliset vastaukset luokitteli ja tulkitsti ainoastaan tutkija itse, joten tulokset olisivat saattaneet olla hieman erilaisia, jos useampi henkilö olisi luokitellut oppilaiden vastaukset.

5.3 Opetusmenetelmän ideointi jaksollisen järjestelmän perusopetukseen

Tämä luvussa vastataan tutkimusongelmaan 2) sekä alaongelmiin 2.1) ja 2.2.).

5.3.1 Alkuaineiden jaksollisen järjestelmän opetus ja opetusmallit perusopetuksessa

Tutkimuksen teoriataustasta nousee esiin jaksollisen järjestelmän opetuksesta seuraavat olennaiset asiat:

- Valtakunnallisen opetussuunnitelman kemian perusopetuksen tavoitteina on saada oppilas oppimaan aineen rakennetta kuvaavia käsitteitä ja malleja sekä selittämään alkuaineiden ja yhdisteiden ominaisuuksia ja rakenteita atomimallin tai jaksollisen järjestelmän avulla.
- Oppilaan atomin rakenteeseen liittyvä tietorakenne eli mentaalimalli on oltava selkeä ja loogisesti rakentunut, että hän pystyy omaksumaan jaksolliseen järjestelmään sisältyvän makro- ja mikrotason tiedon.
- Jaksollisen järjestelmän opetuksessa on käytettävä useita eri opetusmalleja, joiden tulee vastata oppilaan kehitystasoa (tutunomainen, visuaalinen, rakenteellisesti selkeä, helposti opittavissa), sisältää tieteellisen mallin olennaisimmat rakenteet (ei epäolennaisuuksia) ja tarjota oppilaan tarpeita vastaava selitys ilmiölle. Usean mallin käytöllä saadaan kehitettyä oppilaan ilmiön selityskykyä.
- Ainakin yksi jaksollisen järjestelmän opetusmalleista on suotavaa olla historiallinen malli, jonka avulla oppilas hahmottaa sekä jaksollisen järjestelmän että kemian tieteen kehittymisen makrotasolta mikrotasoa tutkivaksi, ja ymmärtää mallin rajallisuuden ja muuttuvuuden.
- Ainakin yksi jaksollisen järjestelmän opetusmalleista on sellainen, jonka oppilas saa suunnitella tai rakentaa itse, kuitenkin opettajan avustuksella.

Jaksollisen järjestelmän mallien tekemiseen ja testaamiseen on varattava riittävästi aikaa.

- Ainakin yksi jaksollisen järjestelmän opetusmalleista on oltava virallinen konsensusmalli, että oppilas saa kokonaiskäsityksen jaksollisesta järjestelmästä.
- Jaksollisen järjestelmän mallien avulla on ratkaistava ongelmia, että oppilas oppii käyttämään jaksollisen järjestelmän sisältämää tietoa itsenäisesti.

Oppilastutkimuksen tuloksista nähdään, että puolet oppilaista hallitsi heikosti atomin rakenteen ja siihen liittyvät käsitteet. Opettajan täytyy varmistua, että oppilaat pääosin hallitsevat atomiasiat, ennen kuin hän siirtyy opettamaan jaksollista järjestelmää. Muuten oppilaat eivät pysty omaksumaan jaksollisen järjestelmän sisältämää tietoa loogisena kokonaisuutena.

Varsinaisesti jaksollisen järjestelmään sisältyviä käsitteitä ja tietoa oppilaat hallitsivat suurin piirtein samantasoisesti kuin atomin rakenteenkin, jopa hieman heikommin. Erityisesti seuraavat asiat olivat jääneet osalle oppilaita tuntemattomiksi, epäselviksi tai menneet keskenään sekaisin:

- ryhmän ja jakson käsite
- pääryhmän ja uloimman elektronikuoren yhteys
- jakson ja elektronikuorien lukumäärän yhteys
- järjestysluvun ja massaluvun käsite
- atomimassa ja isotoopit
- metallien ja epämetallien sijainti jaksollisessa järjestelmässä
- pääryhmän ja ionivarauksen yhteys

Edellä mainittu lista sisältää oikeastaan kaikki jaksollisen järjestelmän rakenteen perusteet. Niiden hallintaa on harjoiteltava oppilaille mielekkäillä opetusmenetelmillä, joissa käsitteet muodostavat kuin huomaamatta loogisen verkoston oppilaan tietorakenteessa olevien, atomin rakenteeseen liittyvien käsitteiden kanssa.

5.3.2 Uusi opetusmenetelmä: alkuainesuunnistus

Teoriataustan ja oppilastutkimuksen tulosten olennaisimmat, alkuaineiden jaksollisen järjestelmän opettamista ja ymmärtämistä koskevat asiat on koottu yhteen luvussa 5.3.1. Näiden tulosten pohjalta on kehitetty yksi uusi jaksollisen järjestelmän opetusmenetelmä vastauksena tutkimusongelmaan 2.2).

Kehitetyn opetusmenetelmän tavoitteena on auttaa oppilaita hallitsemaan oppilastutkimuksen perusteella epäselviksi jääneitä jaksollisen järjestelmän peruskäsitteitä. Oppilas ratkaisee alkuaineiden jaksollisen järjestelmän avulla pienimuotoisia ongelmia samalla kerraten ja soveltaen aiemmin oppimiaan käsitteitä. Tämä opetusmenetelmä on käyttökelpoinen, kun jaksollisen järjestelmän perusteet on jo opetettu.

Opetusmenetelmä on nimeltään *alkuainesuunnistus*. Alkuainesuunnistuksessa *karttana* toimii pitkä jaksollinen järjestelmä, jossa on annettu alkuaineista kemialliset merkit, järjestysluvut ja suhteelliset atomimassat. Lisäksi jaksollisessa järjestelmässä on oltava metallit ja epämetallit erottava portaittainen viiva. Opettaja voi päättää, näkykö kartassa myös ryhmien ja jaksojen numerot. *Suunnistusrastit* sijaitsevat eri alkuaineiden kohdalla jaksollisessa järjestelmässä.

Suunnistuksessa siirrytään suullisesti tai kirjallisesti annettujen vihjeiden perusteella alkuaineesta toiseen. Vihjeet annetaan käyttäen vaakarivin, pystyrivin, jakson, ryhmän, alkuaineen, metallin, epämetallin, järjestysluvun, atomimassan ja haluttaessa myös ionivarauksen käsitteitä. Lisäksi voidaan käyttää pääryhmien nimiä. Uudelle alkuainerastille eli uuden alkuaineen kohdalle saavuttaessa tästä alkuaineesta esitetään kysymys tai tehtävä, joka liittyy alkuaineen jaksoon, ryhmään, atomirakenteeseen, atomimassa, järjestyslukuun tai ionin muodostamiseen. Oppilaat vastaavat kysymyksiin joko erilliselle paperille tai vihkoon.

Suunnistuksen pituuden voivat opettaja ja oppilaat päättää yhdessä. LIITTEESSÄ 3 on esimerkkinä yksi alkuainesuunnistuksen alkuainerastilista. Jokainen opettaja ja miksei oppilaatkin voivat kehittää itse uusia ja mitä mielenkiintoisimpia alkuainesuunnistuksia jaksollinen järjestelmä karttanaan.

Alkuainesuunnistus-opetusmenetelmää voidaan muokata esimerkiksi seuraavasti:

- Nopea alkuainesuunnistus: ainoastaan suunnistuksen viimeisestä alkuainerastista esitetään kysymys, joka samalla paljastaa, onko oppilas osannut suunnistaa.
- Alkuainesuunnistus koetehtävänä: jokainen alkuainerasti ja siihen sisältyvä kysymys on toisistaan riippumaton, jolloin oppilaan jossain kohdassa tekemä virhe ei kertaudu.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Kemian luokkaan astuttaessa näkyy seinällä iso taulukko, jonka otsikkona on 'alkuaineiden jaksollinen järjestelmä'. Mitä oppilas näkee tässä taulukossa? Oppilas näkee liudan suorakulmaisia laatikoita, jotka on ympäröity numeroilla. Jokainen laatikko sisältää kirjainsymboleja ja numeroita, joita on vaikeaa, lähes mahdotonta lukea. Alkuaineiden jaksollinen järjestelmä on tiivis taulukko, johon on pakattu pieneen tilaan paljon alkuaineita ja niiden välisiä reaktioita koskevaa tietoa. Oppilaalle on vain osattava opettaa tämän opetusmallin rakenne niin, että hän pystyy käyttämään alkuaineiden jaksollista järjestelmää kemian oppimisensa tukena.

Tämä pro gradu-tutkielma on ensimmäinen alkuaineiden jaksollisen järjestelmän ymmärtämistä ja opetuskäyttöä koskeva tutkimus Suomessa. Tutkimuksen teoriataustassa selvitetään järjestyksessä alkuaineiden jaksollisen järjestelmän historiallinen kehittyminen ja nykyinen rakenne, sekä annetaan aavistus tulevastakin ajan alkuaineista siirrytään vaiheittain kohti Mendeleevin jaksollisen järjestelmän rakennetta, johon nykyinen jaksollinen järjestelmä pohjautuu. Atomin rakenteen selviäminen vain vahvistaa Mendeleevin järjestelmän oikeellisuuden, mutta lisää samalla jaksollisen järjestelmän käyttömahdollisuuksia tieteen apuvälineenä. Alkuaineiden jaksollisen järjestelmän kehittymisen mielenkiintoinen historia kertoo myös tieteen yleisestä kehityssuunnasta makrotasolta kohti mikrotasoa. Opettajan on tiedettävä riittävästi opettamansa ilmiön ja siihen liittyvän mallin taustoista. Tämä tutkimus tarjoaa katsauksen alkuaineiden jaksollisen järjestelmän historiallisista taustoista ja rakenteesta niin perusopetuksen kuin lukion kemian opettajille.

Teoriataustassa hahmotetaan myös mallin opetuskäyttöä yleensä, sekä erityisesti alkuaineiden jaksollisen järjestelmän käyttöä opetusmallina kemian perusopetuksessa. Mallin opetuskäyttöä koskeva yleinen teoria selkeyttää varmasti jokaisen opettajan ajatuksia oppitunneilla käyttämistään malleista. Se saattaa avata aivan uusia näkökulmia omaan opetukseen. Tämän tutkimuksen tekijän tärkeimpänä ajatuksena on kuitenkin ollut luoda kemian perusopetusta tukeva kokonaisuus alkuaineiden jaksollisesta järjestelmästä. Tutkimus tarjoaa olennaisia ohjeita jaksollisen järjestelmän toimivaan

opetuskäyttöön sekä erilaisia opetustapoja ja vaihtoehtoisia opetusmalleja – kaikki yksissä kansissa.

Tässä tutkimuksessa selvitettiin, miten oppilaat ymmärtävät jaksolliseen järjestelmään liittyviä käsitteitä ja miten hyvin he osaavat käyttää järjestelmää. Erityisesti haluttiin selvittää, mitkä asiat jäävät oppilaille epäselviksi. Tulokset kertoivat karkeasti erilaisista jaksollisen järjestelmän ymmärrystä häiritsevistä virhekäsityksistä. Ne olivat atomin rakenteen ja isotooppi-käsitteen osalta samankaltaisia kuin tulokset aiemmassa tutkimuksessa (vrt. Schmidt et al, 2003).

Oppilastutkimus oli kartoittava lomaketutkimus, jonka tulosten ja teoriataustan pohjalta tutkija kehitti yhden uuden jaksollisen järjestelmän opetustavan, alkuainesuunnistuksen. Sen tarkoituksena on auttaa oppilasta rakentamaan selkeä ja looginen tietorakenne jaksolliseen järjestelmään liittyvistä peruskäsitteistä. Opetusmenetelmä on muunneltavissa, mikä tekee siitä soveltuvan erilaisiin opetustarpeisiin.

Melko pienimuotoisena toteutettu oppilastutkimus oli vain pieni pintaraapaisu, joka toimii suuntaa antavana perustana tuleville tutkimuksille. Jos todella tahdotaan selvittää oppilaan oma mentaalimalli alkuaineiden jaksollisesta järjestelmästä, täytyy oppilaan käsiterakenteisiin päästä syvemmälle.

Oppilaiden jaksollisen järjestelmän ymmärtämistä voisi jatkotutkimuksissa selvittää pienemmällä otoksella, mutta syventäen vastausten laatua oppilashaastattelujen avulla. Yksi vaihtoehto voisi olla suurempi kyselytutkimus, jopa valtakunnallinen otos, jonka tulosten pohjalta voitaisiin kehittää lisää uusia jaksollisen järjestelmän opetustapoja, jopa uudenlaista opetusmallia jaksollisesta järjestelmästä. Myös olemassa olevia opetusmenetelmiä voisi testata käyttäen tutkimuksessa testiryhmää ja kontrolliryhmää, jonka jälkeen hyviksi todettuja opetusmenetelmiä voisi kehittää edelleen. Tämän tutkimuksen tai jatkotutkimusten pohjalta on mahdollista kehittää laadukas, suomenkielinen tietokonepohjainen jaksollisen järjestelmän oppimisympäristö.

Alkuaineiden jaksollinen järjestelmä on tutkimisen ja tutkimuksien arvoinen malli. Finholtin (1984) sanoin: ihmeellinen jaksollinen järjestelmä on varmasti yksi tärkeimmistä, valtavan määrän kemiallista nykytietoa kokoavista työvälineistä.

LÄHTEET

- Abraham, M. R., Grzybowski, E. B., Renner, J. W. & Marek, E. A. 1992. Understandings and Misunderstandings of Eighth Graders of Five Chemistry Concepts Found in Textbooks. *Journal of Research in Science Teaching* 29 (2), 105-120.
- About, A.C., Gerald, E. A. & Charles E. C. 1997. Nonconventional Methods in Teaching Matter, Atoms, Molecules and Periodic Table for Nonmajor Students. *The American Biology Teacher* 59 (7), 428-437.
- Arzi, H. J. & Sivan, Y. 1981. The Periodic Table – A Central Theme in Intermediate School Chemistry. *School Science Review* 62 (220), 434-441.
- Aspholm, S., Hirvonen, H., Hongisto, J. Lavonen, J., Penttilä, A., Saari, H. & Viiri, J. 2001. *Aine ja energia: Kemian tietokirja*. Helsinki: WSOY.
- Aspholm, S., Hirvonen, H., Lavonen, J., Penttilä, A., Saari, H. & Viiri, J. 2003. *Aine ja energia Kemian tutkimusvihko kurssi 2: Opettajan opas*. Helsinki: WSOY.
- Atkins, P.W. 1994. *Physical Chemistry*. 5.ed. Oxford: Oxford University Press.
- Ausubel, D. P. 1968. *Educational Psychology: A Cognitive View*. New York: Holt, Reinehart and Winston.
- Barnea, N. 2000. Teaching and Learning about Chemistry and Modelling with a Computer Managed Modelling System. In Gilbert, J. K. & Boulter, C. J. (ed.) *Developing Models n Science Education*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 307-323.
- Ben-Zvi, N. & Genut, S. 1998. Uses and Limitations of Scientific Models: The Periodic Table as an Inductive Tool. *International Journal of Science Education* 20 (3), 351-360.
- Bolmgren, I. 1995. Presenting the Periodic System with Pictures. *Journal of Chemical Education* 72 (4), 337-338.
- Boulter, C. J. 2000. Language, Models and Modelling in the Primary Science Classroom. In Gilbert, J. K. & Boulter, C. J. (ed.) *Developing Models n Science Education*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 289-305.
- Boulter, C. J. & Buckley, B. C. 2000. Constructing a Typology of Models for Science Education. In Gilbert, J. K. & Boulter, C. J. (ed.) *Developing Models n Science Education*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 41-57.

- Boulter, C. J. & Gilbert, J. K. 2000. Challenges and Opportunities of Developing Models in Science Education. In Gilbert, J. K. & Boulter, C. J. (ed.) *Developing Models in Science Education*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 343-362.
- Cherif, A. A., Adams, G. E. & Cannon, C. E. 1997. Nonconventional Methods in Teaching Matter, Atoms, Molecules and the Periodic Table for Nonmajor Students. *The American Biology Teacher* 59 (7), 428-438.
- Clement, J. 1998. Expert Novice Similarities and Instruction Using Analogies. *International Journal of Science Education* 20 (10), 1271-1286.
- Cronström, C. & Montonen, C. 1996. *Johdatus kvanttimekaniikkaan*. 2.p. Helsinki: Limes.
- Cronyn, W. M. 2003. The Proper Place for Hydrogen in the Periodic Table. *Journal of Chemical Education* 80 (8), 947-951.
- Cummo, E. & Matthews, C. E. 2002. The Atomic Dating Game. *Science Scope* 25 (4), 46-47.
- Deutsch, D. 1997. *The Fabric of Reality*. London: Allen Lane.
- Duit, R. 1991. On the Role of Analogies and Metaphors in Learning Science. *Science Education* 75 (6), 649-672.
- Engels, S. & Nowak, A. 1992. *Kemian keksintöjä: Alkuaineiden löytöhistoria*. Suomentaja Jouko Koskikallio. Helsinki: Gummerus.
- Fernelius, W. C. 1986. Some Reflections on the Periodic Table and Its Use. *Journal of Chemical Education* 63 (3), 263-268.
- Fernelius, W. C., Loening, K. & Adams, R. M. 1971. Notes of Nomenclature. *Journal of Chemical Education* 48 (9), 594-596.
- Finholt, J. 1984. The Amazing Periodic Table. *Journal of Chemical Education* 61 (3), 190.
- Gabel, D. 1999. Improving Teaching and Learning through Chemistry Education Research: A Look to the Future. *Journal of Chemical Education* 76 (4), 548-553.
- Gilbert, J. K. & Boulter, C. J. 1998. Learning Science Through Models and Modelling. In Fraser, B. J. & Tobin, K. G. (ed.) *International Handbook of Science Education Part 1*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 53-66.
- Gilbert, J. K., Boulter, C. J. & Elmer, R. 2000a. Positioning Models in Science Education and in Design and Technology Education. In Gilbert, J. K. & Boulter, C. J. (ed.) *Developing Models in Science Education*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 3-17.

- Gilbert, J. K., Pietrocola, M., Zylbersztajn, A. & Franco, C. 2000b. Science and Education: Notions of Reality, Theory and Model. In Gilbert, J. K. & Boulter, C. J. (ed.) *Developing Models in Science Education*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 19-40.
- Gilbert, J. K., Boulter, C. J. & Rutherford, M. 2000c. Explanations with Models in Science Education. In Gilbert, J. K. & Boulter, C. J. (ed.) *Developing Models in Science Education*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 193-208.
- Gorin, G. 1996. Mendeleev and Moseley. *Journal of Chemical Education* 73 (6), 490 - 493.
- Griffiths, A. K. & Preston, K. R. 1992. Grade-12 Students' Misconceptions Relating to Fundamental Characteristics of Atoms and Molecules. *Journal of Research in Science Teaching* 29 (6), 611-628.
- Grunwald, B. & Scharf, K. - H. 1992. *Elemente Chemie: Bayern 9*. Stuttgart: Ernst Klett Verlag.
- Handal, G. A., Leiner, M. A., Gonzalez, C. & Rogel, E. 1999. Linear Multimedia Benefits to Enhance Students' Ability to Comprehend Complex Subjects. ERIC-tietokanta: ED 432221.
- Happonen, J., Heinonen, M., Muilu, H. & Nyrhinen, K. 2001. *Kemian avain - kurssi 2: Opettajan aineisto*. Helsinki: Otava.
- Hautamäki, J. 1984. *Peruskoululaisten loogisen ajattelun mittaamisesta ja esiintymisestä*. Joensuun yliopisto. Joensuun yliopiston yhteiskuntatieteellisiä julkaisuja 1.
- Havonen, T., Kukko, A. & Mannila, L. 2002. *Tabelli: Luonnontieteiden ja matematiikan tietokirja*. Helsinki: Otava.
- Herrenden-Harker, B. D. 1997. A Modern Periodic Table. *School Science Review* 78 (285), 104-105.
- Hill, G. & Holman, J. 2000. *Chemistry in Context*. 5.ed. Surrey KT: Nelson.
- Holden, N. E. & Coplen, T. 2004. The Periodic Table of the Elements. *Chemistry International* 26 (1), 8.
- IUPAC-IUPAP .1991. Criteria that must be satisfied for the Discovery of a New Chemical Element to be Recognized. *Pure and Applied Chemistry* 63 (6), 879-886.
- IUPAC Periodic Table of the Elements. http://www.iupac.org/reports/periodic_table/ (luettu 20.02.2005)

- IUPAC Provisional Recommendations: Nomenclature of Inorganic Chemistry.
http://www.iupac.org/reports/provisional/abstract04/connelly_310804.html (luettu 18.02.2005)
- IUPAC Wire: Element 111 is Named Roentgenium. 2005. Chemistry International 27 (1), 16.
- Jensen, W. B. 2003. The Place of Zinc, Cadmium and Mercury in the Periodic Table. Journal of Chemical Education 80 (8), 952-961.
- Justi, R. S. 2000. Teaching with Historical Models. In Gilbert, J. K. & Boulter, C. J. (ed.) Developing Models in Science Education. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 209-226.
- Kaeszi, H. & Atkins, P. 2003. Up for Discussion: A Central Position for Hydrogen in the Periodic Table. Chemistry International 25 (6), 14.
- Kalliorinne, K., Kankaanperä, A., Kivinen, A. & Liukkonen, S. 1988. Fysikaalinen kemia 1: Kvanttikemia ja spektroskopia. Helsinki: Kirjayhtymä.
- Karol, P. J., Nakahara, H., Petley, B. W. & Vogt, E. 2003. On the Claims for Discovery of Elements 110, 111, 112, 114, 116 and 118 (IUPAC Technical Report). Pure and Applied Chemistry 75 (10), 1601-1611.
- Krippendorff, K. 2004. Content Analysis: An Introduction to its Methodology. Thousand Oaks, CA: Sage.
- Kärnä, P., Leskinen, M., Montonen, M. & Repo, K. 1998. LUMO: Opettajan opas 2. Porvoo: WSOY.
- Laing, M. 1989. The Periodic Table – A New Arrangement. Journal of Chemical Education 66 (9), 746.
- Lavonen, J. & Meisalo, V. 1997. Luonnontieteiden opetuksen kokeellisuus ja mittausautomaatio. Helsingin yliopiston opettajankoulutuslaitos. LUONTI-projekti.
- Lehman, R. J., Koran, J. J. & Koran, M. L. 1984. Interaction of Learner Characteristics with Learning from Three Models of the Periodic Table. Journal of Research in Science Teaching 21 (9), 885-893.
- Levine, E. H. 1990. Create Your Own Periodic Table. Journal of Chemical Education 67 (12), 1045-1046.
- Mabrouk, S. T. 2003. The Periodic Table as a Mnemonic Device for Writing Electronic Configurations. Journal of Chemical Education 80 (8), 894-898.
- Mason, L. 1994. Cognitive and Metacognitive Aspects in Conceptual Change by Analogy. Instructional Science 22, 157-187.

- Matthews, M. R. 1992. Teaching about Air Pressure: A Role of History and Philosophy in Science Teaching. In Hills, S. (ed.) History and Philosophy of Science in Science Education. Kingston, Ontario: Queen's University, 121-133.
- Matthews, M. 1994. Science Teaching: The Role of the History and Philosophy of Science. New York: Routledge.
- Mayer, R. E. 1989. Models for Understanding. Review of Educational Research 59 (1), 43-64.
- Mazurs, E. G. 1974. 2. painos. Graphic Representations of the Periodic System During One Hundred Years. University, AL: University of Alabama Press.
- Mingos, D. M. P. 1998. Essential Trends in Inorganic Chemistry. New York: Oxford Press.
- Moore, J. W. 2003. Editorial: Turning the (Periodic) Tables. Journal of Chemical Education 80 (8), 847.
- Murray, J. 2003. Teaching Secondary Chemistry. 4. ed. London: John Murray Publishers.
- Nash, R. F. G. 1978. A Periodic Table Game. School Science Review 60 (210), 100-.
- Oversby, J. 2000. Models in Explanations of Chemistry: The Case of Acidity. In Gilbert, J. K. & Boulter, C. J. (ed.) Developing Models in Science Education. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 227-251.
- Partington, J. R. 1989. 3. painos. A Short History of Chemistry. New York: Dover Publications.
- Peake, B. M. 1989. The Discovery of the Electron, Proton and Neutron. Journal of Chemical Education 66 (9) 738.
- POPS. 2004. Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet. Opetushallitus. Helsinki. http://www.oph.fi/info/ops/pops_web.pdf (luettu 12.04.2005)
- Putkonen, M. 2003. Transaktinidit ja ylliraskaat alkuaineet. <http://www.chemistry.hut.fi/eokem/courses/kem35114/luennot/TRANSAKTINIDIT%2014.10.2003.doc> (luettu 15.03.2005)
- Ringnes, V. 1989. Origin of the Names of Chemical Elements. Journal of Chemical Education 66 (9), 731-738.
- Saari, H. 1997. Mallien käyttö luonnontieteen oppimisessa ja opetuksessa. Joensuun normaalikoulun julkaisuja 10. Joensuu: Joensuun yliopistopaino.

- Saari, H. 2000. Oppilaiden käsitykset malleista ja mallintaminen fysiikan peruskouluopetuksessa. Joensuun yliopiston fysiikan laitos. Väisälä laboratorio. Tutkimuksia 22. Joensuu: Joensuun yliopistopaino.
- Sanderson, R. T. 1964. A Rational Periodic Table. *Journal of Chemical Education* 41 (4), 187-189.
- Schmidt, H.-J. 1998. Does the Periodic Table Refer to Chemical Elements? *School Science Review* 80 (290), 71-74.
- Schmidt, H.-J., Baumgrätner, T. & Eybe, H. 2003. Changing Ideas about the Periodic Table of Elements and Students' Alternative Concepts of Isotopes and Allotropes. *Journal of Research in Science Teaching* 40 (3), 257-277.
- Seaborg, G. T. 1983. Modern Alchemy. *The Science Teacher* 60 (), 29-34.
- Seaborg, G. T. 1985a. Nuclear Synthesis and Identification of New Elements. *Journal of Chemical Education* 62 (5), 392-395.
- Seaborg, G. T. 1985b. The Transuranium Elements. *Journal of Chemical Education* 62 (6), 463-467.
- Seaborg, G. T. 1989. Nuclear Fission and Transuranium Elements – 50 Years Ago. *Journal of Chemical Education* 66 (5), 379-384.
- Sivan, Y. 1977. Chemical Canasta – A Simple Card Game. *School Science Review* 59 (207), 363-.
- Solomon, J. 1995. Higher Level Understanding of the Nature of Science. *School Science Education* 76, 15-22.
- Strathern, P. 2000. Mendelejevin uni: Puuttuvien alkuaineiden etsintä. Suomentaja Juha Pietiläinen. Helsinki: Terra Cognita.
- Swan, R. J. 1977. Mendeleev Bingo. *School Science Review* 59 (206), 121-.
- Treptow, R. S. 1994. The Periodic Table of Atoms: Arranging the Elements by a Different Set of Rules. *Journal of Chemical Education* 71 (12), 1007-1012.
- Tynjälä, P. 2002. Oppiminen tiedon rakentamisena: Konstruktivistisen oppimiskäsityksen perusteita. Helsinki: Tammi.
- van Spronsen, J. W. 1979. Atomic Number before Moseley. *Journal of Chemical Education* 56 (2), 106.
- von Glasersfeld, E. 1995. Questions and Answers about Radical Constructivism. In Tobin, K. (ed.) *The Practice of Constructivism in Science Education*. New Jersey: Erlbaum, 23-38.
- Vygotsky, L. S. 1982. *Ajattelu ja kieli*. Helsinki: Weilin+Göös.

- WEB-Facta - tietosanakirja: alkuaine. <http://www.webfacta.com> (luettu 06.12.2004)
- Yin, M. & Ochs, R.S. 2001. The Mole, the Periodic Table, and Quantum Numbers: An Introductory Trio. *Journal of Chemical Education* 78 (10), 1345-1346.
- Zumdahl, S. S. 1993. 3. painos. *Chemistry*. Lexington, MA: Heath and Company.
- Österman, P. 2005. Ytterbyn musta kivi. *Yliopisto-lehti* 2, 32-35.

Edessäsi on ”kartta” alkuaineiden jaksolliseen järjestelmään liittyvistä kemiallisista sanoista. Laatikoissa olevia sanoja on liitetty toisiinsa numeroiduilla viivoilla. Jokainen tällainen viiva kuvaa sanojen välistä yhteyttä, jonka voi selittää yhdellä tai kahdella lauseella.

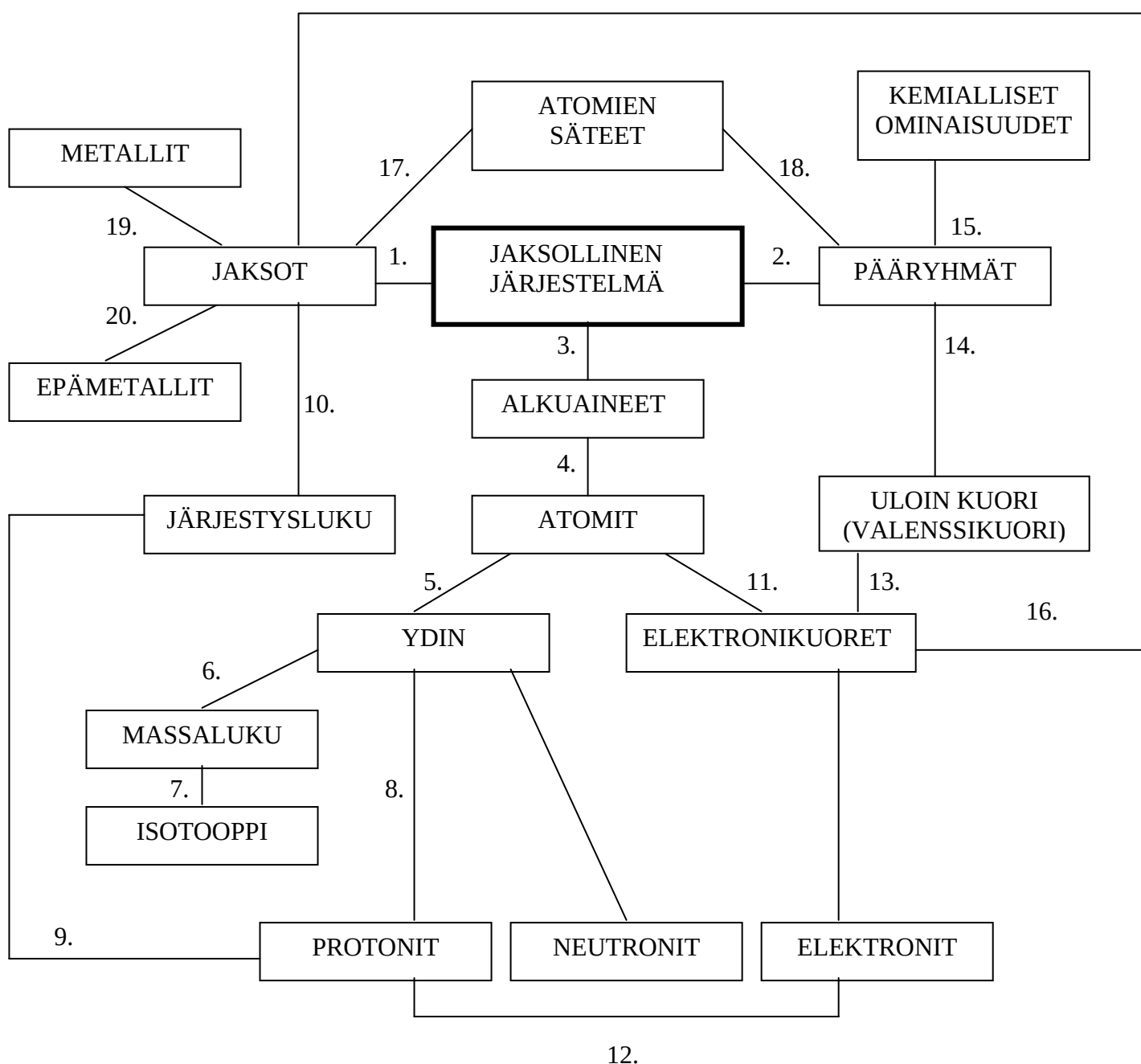
Selitä toisen paperin tyhjiin numeroituihin lokeroihin, miten vastaavalla numerolla ja viivalla merkityt sanat ”kartassa” liittyvät toisiinsa.

Pyri olemaan selityksissäsi niin tarkka ja yksityiskohtainen kuin mahdollista.

Tarkista vielä lopuksi, että selityksesi on varmasti oikeassa lokerossa.

Pyydän sinua vielä täyttämään muutaman tiedon itsestäsi toisen paperin yläosaan (poika/tyttö, ikä, luokka). Nimeä paperiin ei tarvitse laittaa.

KIIITOS SINULLE JO ETUKÄTEEN! Vastauksesi ovat arvokasta aineistoa tutkimukseeni.



poika ☐ tyttö ☐ ikä _____ luokka _____

1.
2.
3. (jaksollinen järjestelmä – alkuaineet)
4.
5.
6.
7.
8.
9.
10.
11.
12.
13.
14.
15.
16.
17.
18.
19.
20.

poika ☐ tyttö ☐ luokka: _____

LIITE 2

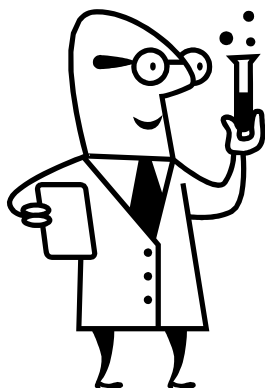
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H 1,008																	2 He 4,003
2	3 Li 6,941	4 Be 9,012											5 B 10,81	6 C 12,01	7 N 14,01	8 O 16,00	9 F 19,00	10 Ne 20,18
3	11 Na 22,99	12 Mg 24,31											13 Al 26,98	14 Si 28,09	15 P 30,93	16 S 32,06	17 Cl 35,45	18 Ar 39,95
4	19 K 39,10	20 Ca 40,08	21 Sc 44,96	22 Ti 47,90	23 V 50,94	24 Cr 52,00	25 Mn 54,94	26 Fe 55,85	27 Co 58,93	28 Ni 58,70	29 Cu 63,55	30 Zn 65,38	31 Ga 69,72	32 Ge 72,59	33 As 74,92	34 Se 78,96	35 Br 79,90	36 Kr 83,80
5	37 Rb 85,47	38 Sr 87,62	39 Y 88,91	40 Zr 91,22	41 Nb 92,91	42 Mo 95,94	43 Tc (98)	44 Ru 101,1	45 Rh 102,9	46 Pd 105,4	47 Ag 107,9	48 Cd 112,4	49 In 114,8	50 Sn 118,7	51 Sb 121,8	52 Te 127,6	53 I 126,9	54 Xe 131,3
6	55 Cs 132,9	56 Ba 137,3		72 Hf 178,5	73 Ta 180,9	74 W 183,9	75 Re 186,2	76 Os 190,2	77 Ir 192,2	78 Pt 195,1	79 Au 197,0	80 Hg 200,6	81 Tl 204,4	82 Pb 207,2	83 Bi 209,0	84 Po (210)	85 At (210)	86 Rn (222)
7	87 Fr (223)	88 Ra 226,0		104 Unq (261)	105 Unp (262)	106 Unh (263)	107 Uns (264)	108 Uno (265)	109 Une (266)	110 Uuu (269)								
				57 La 138,9	58 Ce 140,1	59 Pr 140,9	60 Nd 144,2	61 Pm (145)	62 Sm 150,4	63 Eu 152,0	64 Gd 157,3	65 Tb 158,9	66 Dy 162,5	67 Ho 164,9	68 Er 167,3	69 Tm 168,9	70 Yb 173,0	71 Lu 175,0
				89 Ac (227)	90 Th 232,0	91 Pa 231	92 U 238,0	93 Np 237,0	94 Pu (242)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (251)	99 Es (254)	100 Fm (257)	101 Md (258)	102 No (259)	103 Lr (260)

- Mitä voit kertoa alkuaineesta magnesium (Mg) jaksollisen järjestelmän avulla?
 - Kirjoita jokin tieto magnesiumista taulukon vasemmalle puolelle. Selitä sitten oikealle puolelle, miten tämän tiedon voi nähdä yllä olevasta jaksollisesta järjestelmästä.
 - Yritä antaa magnesiumista niin paljon eri tietoja kuin osaat.
- KIITOS SINULLE JO ETUKÄTEEN!

TIETO MAGNESIUMISTA	PERUSTELU

TIETO MAGNESIUMISTA	PERUSTELU

ALKUAINESUUNNISTUS



KARTTA: PITKÄ JAKSOLLINEN JÄRJESTELMÄ

sis. kemialliset merkit
järjestysluvut
atomipainot
metallit ja epämetallit erottava
portaittainen viiva
(ryhmien ja jaksojen numerot)

RASTIT: ERI ALKUVAINEIDEN KOHDALLA JAKSOLLISESSA JÄRJESTELMÄSSÄ

1. Suunnistus alkaa kevyimmästä jalokaasusta.

- *Alkuaineen nimi ja kemiallinen merkki:*
- *Piirrä tämän alkuaineen uloin elektronikuori.*
- *Miten se eroaa saman ryhmän muiden alkuaineiden elektronikuorista?*
- *Mitä yhteistä kaikilla tämän ryhmän alkuaineilla on?*

2. Siirry 3 vaakariviä alas ja 16 pystyriviä vasemmalle.

- *Alkuaineen nimi ja kemiallinen merkki:*
- *Mikä on tämän alkuaineen atomipaino?*
- *Mikä on tämän alkuaineen yleisin isotooppi?*

3. Siirry alkuaineeseen, jolla on neljätoista protonia vähemmän.

- *Alkuaineen nimi ja kemiallinen merkki:*
- *Onko alkuaine metalli vai epämetalli?*
- *Piirrä alkuaineen kaikki elektronikuoret.*

4. Siirry lähimpään alkuaineeseen, joka on samassa ryhmässä, mutta painavampi.

- *Alkuaineen nimi ja kemiallinen merkki:*
- *Mitä yhteistä tällä alkuaineella on edellisen alkuaineen kanssa?*
- *Mihin jaksoon tämä alkuaine kuuluu?*

5. Siirry saman jakson kevyimpään alkuaineeseen ja siitä vielä saman ryhmän kevyimpään metalliin.

- *Alkuaineen nimi ja kemiallinen merkki:*
- *Mihin jaksoon ja ryhmään alkuaine kuuluu?*
- *Mitä ryhmän ja jakson numero kertovat tästä alkuaineesta?*